



České vysoké učení technické v Praze
Fakulta dopravní
Ústav Letecké dopravy

**Cenová analýza navigačních prostředků pro
letišťe Praha - Vodochody**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracoval: **Milan Černý**
Vedoucí práce: **Ing. Bc. Jakub Hospodka Ph.D.**
Rok: **2015**



K621..... Ústav letecké dopravy

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Milan Černý

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – LED – Letecká doprava

Název tématu (česky): **Cenová analýza navigačních prostředků pro letiště
Praha - Vodochody**

Název tématu (anglicky): Price Analysis of Navigational Resources for the Airport
Praha - Vodochody

Zásady pro vypracování

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

- Úvod
- Obecný popis navigace na konečné přiblížení
- Ekonomická analýza navigačních prostředků
- Modelové řešení pro letiště Vodochody
- Zhodnocení
- Závěr

- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: JAA ATPL Theoretical Knowledge Manual, 061 General Navigation, Jeppesen, Oxford 2006; Smart Maps Praha - Digitální mapy a navigace; <http://d2051.fsv.cvut.cz/predmety/ylet/6.pdf>

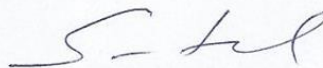
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Bc. Jakub Hospodka, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **21. října 2013**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **24. srpna 2015**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia



doc. Ing. Daniel Hanus, CSc.
vedoucí
Ústavu letecké dopravy



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.



Milan Černý
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 30. prosince 2014

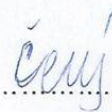
Prohlášení

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

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

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

V Českých Budějovicích dne 14. srpna 2015

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Čerůj', written above a horizontal dotted line.

podpis

Poděkování

Děkuji Ing. Bc. Jakobovi Hospodkovi Ph.D. za vedení mé bakalářské práce a za podnětné návrhy. Dále bych chtěl poděkovat panu RNDr. Bohumilu Techlovskému z Českého hydrometeorologického ústavu za poskytnuté informace a panu Bc. Pavlu Pačesovi z meteoologické stanice Praha – Ruzyně za poskytnutá data.

Název práce: Cenová analýza navigačních prostředků pro letiště Praha - Vodochody

Autor: Milan Černý

Obor: Letecká doprava

Druh práce: Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Bc. Jakub Hospodka Ph.D.

Ústav Letecké dopravy, Fakulta dopravní, České vysoké učení technické v Praze

Abstrakt: Práce se zabývá problematikou přesných, nepřesných přístrojových přiblížení a dále přiblížením s vertikálním vedením. V práci jsou tyto systémy popsány jak z hlediska technického tak i ekonomického. Dále je zvoleno nejvýhodnější řešení implementace systému pro přesné přiblížení na letišti Vodochody.

Klíčová slova: Přesné přístrojové přiblížení, GBAS, cena, letiště Vodochody.

Title: Price analysis of navigational resources for the airport Praha - Vodochody

Author: Milan Černý

Abstract: Thesis deals with the precision and non-precision approach and approach with vertical guidance. The work of these systems are described in terms of both technical and economic. Furthermore, we selected the best solutions for implementing the precision approach at the airport Vodochody.

Key words: Precision instrument approach, GBAS, cost, Vodochody airport.

Obsah

Obsah.....	5
Úvod.....	7
Kapitola 1 Obecný popis navigace na konečné přiblížení.....	8
1.1 Přesné přiblížení.....	9
1.1.1 Instrument landing system (ILS).....	9
1.1.2 Microwavelanding system (MLS).....	14
1.1.3 Precision Approach Radar (PAR).....	16
1.1.4 GBAS landing systém.....	18
1.2 Nepřesné přístrojové přiblížení.....	21
1.2.1 NDB/ADF.....	21
1.2.2 Systém VOR/DME.....	24
1.3 Přiblížení s vertikálním vedením APV.....	26
Kapitola 2 Ekonomická analýza navigačních prostředků.....	28
2.1 Ekonomická analýza VOR/DME.....	28
2.2 Ekonomická analýza NDB.....	28
2.3 Ekonomická analýza LPV přiblížení.....	29
2.4 Ekonomická analýza ILS.....	29
2.4.1 Cenová analýza pořizovacích nákladů ILS podle kategorie.....	30
2.4.1.1 Cenová analýza ILS CAT I.....	30
2.4.1.2 Cenová analýza ILS CAT II.....	30
2.4.1.3 Cenová analýza ILS CAT III.....	31
2.4.2 Cenová analýza provozních nákladů systému ILS.....	31
2.4.3 Cenová analýza světelných soustav.....	32
2.5 Ekonomická analýza GBAS.....	33

2.6	Zhodnocení ekonomické analýzy.....	34
2.6.1	Zhodnocení z hlediska pořizovacích nákladů.....	34
2.6.2	Zhodnocení z hlediska provozních nákladů.....	34
Kapitola 3	Modelové řešení pro letiště Vodochody.....	36
3.1	Informace o letišti Vodochody.....	36
3.1.1	Historická data letiště.....	36
3.1.2	Základní informace	36
3.1.3	Předpokládaný rozvoj letiště	37
3.2	Analýza výskytu podmínek pro LVP.....	39
3.3	Ekonomická analýza pro letiště Praha-Vodochody.....	39
3.3.1	Porovnání nákladů systému ILS CAT III a GBAS CAT II/III.....	40
3.3.2	Modelové případy pro letiště Praha - Vodochody	41
3.3.2.1	Modelový případ 1.....	41
3.3.2.2	Modelový případ 2.....	42
3.4	Výhody a nevýhody implementace GBAS	43
3.4.1	Výhody implementace systému GBAS.....	43
3.4.2	Nevýhody implementace systému GBAS.....	44
3.4.3	Využití systému v budoucnosti.....	45
3.5	Návrh implementace GBAS na letišti Praha -Vodochody.....	46
Kapitola 4	Zhodnocení	49
Závěr	50
Citovaná literatura.....		52
Seznam zkratk		56
Seznam obrázků.....		57
Seznam tabulek		59
Seznam grafů		61
Seznam příloh		62

Úvod

V dnešní době zažívají metody GNSS veliký rozmach a jejich využití je stále rozšířenější v různých oborech. Do takového oboru se bezpochyby řadí i letectví, kde je kladen velký důraz na efektivitu a přesnost. V dnešní době družicové systémy postupně nahrazují stávající systémy pro přiblížení.

Tato práce se zabývá porovnáním navigačních systémů pro přístrojové přiblížení z hlediska pořizovací ceny, provozních nákladů a dalších kritérií. Práce je rozdělena na teoretickou, analytickou a praktickou část.

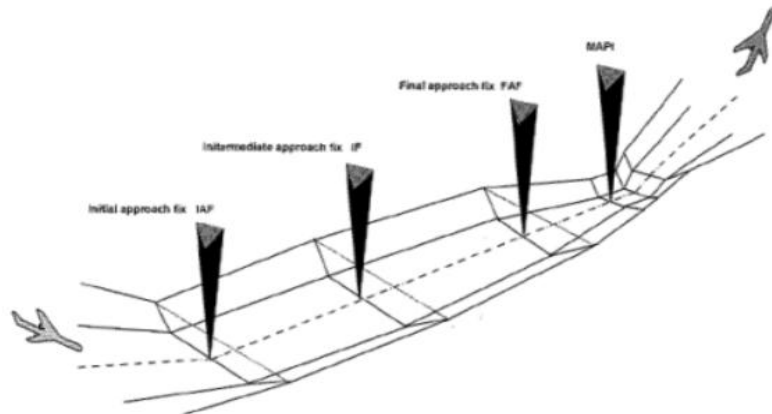
V teoretické části se seznámíme s principy a funkcemi systémů podle rozdělení typu přiblížení. V ekonomické části zanalyzujeme jednotlivé systémy podle pořizovací ceny systému a nákladů na jeho provoz a údržbu. Na konci této kapitoly provedeme vyhodnocení ekonomické analýzy. V praktické části se budeme zabývat výběrem nejvhodnějšího navigačního zařízení pro letiště Praha - Vodochody jak z hlediska ekonomického tak i provozního.

Letiště Praha – Vodochody stále bojuje o možnost modernizovat své letiště a stát se tak druhým mezinárodním letištem v Praze. Stávající projekt modernizace letiště plánuje nahradit systém ILS CAT I systémem ILS CAT III. Pokusíme se tedy zanalyzovat zda-li, by nebylo výhodnější využít pro přesné přístrojové přiblížení systémů GNSS.

Cílem této práce bude zvolit nejvhodnější navigační systém pro letiště Praha – Vodochody s ohledem na již dlouho chystaný projekt a následně nastínit jeho implementaci na letišti.

1 Obecný popis navigace na konečné přiblížení

Přiblížení je konečná fáze letu. Nejprve proběhne komunikace posádky letadla s řídicím letového provozu o druhu přiblížení. Když si obě strany potvrdí zvolený druh přiblížení je letadlo navedeno na určitou trajektorii pro dané letiště. Trajektorie je rozdělena do 5 úseků. [14] Tyto úseky se nazývají:



Obr. 1 – Úseky přiblížení [14]

- příletová trať (Arrival Track)
- úsek počátečního přiblížení (Initial Approach Segment)
- úsek středního přiblížení (Intermediate Approach Segment)
- úsek konečného přiblížení (Final Approach Segment)
- úsek nezdařeného přiblížení (Missed Approach Segment) [14]

Druhy přístrojového přiblížení jsou vypsány v tabulce 1. V tabulce by podle předpisu L - 8168 mělo být ještě uvedeno vizuální přiblížení a přiblížení okruhem. Těmito přiblíženími se v práci zabývat nebudeme, proto je záměrně neuvádíme.

Tabulka 1 – Druhy přiblížení [14]

NPA (Non-precision approach)		APV (Non-precision approach)		PA (Precision approach)	
Convetional	RNAV	RNAV		Convetional	RNAV
VOR/DME	GNSS	APV/baro- VNAV	APV/SBAS	ILS	GNSS-
NDB	DME/DME			MLS	GBAS
LLZ	...			PAR

1.1 Přesné přiblížení

Přesné přiblížení využívá dvojí vedení. Jedná se o vedení ve směrové a vertikální rovině. Informace o poloze jsou pilotovi poskytovány z pozemních navigačních systémů a dále informacemi generovanými na palubě letadla. Poskytovány jsou informace o směrovém vedení letadla a vertikální poloze. [14]

Mezi zařízení přesného přiblížení patří systém ILS (Instrument landing system), MLS (Microwave Landing Systém), PAR (Precision Approach Radar) a systém GBAS, který využívá GNNS zařízení.

1.1.1 Instrument Landing Systém (ILS)

ILS je prozatím nejrozšířenější systém přesného přiblížení na světě. Poprvé byl zprovozněn roku 1939. Od roku 1947 byl mezinárodní organizací ICAO přijat jako standardní systém pro přesné přiblížení CAT I. V roce 1960 proběhla certifikace CAT II a v roce 1970 CAT III. Systém ILS zahrnuje tři kategorie, které se liší v hodnotách výšky rozhodnutí při stanovené dohlednosti. [3]

Systém ILS se podle provozních minim rozděluje do tří kategorií. ILS CAT I a CAT II umožňuje letadlu přiblížení do určité výšky uvedené v tabulce a následně pilot dosednutí za

viditelnosti. U ILS CAT III a, b, c umožňuje vykonávat přiblížení až do bodu dotyku nebo do bodu zastavení. [3]

Tabulka 2 – Kategorie provozních minim [19]

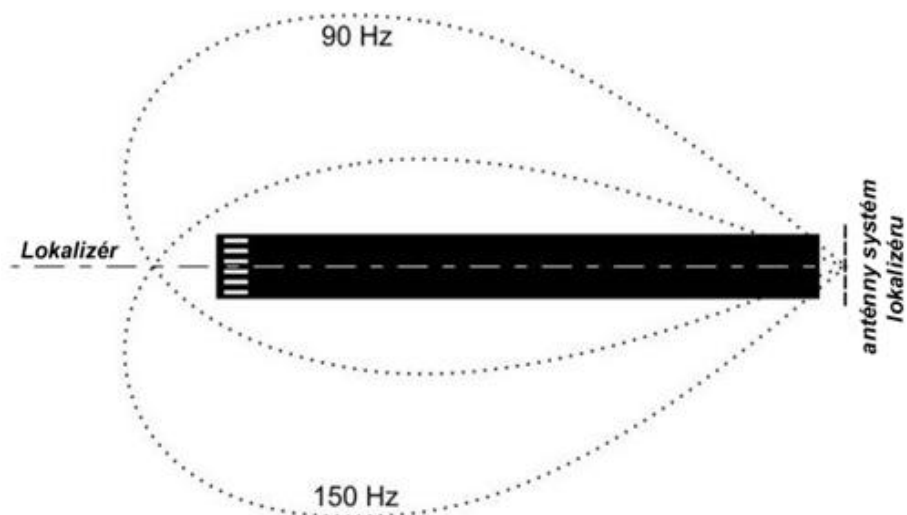
Kategorie	Výška rozhodnutí	Minimální dráhová dohlednost
CAT I	DH > 200 ft (60 m)	> 550 m (nebo viditelnost > 800 m)
CAT II	CAT II 200 ft (60 m) > DH > 100 ft (30 m)	> 300 m
CAT III A	100 ft (30 m) > DH nebo žádná DH	> 175 m
CAT III B	50 ft (15 m) > DH nebo žádná DH	175 m > RVR > 50 m
CAT III C	bez omezení	bez omezení

- CAT I – U této kategorie ILS se pilot rozhodne, zda-li dokončí přistávací manévr a to ve výšce větší jak 60 m nebo při dráhové dohlednosti větší jak 550 m.
- CAT II – Přiblížení za této kategorie se provádí při dráhové dohlednosti větší jak 300 m a výšce rozhodnutí menší jak 60 m, ale ne menší než 30 m.
- CAT III A – Jedná se o přesné přístrojové přiblížení s výškou rozhodnutí pod 30 m nebo žádnou a s dohledností ne menší než 175 m. Takové letadlo musí být vybaveno autopilotem s pasivním systémem sledování poruchy.
- CAT III B – Další kategorie, kde se výška rozhodnutí snižuje na méně než 50 m nebo žádná výška. Při dráhové dohlednosti mezi 50 – 175 m. Letadlo musí pro tuto kategorii přiblížení disponovat zařízením pro úpravu rychlosti z rolovací na pojezdnou.
- CAT III C – Přesné přístrojové přiblížení za nulové dráhové dohlednosti a nulové výšky rozhodnutí. [3]

Segmenty systému ILS

Lokalizér

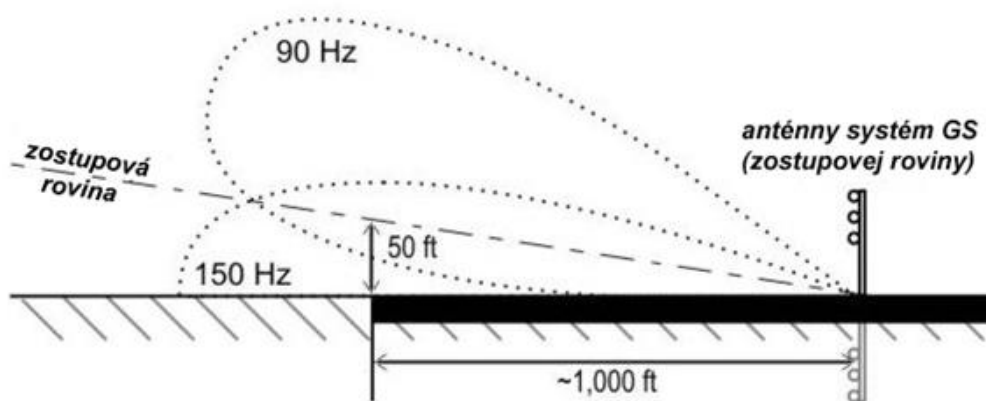
Lokalizér pracuje na frekvenčním rozsahu 108,10 – 111,85 MHz a zajišťuje bezpečné navedení v horizontální rovině. Pokud hrozí na letišti vysoká odrazivost signálů, volí se dvojfrekvenční systém místo jedné frekvence na které zařízení obvykle pracuje. Kurzová rovina je tvořena protnutím dvou amplitudově modulovaných signálů o kmitočtech 150 Hz a 90 Hz. [3]



Obr. 2 – Vyzařovací charakteristika lokalizéru [19]

Sestupový maják (Glide Path)

UKV sestupový maják vytváří sestupovou rovinu a zajišťuje letadlu plynulé klesání. Maják se instaluje 160 až 200 m od osy dráhy. Systém vysílá v pásmu 329,20 – 335,00 MHz. Stejně jako u lokalizéru je vysílaný signál složen ze dvou laloků o frekvencích 90 Hz a 150 Hz s tím rozdílem, že jsou umístěny nad sebou. [3]



Obr. 3 – Vyzařovací charakteristika sestupového majáku [19]

Markery

Pokud systém ILS není doplněn systémem DME pro měření vzdálenosti, musíme pro měření vzdálenosti využít návěstidla tzv. markery. Jsou to vysílače, které jsou umístěny v určité vzdálenosti v ose dráhy. Signál je indukován akusticky po průletu vyzařeným polem majáku.

Tím pilotovi indikuje v jaké vzdálenosti od dráhy je. V každém bodě má pilot předepsanou výšku a rychlost. [19]

- **Návěstidlo č.1** (Outer Marker) – Je umístěno 7.2 km od prahu dráhy. Modulační frekvence je 400 Hz. Signál je zřetelný jako dvě čárky za sekundu. [19]



Obr. 4 – Outer Marker [19]

- **Návěstidlo č.2** (Middle Marker) – Je umístěno ve vzdálenosti 1050 m s tolerancí +/- 150m . Modulační frekvence je 1 300 Hz. Signál je zřetelný jako nepřetržité střídání tečka, čárka. [19]



Obr. 5 – Middle Marker [19]

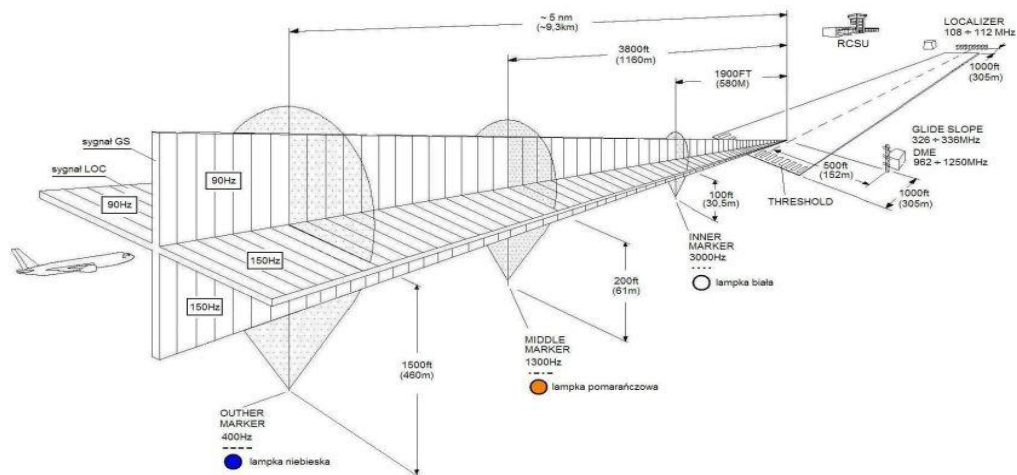
- **Návěstidlo č.3** (Inner Marker) – Bývá umístěno ve vzdálenosti 75 m až 450 m od prahu dráhy. Modulační frekvence je 3 000 Hz a signál je zřetelný jako šest teček za sekundu. [19]



Obr. 6 – Inner Marker [19]

Princip činnosti

U systému ILS palubní segment letadla vyhodnocuje úhlové odchylky od horizontální a vertikální roviny pomocí přijatých signálů od lokalizéru a sestupového majáku měřením rozdílu hloubky modulace na palubě letadla. Informace o poloze letadla je indikovaná nulovou hodnotou modulace. [19]



Obr. 7– Mechanismus vytvoření kurzové čáry [18]

Přesnosti systému ILS

Nejprve je potřebné definovat referenční bod ILS, což je bod, který leží ve vertikální rovině dráhy ve výšce přibližně 50 ft nad prahem dráhy. [3]

Přesnost v kurzu

Podle jednotlivých kategorií musí být splněny požadavky na velikost odchylky střední kurzové čáry od osy dráhy v místě referenční výšky.

- U kurzového majáku CAT I - +-10,5 m (35ft)
- U kurzového majáku CAT II - +-7,5 m (25ft)
- U kurzového majáku CAT III - +-3,0 m (10ft) [3]

Přesnost ve výšce

Pro systémy ILS CAT I by maximální vertikální chyba měla být menší jak 3m ve výšce 30m nad zemí a pro systémy vyšších kategorií by neměla být vyšší jak 1,2 m ve výšce 15 m nad zemí. [3]

Nepřesnosti systému ILS

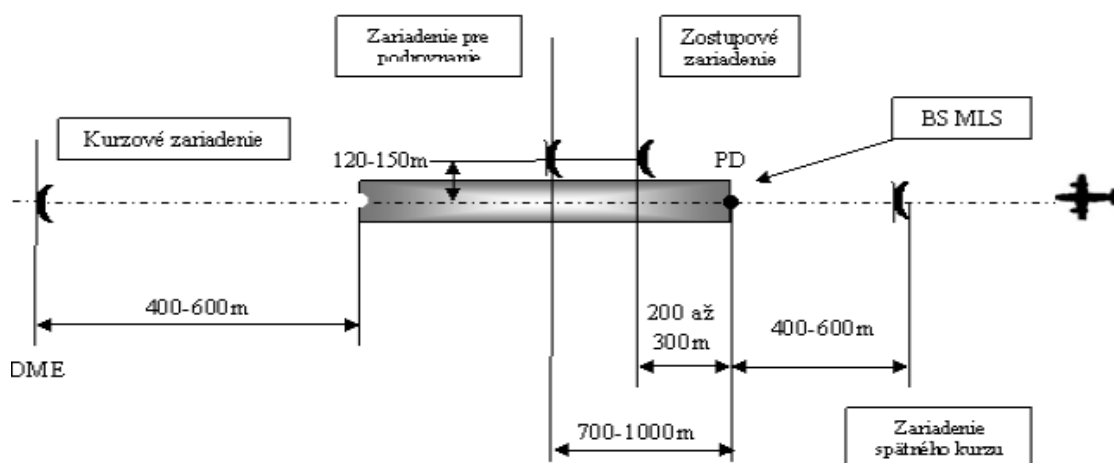
Nejčastější nepřesnosti systému ILS jsou odrazy signálů z lokalizéru a sestupového majáku od pevných objektů. Při provádění přiblížení může být signál z těchto segmentů zkreslen ostatními letadly, které letí v menší výšce jak 5 000 ft. [3]

1.1.2 Microwave landing system (MLS)

System mikrovlnného približovacieho systému se začal vyvíjet roku 1973 s cílem nahradit systém ILS. Jeho výhody oproti systému ILS jsou větší počet uskutečněných přiblížení za stejný časový horizont. Dále pak možnost provádět složitější trajektorie přiblížení nebo možnost použití i v zastavěné oblasti letiště na rozdíl od ILS. MLS pracuje s mikrovlnným svazkem, který je vysílán v azimutální i vertikální rovině. System je schválený pro všechny tři kategorie přesného přiblížení. MLS se na evropských letištích příliš nepoužívá. [5]

Pozemní vybavení MLS tvoří:

- Kurzový maják, který poskytuje letadlu informaci o odchylce vůči kurzové křivce.
- DME měří vzdálenost letadla od bodu dotyku
- Sestupový maják, který poskytuje letadlu informaci o odchylce vůči sestupové křivce.
- Prostředky pro kódování a vysílání dat [5]

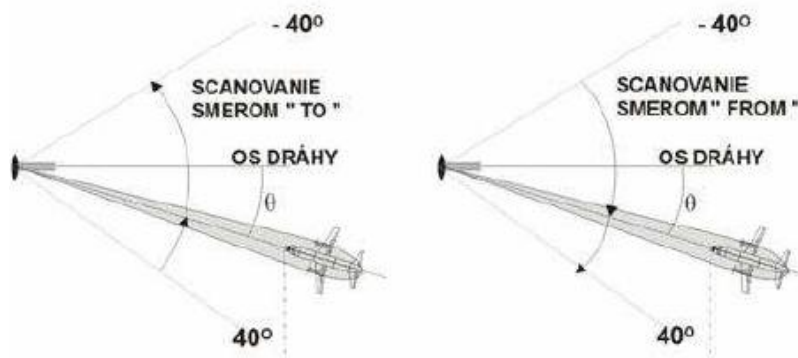


Obr. 8 - Uspořádání segmentů MLS [5]

Pozemní dálkoměrná část se skládá, ze zařízení DME a kurzového majáku. Na systém DME jsou kladeny větší požadavky na přesnost oproti kombinacím se systémy VOR a NDB. Takový systém se značí DME/P, kdy písmeno „P“ znamená přesné měření vzdálenosti. Tento systém měří vzdálenost letadla ke vztažným bodům při přiblížení. [5]

Pozemní úhломěrná část hlásí pilotům informace o poloze letadla v horizontální i vertikální rovině. Měření probíhá vytvořením rovinných mikrovlnného paprsku kmitajícího konstantní rychlostí ve směru „FROM“ a „TO“ a dále se měří čas mezi dvěma kmity rovinného paprsku

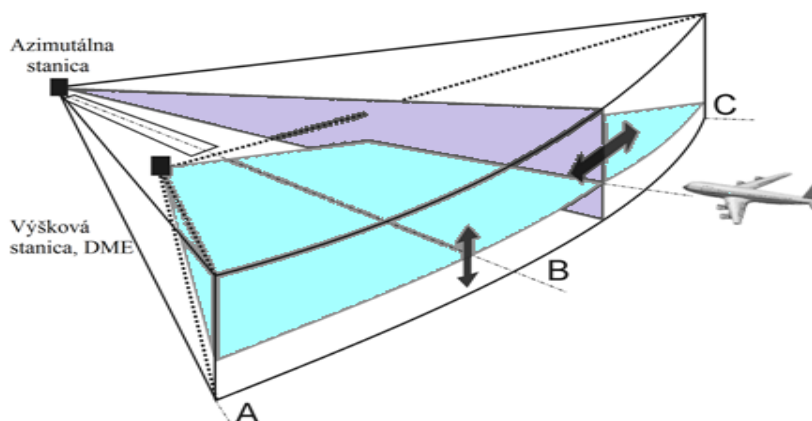
palubní anténou. V letadle se vypočítá azimut k ose dráhy měřením času skenovacího paprsku. Rovinu klesání měříme stejným výpočtem s tím rozdílem, že skenovací paprsek kmitá nahoru a dolů. [5]



Obr. 9 – Určení směrníku [5]

Princip

Pro přiblížení je systém MLS schopen poskytnout pokrytí v azimutální rovině až do $\pm 62,0^\circ$. V praxi ale systém běžně pokrývá jen do $\pm 40,0^\circ$ jak je zobrazeno a obrázku. Ve vertikální rovině pokrývá prostor od $0,9^\circ$ do $15,0^\circ$ až do výšky 6000m a vzdálenosti 37 km. Systém MLS operuje v pásmu 5031-5090 MHz. V okamžiku prohledávání prostoru je v horizontální rovině vyslaný impulz všesměrovou anténou. Po přijetí signálu na palubě letadla se začne měřit čas. Druhý impulz je vyslaný při poloze směrového paprsku -40° . Tímto okamžikem započne měření času mezi úhly od -40° do $+40^\circ$. V okamžiku zachycení paprsku na palubě letadla se v přijímači vytvoří impulz, který charakterizuje konec měření času. S využitím těchto údajů může letadlo vykonávat přiblížení. [5]



Obr. 10 – Schéma činnosti MLS [5]

Srovnání ILS a MLS

MLS je oproti ILS jak spolehlivější tak i přesnější systém, umožňuje přiblížení pod různými sestupovými úhly individuálně pro každé letadlo. Dále je více odolnější vůči rušení, tudíž nejsou potřebné rozsáhlé ochranné prostory, jako je tomu u ILS. Z ekonomického hlediska je však systém MLS náročnější jak na údržbu, tak na pořízení systému. Systém GNSS při spolupráci s ILS dokáže zvýšit bezpečnost na přiblížení a tím i nahradit MLS. Proto se již v Evropě moc nepoužívá. [5]

1.1.3 Precision Approach Radar (PAR)

Jedná se o přesný přibližovací radiolokátor, který se dnes již v civilním letectví příliš nepoužívá, ale velké uplatnění má ve vojenském letectví. Stejně jako systém ILS a MLS a GBAS dokáže navádět letadla na přesné přiblížení k dráze i za snížené viditelnosti.

PAR má odrazovou plochu téměř 15 m² a díky tomu dokáže pokrýt horizontální rovinu minimálně o šířce 20° a vertikální rovinu minimálně o 7° do vzdálenosti 17 km od antény. [17]

Přesný přibližovací radar má obvykle dvě antény z nichž jedna se pohybuje v horizontální rovině a zjišťuje azimut. Druhá anténa se vychyluje ve vertikální rovině a zjišťuje elevaci letadla. O obou rovinách se určuje i vzdálenost. U novějších typů radarů se dnes již nepoužívá mechanické vychylování, ale je nahrazeno elektronickým vychylováním laloků antén. Radar pracuje v pásmu 9 000 – 9 500 MHz. [17]

Požadovaný dosah

Radar musí být umístěn tak, aby pokryl prostor ve vzdálenosti 150 m od bodu dotyku směrem ke konci dráhy. V horizontální rovině je tento prostor omezen sektorem o šířce 5° vzhledem k ose dráhy a ve vertikální rovině sektorem -1° až 6°. V režimu pasivní radiolokace musí radar určovat přesnou polohu letadel, jejichž odrazová plocha je větší jak 1 m² a která se nacházejí v prostoru ohraničeného v horizontální rovině sektorem o šířce 30° a ve vertikální rovině ohraničené prostorem 7° do vzdálenosti nejméně 30 km od antény. [17]

Požadavky na přesnost a zabezpečení provozu

„V přesnosti měření azimutu může být maximální přípustná chyba od osy přiblížení 0,6 % ze vzdálenosti letadla od antény radiolokátoru plus 10% vzdálenosti letadla od antény PAR

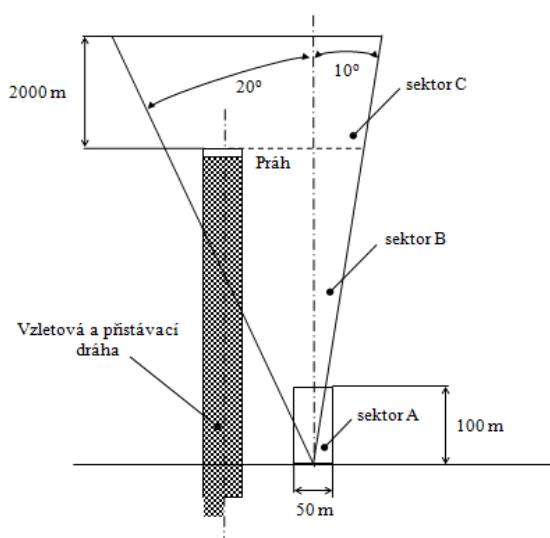
nebo 9 m, záleží, která hodnota je vyšší. Zařízení musí být umístěno tak, aby chyba v bodě dotyku nepřevýšila 9m. Dále rozlišovací schopnost v azimutu musí být lepší jak $1,2^\circ$. V přesnosti měření elevace může být maximální chyba od osy přiblížení buď 0,4 % ze vzdálenosti letadla od antény PAR plus 10% lineární odchyly od zvolené sestupové osy, nebo 6 m, podle toho, která hodnota je vyšší. Při určování vzdálenosti letadla od bodu dotyku dráhy, nesmí být chyba větší jak 3% z této vzdálenosti plus 30m.“ [17]

Pro zabezpečení provozu přibližovacího radaru, musí být zařízení vybaveno systémy pro minimalizaci odrazů signálů od pozemních předmětů. [17]

Umístění radaru

Aby bylo přiblížení na dráhu zabezpečené z obou směrů, umísťuje se radar přibližně na úrovni středu na jedné nebo na druhé straně od dráhy. Dále musíme při umísťování radaru respektovat ochranná pásma, která jsou zobrazena na obr. 8

- Sektor A – V tomto prostoru je zákaz umístění staveb a dále jakéhokoliv pohybu osob, letadel apod.
- Sektor B – Má tvar trojúhelníka. V tomto sektoru je již možný pohyb osob, dopravních prostředků a zvířat, ale stále zde platí zákaz výskytu staveb, kam patří samozřejmě i elektrické vedení.
- Sektor C – Navazuje na sektor B prodloužením o 2000m od prahu dráhy. V tomto prostoru se již stavby mohou vyskytovat, ale musí splňovat jisté požadavky. [17]



Obr. 11 – Ochranné prostory PAR [17]



Obrázek 12 – PAR radar [17]

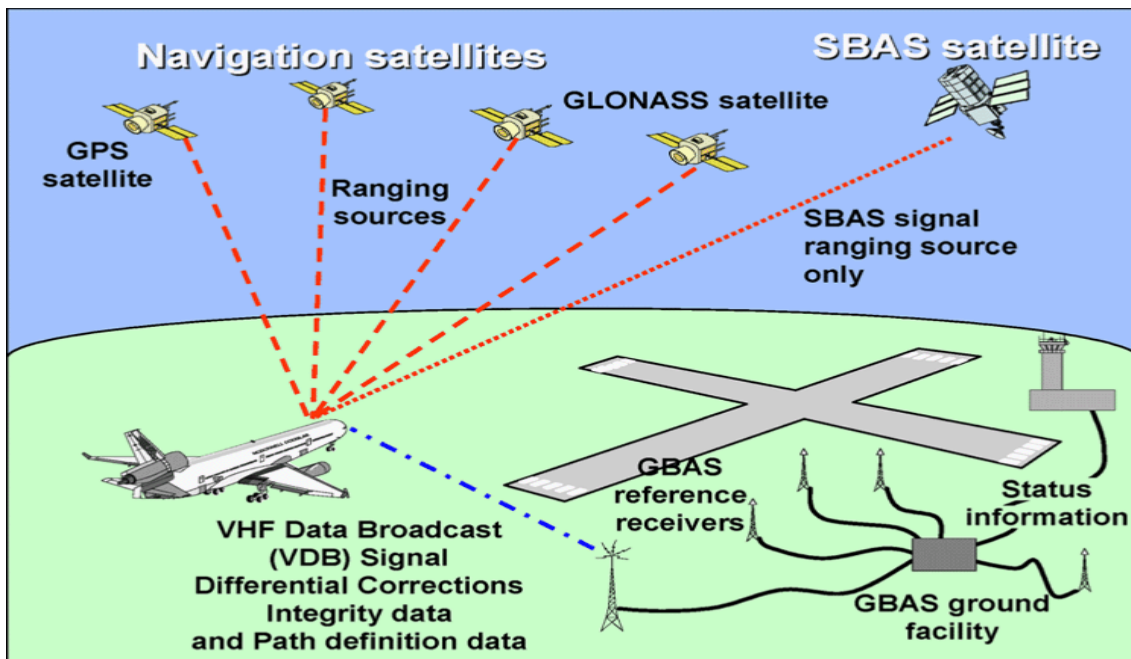
1.1.4 GBAS landing system

GBAS je jedním z rozšíření GNNS. Je to systém, který letadlům umožňuje přesné přístrojové přiblížení CAT I prozatím. V tuto chvíli však již probíhá testování systému GBAS i pro přiblížení CAT II a CAT III, které by mělo být certifikováno v roce 2018. Podle ICAO by měl od roku 2020 tento systém nahradit stávající systémy přesného přiblížení, jako jsou ILS, MLS, PAR. Dále by měl být tento systém v budoucnosti schopen řídit pohyb letadel po letištní ploše. [23]

Pozemní část se skládá z:

- 2-4 referenčních stanic
- Minimálně jednoho vysílače VDB
- Pozemní vyhodnocovací stanice

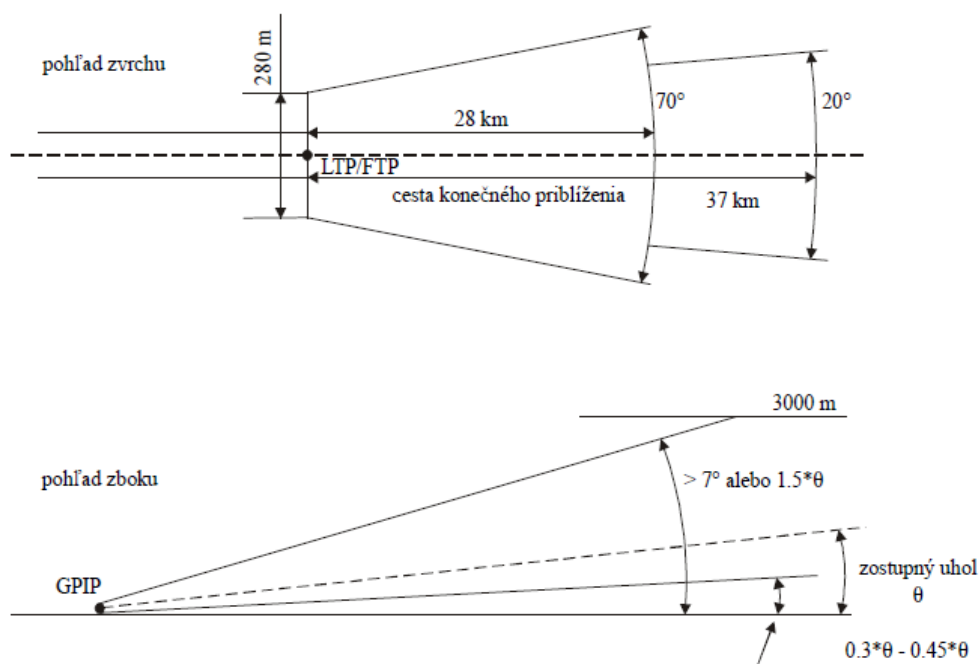
Pozemní část systému poskytuje údaje o přiblížení, korekci pseudovzdálenosti a údaje o spolehlivosti. Jeden pozemní systém GBAS může pokrýt všechny palubní systémy v jeho dosahu a zároveň pokrýt celé letiště pro přesné přiblížení na všech drahách a do budoucna jak již bylo řečeno i pohyb dopravních prostředků po letištní ploše. [28]



Obr. 13 – Schéma uspořádání GBAS [12]

Princip systému

Větší přesnosti určení polohy letadla se zajišťuje metodou diferenčního měření. Zde se využívá skutečnosti, že referenční stanice jsou umístěny stacionárně a geodeticky je změřena poloha jejího středu, která je známá. Referenční stanice provádí neustále měření ke všem viditelným družicím, které tyto údaje přenesou do pozemní stanice GBAS, kde se provede korekce pseudovzdálenosti. Tato zpracovaná data se vysílají pomocí VDB vysílače. Vysílání systému GBAS by mělo být všesměrové. Systém vysílá ve frekvenčním pásmu stejném jako systém VOR a to 108 – 117,975 MHz s odstupem kanálů 25kHz. Informace jsou vysílány v 3 bitových symbolech, diferenčního osmistavového klíčování, který moduluje kmitočet s rychlostí 10 500 symbolů za sekundu. Pro každé přiblížení bude přiděleno číslo kanálu, díky němuž palubní systém naladí správnou frekvenci. [28]



Obr. 14 – Pokrytí signálem GBSS[28]

Přiblížení

Na palubním vybavení pro použití GBAS pilot zvolí kombinaci pěti čísel od 20 000 do 39 999, která bude přiřazena kanálu pro přesné přiblížení. Stejně jako u přiblížení podle ILS je v úseku středního přiblížení využíváno příčné vedení, dokud pilot nedosáhne sestupové dráhy. Poté je zahájeno jak vertikální, tak i směrové vedení, které navede pilota po sestupové dráze až na přistání. GBAS nepřetržitě poskytuje informace o vzdálenosti k prahu dráhy. Pozemní zařízení přenáší pomocí digitální zprávy informace potřebné k přiblížení. Tato zpráva obsahuje informace o sestupové dráze, šířce příčného úseku, příčné citlivosti a další informace o sektoru navádění. Palubní systém vyhodnotí informace výpočtem definuje charakteristiky navádění. [12]

Typy zpráv GBAS

V současné době jsou pro GBAS definovány čtyři typy zpráv:

- **Zpráva typu 1** – Obsahuje data o integritě a diferenciální korekce pro každý satelit, který je pozemním systémem monitorován. Dále zpráva obsahuje přídavné parametry chyb, způsobených efemeridami pro korekci pseudovzdálenosti.

- **Zpráva typu 2** – Obsahuje data o pozemním systému. Patří zde data o umístění a počtu referenčních stanic. Dále pak ionosférické a troposférické parametry díky nimž může systém zajistit integritu.
- **Zpráva typu 4** – Obsahuje definice pro konečné přiblížení. Tyto informace jsou složeny z jednotlivých bodů, které jednoznačně definují přímkou, která je průsečíkem dvou referenčních ploch.
- **Zpráva typu 5** – Tato zpráva udává počáteční informace a informace o uspořádání současně nebo brzy viditelných zdrojů určování vzdálenosti. [12]

Přesnost systému GBAS

Okamžitá přesnost závisí na aktuální poloze satelitů. Systém GBAS dokáže v 95 % případů zajistit v horizontální přesnost 1 m a vertikální přesnost 1,5 m. Přesnost polohy je v 95 % případů 4 m ve svislém směru a 16 m v příčném, čímž dle ICAO splňuje požadavky pro přesné přiblížení CAT I. [12]

1.2 Nepřesné přístrojové přiblížení

Toto přiblížení stejně jako u přesného přiblížení využívá směrového vedení, ale bez vertikálního vedení. Informaci o vertikální poloze letadla pilot nahrazuje kontrolou výšky v určitých bodech. Mezi zařízení poskytující nepřesné přístrojové přiblížení patří nesměrový maják NDB (Non-directional Radio Beacon) a všesměrový maják VOR (VHF Omnidirectional Radio Range). Dále sem patří i systém ILS, ale jen pokud neobsahuje sestupový maják. [14]

1.2.1 NDB/ADF

NDB (Non-Directional Beacon) je rádiový vysílač s nesměrovou anténou, které pracují v pásmu dlouhých a středních vln.

ADF (Automatic Direction Finding) je automatický rádiový kompas, který nám udává kurz k majáku NDB.

NDB je možné použít na traťové vedení, aktivní nebo pasivní let k nebo od majáku a také na konečné přiblížení. NDB maják se umísťuje v blízkosti letišť, v ose přistávací dráhy, čímž ukazuje letadlům směr přistání. Maják NDB vysílá na kmitočtech 200-500 kHz. Každý maják

má svoji identifikační značku, která se identifikuje pomocí Morseovy abecedy. Prostor okolo majáku musí splňovat požadavky na tzv. krytí. Krytí určuje maximální vzdálenost, ve které je přesnost měření signálu stále přijatelná. Krytí systému závisí na okolním terénu a účinnosti antény. Nicméně se krytí pohybuje v rozmezí 18,5 km až 46,3km. [7]



Obr. 15 – Nesměrový NDB maják[20]

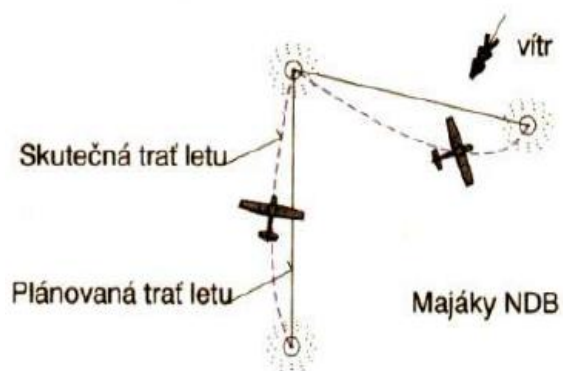
Princip NDB

Princip spočívá ve vysílání všesměrového signálu pozemní antény ve frekvenci 200 – 525 KHZ. Výsledným signálem je amplitudově modulovaná nosná vlna v pásmu dlouhých vln. Signál se šíří všemi směry se stejnou intenzitou. Palubní přijímač získává signál z pevné a otočné rámové antény. Elektromagnetické pole indikuje na anténách napětí. Součtem těchto napětí vznikne napětí, které otáčí motorkem dokud se rámová anténa nedostane do pozice s nulovým příjmem. Poté přestane procházet proud a ručička indikátoru ukazuje směr k majáku. [7]

Lety k majáku NDB:

- Pasivní let – Snaha o směřování předě letadla k majáku. Vlivem větru však bude letadlo měnit kurz a trajektorie letu nebude přímka.
- Aktivní let – Oproti pasivnímu letu je zde vychýlená přední část letadla oproti větru, čímž se zamezí změny kurzu vlivem větru a letadlo letí po přímce k majáku. [7]

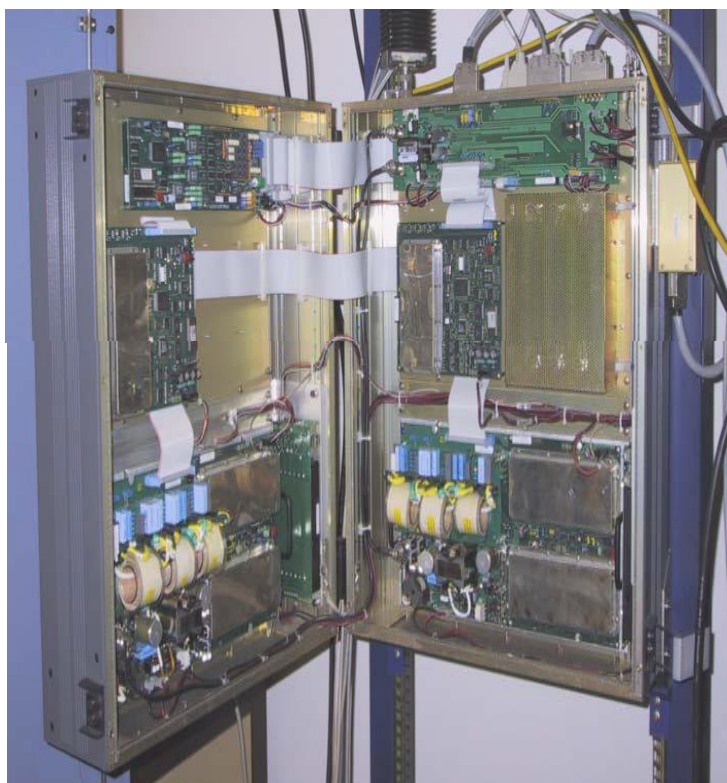
Vliv větru při pasivním letu letadla k majáku NDB



Obr. 16 – Pasivní let k NDB majáku [7]

Komponenty NDB majáku:

- Zařízení NDB kam patří vysílač, ovládací prvky, monitor.
- Jednotka ladění antény
- Napájecí jednotka obsahuje nabíječku baterií a měnič střídavého proudu na stejnosměrný.
- Anténní systém
- Systém vstupu a výstupu [7]



Obr. 17 – Pohled do řídicí jednotky NDB [7]

Každý NDB maják musí být vybaven systémem pro monitorování správné funkčnosti

Monitorují se tyto stavy:

- Pokles vyzařovaného výkonu nosné frekvence
- Přerušení vysílání identifikačního signálu
- Porucha monitorovacího zařízení [7]

1.2.2 Systém VOR/DME

Vor je všesměrový radiomaják. Na rozdíl od NDB majáku dokáže přímo ze signálu bez směrové antény určit směr k majáku. Máme několik druhů majáků VOR. Prvním je BVOR (Broadcast VOR), který vysílá informace o rychlosti a směru větru. Druhým typem je CVOR (Conventional VOR) a třetím typem je DVOR, který na rozdíl od CVOR využívá Dopplerova jevu. Vor systém slouží k přímému letu k nebo od majáku, určení polohy letadla vůči majáku a navedení letadla do libovolného místa. Majáky často bývají rozšířené o systém DME, který měří vzdálenost k majáku. [6]

Princip

Vor maják vysílá dva signály v rozmezí 108,000 – 117,950 MHz. Jeden je všesměrový referenční s modulací 30 Hz a druhý směrový také s modulací 30 Hz avšak s proměnnou fází. Jednomu stupni fázového rozdílu signálů odpovídá jeden zeměpisný stupeň. Tím udává radiálu k majáku. [6]

Vor má anténu složenou z řady menších antének, které jsou umístěny do kruhu. Do nich se pak přepíná signál tak, že soustava antén vytváří točící pole. Toto pole se otočí o 360° 30x za sekundu a toto pole má tvar srdce. [6]



Obr. 18 – DVOR [10]

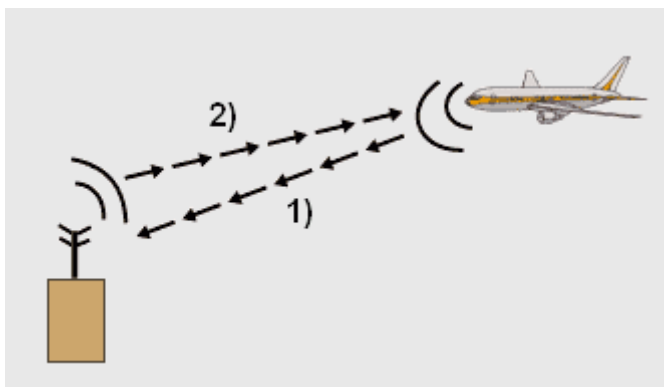
DVOR využívá Dopplerova jevu. Je vhodný pro použití v členitém terénu. Rozdíl mezi CVOR a DVOR je v záměně signálu. U DVOR se mění fáze signálu. U DVOR se mění fáze navigačního signálu 30 Hz, který získáme z frekvenčně modulované pomocné nosné o frekvenci 9 960 Hz v závislosti na poloze přijímače vůči majáku. Referenční signál je amplitudově modulovaný s modulačním kmitočtem 30 Hz a je vysílán do všech směrů stejně. Dopplerův jev vzniká zdánlivým pohybem všesměrové antény. [6]

Dme

Je systém, který měří vzdálenost letadla od antény. DME se používá především v kombinaci se systémy NDB, VOR a ILS. DME systémy se dělí na traťové a koncové. Traťové DME poskytují letadlům šikmou vzdálenost k DME a kombinaci s VOR určují polohu letadla v prostoru. Koncové poskytují letadlům přesnou vzdálenost od Prahu dráhy. [34]

Princip

Dme vysílá v pásmu 960 MHz – 1215MHz. Dotazovač v letadle vyšle signál k pozemní stanici DME, ta signál přijme a odešle zpátky k letadlu. Dotazovač měří čas, za který se signál vrátí. Jednoduše pak vyhodnotí šikmou vzdálenost k majáku. Zařízení dokáže při přímé radiové viditelnosti měřit vzdálenost až do 200NM. [34]



Obr. 19 – Měření vzdálenosti DME [29]

Výhody:

- Poměrně přesné hodnoty šikmé vzdálenosti k majáku
- Stát se součástí jiného systému (VOR, NDB, ILS, MLS)
- Jednoduchost a nízká pořizovací cena [34]

1.3 Přiblížení s vertikálním vedením APV

Přiblížení s vertikálním vedením zajišťuje vedení jak ve směrové tak i vertikální rovině. Toto přiblížení ovšem nesplňuje podmínky přesného přiblížení. Patří sem přiblížení APV/baro-VNAV a APV/SBAS. Jejich hlavní výhodou je, že bez nutnosti budování pozemní infrastruktury můžeme získat přesný systém srovnatelný s CAT I. [15]

APV/BARO-VNAV

Postup pro přiblížení s barovertikálním vedením vyžaduje v úseku středního přiblížení korekci na teplotní odchylku. Tuto korekci může provádět posádka nebo VNAV systém. „Metoda BARO vychází z horizontální podoby překážkových rovin pro přiblížení bez vertikálního vedení s podporou prostorové navigace – LNAV“. [15]

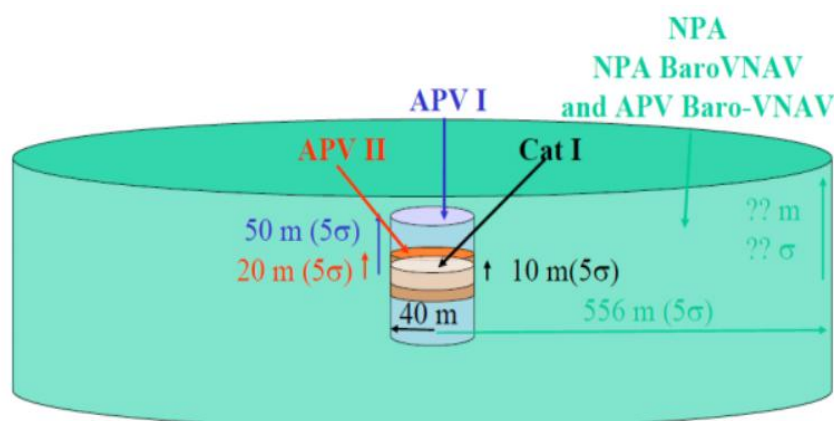
APV/SBAS

SBAS je rozšiřujícím systémem GNSS a skládá se z těchto částí:

- Pozemní infrastruktura
- Družice SBAS
- Přijímač SBAS

Pozemní infrastruktura obsahuje monitorovací stanice, které přijímají data z družic a dále vypočítávají vzdálenost, korekci a spolehlivost přijímaných dat. Pozemní segment měří pseudovzdálenosti mezi družicí a referenční stanicí, jejíž poloha je geodeticky změřena. Z takto získaných dat poskytuje systém SBAS korekci pro chyby efemerid družic, hodin družic a ionosférické chyby. V Evropě se tento systém nazývá EGNOS. [28]

Přiblížení APV/SBAS je na rozdíl od přiblížení APV/BARO-VNAV nezávislé na okolní teplotě. Přiblížení APV má podobnou koncepci jako přiblížení ILS. Výška rozhodnutí pro APV/SBAS přiblížení vypočítá jako součet výšky překážky nad prahem dráhy a ztráty výšky, která se liší typem letadla a typem přiblížení. [15]



Obr. 20 – Porovnání přesností APV přiblížení [16]

„Využívání SBAS, a tedy primárně LPV přiblížení, je z finančního hlediska nejlepší možnou volbou. LPV umožňuje jak horizontální, tak vertikální vedení po trati s vysokou přesností, která v kvalitě APV II přibližně odpovídá přiblížení ILS, přitom i APV I je daleko lepší než ostatní GNSS přiblížení.“ [16]

2 Ekonomická analýza navigačních prostředků

2.1 Ekonomická analýza VOR/DME

VOR se v kombinaci s DME používá pro nepřesné přístrojové přiblížení. Na mnoha letištích slouží jako záložní systém ILS. Většina letadel na světě je vybavena palubním segmentem pro zpracování signálu VOR.

Tabulka 3 – Pořizovací náklady VOR/DME [1]

Pořizovací náklady VOR	Cena [€]
Dopplerův VOR	330 000
VOR	150 000
DME	110 000
Instalace	46 000
Celkové náklady	646 000

Provozní náklady systému se pohybují okolo 28 000 € ročně. Cena letového ověření VOR je přibližně 8 000 € a letového ověření DME přibližně 3 000 €. [1] Letové ověření těchto systémů provádí technici z ŘLP a u obou systémů se provádí letové ověření správnosti signálu jednou ročně s tolerancí 30 dnů. [9] Kontrolu pozemního segmentu provádí opět technici ŘLP a náklady na jejich výjezd, náhradní díly a provoz systému se pohybují okolo 17 000 €/rok. [1]

2.2 Ekonomická analýza NDB

NDB bývá pro funkci přiblížení doplněn systémem DME stejně jako u VOR, kde jsme již jeho cenovou analýzu zpracovali. Je to jeden z nejstarších navigačních systémů na světě avšak díky jeho jednoduchosti a pořizovacím nákladům je tento systém stále využíván.

Tabulka 4 – Pořizovací náklady NDB [33]

Pořizovací náklady NDB	Cena [€]
Cena zařízení	27 000
Instalace	13 000
Celkové náklady	44 500

Zálet systému NDB se provádí jednou ročně s tolerancí 30 dní. [9] Jeho cena se pohybuje okolo 5000 €. Náklady na údržbu a provoz systému se pohybují okolo 3000 €. Celkové provozní náklady NDB jsou tedy asi 8000 € ročně, což je v porovnání s ostatními navigačními prostředky velmi malá částka. [33]

2.3 Ekonomická analýza LPV přiblížení

APV/SBAS se dělí do dvou kategorií APV I a APV II, přičemž APV CAT II přibližně odpovídá přesností ILS CAT I. Toto je, co se týče nákladů, nejvýhodnější řešení, protože signály GPS a EGNOS jsou poskytovány **zdarma**. Náklady na provoz jsou minimální. Letiště tak ušetří velké částky za vybudování infrastruktury, která je nezbytná pro ostatní navigační systémy. [16]

Jediné náklady, které by letiště muselo vynaložit, pokud by letiště nedisponovalo dostatečným světelným dráhovým systémem. Můžeme tedy jako náklady uvést hodnotu světelného systému pro APV/SBAS, která je obdobná ceně světelného systému u ILS CAT I. Tato cena činí 1 710 000 €. [16]

Dále pak náklady spojené s novými instrukcemi na přistání, kde se pro jednu dráhu pohybuje cena okolo 24 000 €. [21]

2.4 Ekonomická analýza ILS

ILS je v Evropě nejrozšířenějším systémem přesného přiblížení. U novějšího typu systému ILS do cenové analýzy nezapočítáváme polohová návěstidla. Polohová návěstidla totiž bývají u novějších typů nahrazena odpovídáčem DME, kdy pilot dostává informaci o rychlosti přiblížení. [3]

2.4.1 Cenová analýza pořizovacích nákladů ILS podle kategorie

Jednotlivé pořizovací náklady jsou rozděleny do následujících tabulek podle kategorie. Mezi infrastrukturu systému řadíme kurzový maják tzv. localizer, sestupový maják tzv. glide path, DME a budovy pro zařízení.

2.4.1.1 Cenová analýza ILS CAT I

Obecně systémy CAT I mohou být založeny pouze na jednom kanálu. Zařízení je monitorováno prostřednictvím interních monitorů a integral a/nebo field monitorů. [2]

Tabulka 5 – Pořizovací náklady ILS CAT I [4]

Pořizovací náklady ILS CAT I	Cena [€]
Infrastruktura + DME	336 000
Instalace	175 000
Stavební práce	195 000
Certifikace	30 000
Celkové náklady	736 000

2.4.1.2 Cenová analýza ILS CAT II

U systémů CAT II stačí opět založení na jednom kanálu, avšak monitorovací systém musí být zdvojený. [2]

Tabulka 6 – Pořizovací náklady ILS CAT II [4]

Pořizovací cena ILS CAT II	Cena [€]
Infrastruktura + DME	384 000
Instalace	175 000
Stavební práce	195 000
Certifikace	30 000
Celkové náklady	784 000

2.4.1.3 Cenová analýza ILS CAT III

Systemy CAT III musí být plně redundantní. Zařízení se skládá ze dvou nepřetržitě pracujících vysílačů, jeden napájí anténní systém, druhý vysílač je připojen do umělé zátěže a jeho kritické parametry by měly být monitorovány. V systému CAT II/III je automaticky implementován test integrity, který ověřuje správnou funkčnost systému. [2]

Tabulka 7 – Pořizovací náklady ILS CAT III [4]

Pořizovací cena ILS CAT III	Cena [€]
Infrastruktura + DME	406 000
Instalace	175 000
Stavební práce	195 000
Certifikace	30 000
Celkové náklady	806 000

2.4.2 Cenová analýza provozních nákladů systému ILS

Pokud již máme systém nainstalovaný a funkční je třeba provádět kontroly a údržbu systému. Do provozních nákladů patří údržba systému, servis, náhradní součástky, kontroly pracovníky ŘLP. Náklady na provoz jednotlivých kategorií jsou shrnuty v následující tabulce 8.

Letové ověření u ILS CAT I se provádí jednou za 180 dní s tolerancí 30 dnů. Ověření může trvat až 2 hodiny. Letové ověření u ILS CAT II a III se provádí jednou za 120 dní s tolerancí opět třicet dní. [9]

Tabulka 8 – Provozní náklady systému ILS [4]

Provozní náklady	cena [€/rok]
ILS CAT I	79 000
ILS CAT II	95 000
ILS CAT III	105 000

2.4.3. Cenová analýza světelných soustav

Světelná soustava pro přesné přiblížení I. kategorie obsahuje tyto prvky:

- Přibližovací soustava první kategorie
- Světelné sestupové soustavy (PAPI)
- Postranní dráhová návěstidla
- Prahová návěstidla a návěstidla vnějších prahových polopřímek
- Koncová světelná návěstidla
- Návěstidla dojezdové dráhy
- Osová nebo postranní návěstidla pojezdové dráhy [27]

Světelná soustava pro přesné přiblížení II. kategorie obsahuje prvky pro I. Kategorii a zároveň navíc níže uvedené:

- Přibližovací soustava II/III kategorie
- Návěstidla dotykové zóny
- Stop příčky
- Návěstidla mezilehlých vyčkávacích míst
- Dráhová ochranná návěstidla
- Návěstidla vyčkávacího místa na komunikaci [27]

Světelná soustava pro přesné přiblížení III. kategorie obsahuje navíc oproti kategorii 2 návěstidla os pojížděcích drah a dále kontrolní a monitorovací systém. [27]

Tabulka 9 – Pořizovací náklady světelných soustav [4]

Světelné soustavy podle kategorií	cena (€)
CAT I	1 710 000
CAT II	4 112 000
CAT III	6 034 000

Světelné soustavy také podléhají pravidelným kontrolám. Letové ověřování světelné soustavy CAT I se provádí jednou ročně a u CAT II a III se provádí dvakrát do roka. [22]

2.5 Ekonomická analýza GBAS

V infrastruktuře jsou zahrnuty referenční stanice, VDB vysílač, GPS stanice a monitory.

Tabulka 10 – Náklady na instalaci GBAS CAT I [4]

Náklady na instalaci systému GBAS CAT I	Cena [€]
Infrastruktura	500 000
Instalace	120 000
Stavební práce	44 000
Uvedení do provozu	30 000
Celkové náklady	694 000

Tabulka 11 – Náklady na instalaci GBAS CAT II/III [4]

Náklady na instalaci systému GBAS CAT II/III	Cena [€]
Infrastruktura	1 000 000
Instalace	120 000
Stavební práce	44 000
Uvedení do provozu	30 000
Celkové náklady	1 194 000

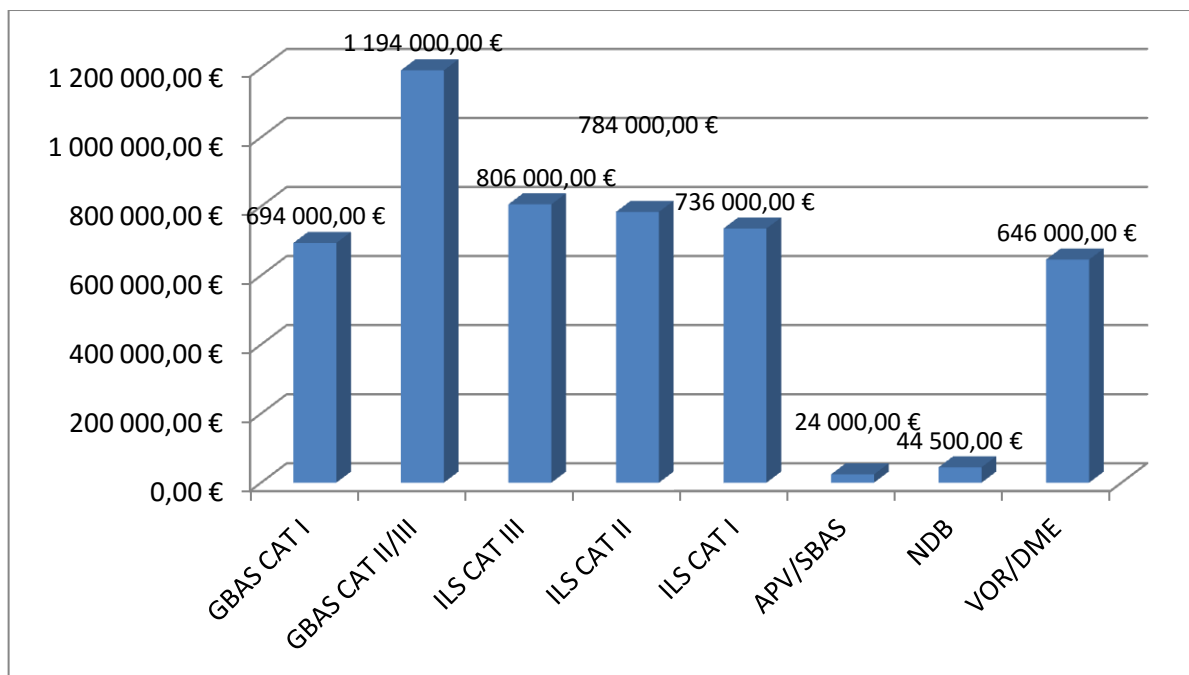
Do provozních nákladů opět patří údržba systému, servis, náhradní součástky, kontroly pracovníky ŘLP, elektrická energie. Náklady se pohybují přibližně okolo **43 000€ za rok**. [4] Pravidelná údržba se skládá z inspekce zařízení, kde se kontroluje neporušenost antény a jejich celkový stav. Dále se provádí inspekce vybavení, která zahrnuje kontrolu funkce jednotlivých prvků např. frekvence a výkon vysílačů, pokrytí signálem, elektrický zdroj včetně záložního elektrického zdroje.

2.6 Zhodnocení výsledků ekonomické analýzy

NDB a VOR jsou systémy pro nepřesné přístrojové přiblížení a na mezinárodních letištích v ČR slouží jen jako zálohy systému ILS. Navíc se v nejbližší době plánuje jejich vyřazení. Tím pádem ho nebudeme do hodnocení zařazovat.

2.6.1 Zhodnocení z hlediska pořizovací ceny

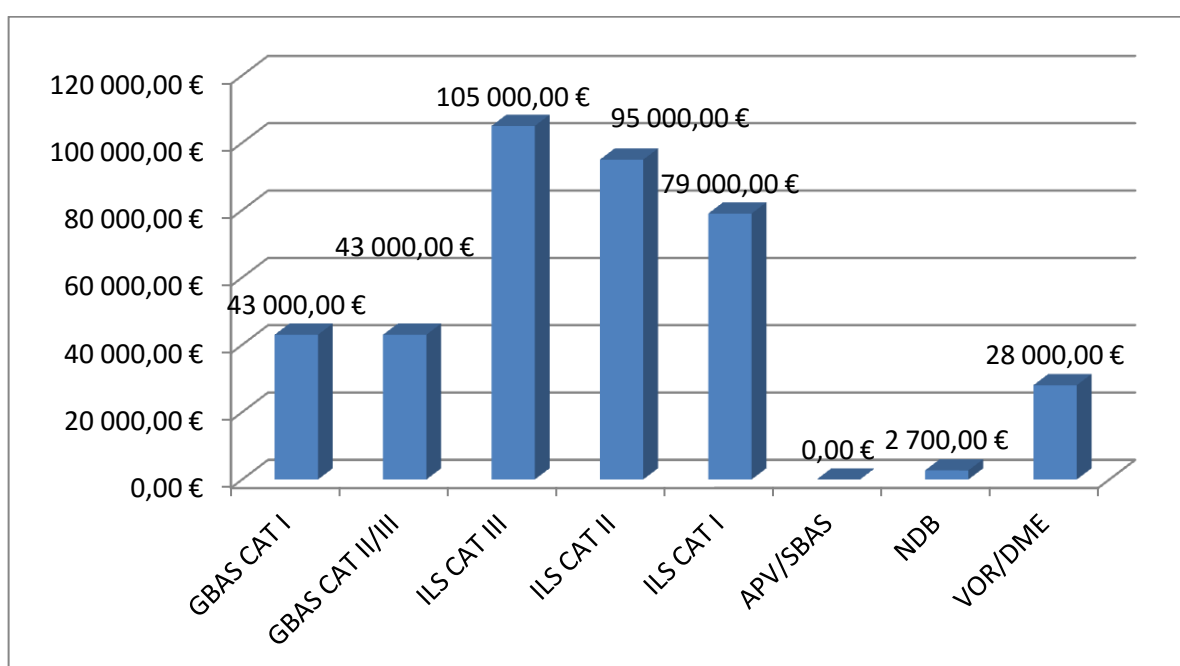
Na první pohled se jeví systém GBAS CAT II/III jako nejnákladnější, co se týče pořizovacích nákladů. Musíme si ale uvědomit, že v komplexním řešení je GBAS CAT II/III úspornější. Zatímco systém ILS musí být instalován na každou rwy a navíc pro každý směr rwy, systém GBAS dokáže zajistit přiblížení pro všechny rwy z jedné instalace. Dalo by se tedy říci, že čím více rwy bude letiště disponovat, tím pro něho bude systém GBAS výhodnější. Samozřejmě záleží na situování letiště. Nejvýhodnějším řešením je bezesporu APV/SBAS přiblížení. LPV přiblížení nám ovšem nezajistí přesné přiblížení za kategorie II a III.



Graf 1 – Porovnání pořizovacích nákladů systémů

2.6.2 Zhodnocení z hlediska provozních nákladů

Z hlediska provozních nákladů se jeví jako nejvýhodnější řešení opět LPV přiblížení. Tento systém je z pohledu letiště zcela bezúdržbový. Srovnáním navigačních prostředků pro přesné přiblížení se jasně z hlediska provozních nákladů jeví systém GBAS, který na rozdíl od ILS nevyžaduje tak časté inspekční kontroly. Opět musíme podotknout, že GBAS dokáže z jedné instalace zabezpečit přiblížení na více drahách, tudíž pro letiště s jednou drahou, kde chceme zabezpečit přiblížení z obou směrů budou náklady GBAS oproti systému ILS přibližně čtvrtinové.



Graf 2 – Porovnání provozních nákladů systémů

3 Modelové řešení pro letiště Vodochody

3.1 Informace o letišti Vodochody

3.1.1 Historie data letiště

První zmínka o letišti Vodochody je z roku 1942, kdy bylo využíváno pro účely německé armády. V roce 1953 zde byla otevřena letecká továrna a konstruovaly se zde například letouny MIG – 15, L-39 Abatros ad. AERO Vodochody se dne 2. 1. 1991 stalo akciovou společností. Od roku 2007 je vlastníkem AERA soukromá kapitálová skupina Penta. V roce 2008 splnilo letiště všechny náležitosti pro provozování mezinárodního letiště. [11]

3.1.2 Základní informace

Letiště Vodochody se nachází 2 km od obce Odolená voda a přibližně 7 km severně od okraje Prahy.

Zeměpisné souřadnice vztažného bodu letiště : 50° 13' 00" N, 014° 23' 44" E

Nadmořská výška/vztažná teplota : 919 ft / 280 m/22,5° C

Označení: ICAO - LKVO

IATA - VOD

Provozovatel letiště: Letiště Vodochody a.s

Adresa letiště: Letiště Vodochody a.s. U Letiště 374

250 70 Odolená Voda, Dolínek

Povolený druh provozu: IFR/VFR

Dráhy: 10/28 – 2500 m x 45 m - asfalt

11/29 – 1800 m x 50 m - tráva

Přiblížení: 28 ILS CAT I, DME [25]



Obr. 21 – Letiště Praha - Vodochody [30]

3.1.3 Předpokládaný rozvoj letiště

Projekt z roku 2009 má za cíl vytvořit z letiště Vodochody druhé mezinárodní letiště v Praze, které by přispělo k hospodářskému růstu a podpoře turismu. Po modernizaci by letiště bylo schopné přijímat a odbavovat letadla kategorie C, tzn. do rozpětí 36m dle ICAO. Mezi taková letadla patří například Airbus A320 nebo Boeing 737. Letiště plánuje odbavit kolem 17 000 odbavených letadel ročně. Dráha projde rekonstrukcí, avšak její délka 2500 m a šířka 45 bude zachována. Nově přibudou dva rychlovýjezdy, které umožní letadlům rychlejší opouštění dráhy. Ve vzdálenosti 170 m od dráhy bude vybudována paralelní pojízděcí dráha se šířkou 25m včetně okrajů. Letiště má nyní k dispozici přístrojové přiblížení pouze z jednoho směru. Je to systém 28 ILS DME CAT I, které umožňuje přistávat letadlům při dohlednosti 1100m a výšce rozhodnutí 300ft. Projekt plánuje provést upgrade tohoto přibližovacího systému na ILS kategorie III a to konkrétně ILS IIIA. Tento systém pak umožní snížit dohlednost na 200m a výšku rozhodnutí 50 ft. V tabulce 12 jsou uvedeny některé zajímavé parametry o plánovaném rozvoji letiště. [11]

„Jsme přesvědčeni, že Praha druhé letiště potřebuje, registrujeme po něm vysokou poptávku již nyní. Potenciál objemu počtu leteckých cestujících v ČR odhadli odborníci na konferenci Přínos letecké dopravy pro ekonomiku ČR“ až na 30 milionů cestujících v roce 2030. Ruzyňské letiště podle dostupné dokumentace EIA plánuje rozvoj na cílových 21,2

miliónu cestujících ročně. Pokud bychom odhadli výkony regionálních letišť v budoucnu velmi optimisticky na cca 3 milióny cestujících za rok (Ostrava 1 mil., Brno 1 mil., Karlovy Vary 500 tis. a ostatní letiště všechna dohromady také 500 tis.), zbývá ještě prostor v blízkosti Prahy – o kterou je ten hlavní zájem – zhruba o velikosti připravovaného projektu letiště Vodochody.“
[11]

Tabulka 12 – Statistika předpokládaného vývoje letiště [11]

Předpokládané statistiky vývoje letiště	
Celkové plánované investice	3 miliardy korun
Počet přepravených cestujících ročně	3,5 miliónu
Průměrný počet odbavených letadel denně	48
Projektovaná hodinová kapacita terminálu	1200 cestujících za hodinu
Počet pozic pro letadla (pro letadla kat. C dle ICAO)	15 stání
Parametry dráhy	délka 2500 m, šířka 45 m
Parkování pro veřejnost	572 parkovacích míst



Obr. 22 – Předpokládaná podoba letiště [31]

3.2 Analýza četnosti výskytu podmínek pro LVP

Na letišti LKVO lety za nízkých dohledností nelze provádět, je to tovární letiště pro lety za I. kategorie dle ICAO – chybí zde pro lety za LVP potřebné radionavigační i meteorologické vybavení.

Proto pro analýzu četnosti výskytu podmínek pro LVP použijeme statistiku od roku 2009 do roku 2014 z letiště Václava Havla, které se nachází ve vzdálenosti 16 km od letiště a budeme tak předpokládat na letišti Praha – Vodochody stejné podmínky.

Z tabulky vidíme, že četnost podmínek pro LVP CAT III výrazně převládá. Vezmeme-li data pro rok 2011, kdy podmínky pro LPV trvaly nejdéle a to konkrétně 286,5h. Při plánovaném odbavení 17 000 letadel za rok, by se přesměrování na jiná letiště týkalo za rok 2011 asi 500 letadel, pokud by jsme na letišti neměli přiblížovací systém III. kategorie, ale například levnější verzi LPV. Proto se dále budeme zabývat analýzou pouze systému ILS a GBAS.

Tabulka 13 – Četnost výskytu podmínek pro LVP [4], [26]

Četnost podmínek pro LPV	r. 2009	r. 2010	r. 2011	r. 2012	r. 2013	r. 2014
LVP CAT III	55	61	64	145	102	62
LVP CAT II	0	0	4	6	2	4

Tabulka 14 – Délka trvání LVP [4], [26]

LPV	r. 2009	r. 2010	r. 2011	r. 2012	r. 2013	r. 2014
Délka trvání [h]	156,5	209,1	286,5	195,1	172,5	164,1

3.3 Ekonomická analýza pro letiště Praha - Vodochody

Jak už jsme zmínili v kapitole 3.1.3, v projektu na modernizaci letiště se plánuje nahradit přiblížovací systém ILS CAT I systémem ILS CAT III což také vyplývá z tabulky 8. Pomocí dat z kapitoly 2 zanalyzujeme, zda je toto řešení ekonomicky nejvýhodnější.

3.3.1 Porovnání nákladů systému ILS CAT III s GBAS CAT II/III

Tabulka 15 – Porovnání pořizovacích nákladů ILS a GBAS [4]

Požizovací cena ILS CAT III	Cena [€]	Náklady na instalaci systému GBAS CAT II/III	Cena [€]
2x Infrastruktura + DME	812 000	Infrastruktura pro CAT II/III	1 000 000
Instalace	175 000	Instalace	120 000
Stavební práce	195 000	Stavební práce	44 000
2x Kalibrace	60 000	Certifikace	30 000
Celkové náklady	1 242 000	Celkové náklady	1 194 000

Jak vidíme v tabulce 15, pořizovací náklady systému GBAS CAT II/III jsou nepatrně nižší než u ILS CAT III a to o **48 000 €**. Náklady na infrastrukturu u systému ILS jsou v tabulce zdvojnásobené, protože chceme využívat přístrojové přiblížení z obou směrů dráhy a pro každý směr potřebuje systém ILS vlastní infrastrukturu na rozdíl od systému GBAS.

Vezmeme-li v potaz, že oba systémy mají stejnou životnost a to 10 let, zanalyzujme nyní náklady na provoz po dobu 10 let obou systémů opět pomocí dat z kapitoly 2.

Tabulka 16 – Porovnání provozních nákladů ILS a GBAS za období 10 let [4]

Provozní náklady za 10 let	Cena [€]
ILS CAT III	2 100 000
GBAS CAT II/III	430 000

Vidíme, že u systému GBAS výrazně ušetříme na provozních nákladech a to **1 670 000 €**. Pokud k této částce připočteme ještě úsporu z pořizovacích nákladů, činí úspora při pořízení systému GBAS CAT II/III místo ILS CAT III **1 718 000 €** za období 10 let.

3.3.2 Modelové případy pro letiště Praha - Vodochody

Pokud chceme na letišti Vodochody provozovat přesné přiblížení CAT II/III pomocí GBAS, který jsme shledali v kapitole 3.3.1 jako ekonomicky nejvýhodnější řešení, musí být tento systém samozřejmě zálohován a v případě jeho nefunkčnosti zastoupen jiným zařízením pro přiblížení. V následující analýze zhodnotíme dvě možnosti řešení záložního systému z hlediska nákladů.

3.3.2.1 Modelový příklad 1

První možnost se týká využití stávajícího přiblížení pomocí ILS CAT I, který byl na letišti Praha -Vodochody modernizován v roce 2011. [11] Přibližná životnost systému je asi 10 let, tudíž by nám mohl sloužit do roku 2021 jako záložní systém pro GBAS bez nutnosti instalace dalšího zařízení. [4] Dále by ILS mohl sloužit jako prostředek pro přiblížení letadlům, která nemají implementovaný systém pro přijetí GLS signálu.

Certifikace pro GBAS CAT II/III se plánuje na rok 2018, kdy by se měl systém začít implementovat na letišti. [23] Provedeme tedy cenovou analýzu od roku 2018, kdy zakoupíme GBAS CAT II/III, tři roky využijeme stávající ILS CAT I a následně ho v roce 2021 obnovíme.

Tabulka 17 – Pořizovací náklady na GBAS CAT II/III pro modelový příklad 1 [4]

Náklady na instalaci systému GBAS CAT II/III	Cena [€]
Infrastruktura pro CAT II/III	1 000 000
Instalace	120 000
Stavební práce	44 000
Certifikace	30 000
Celkové náklady	1 194 000

Tabulka 18 – Pořizovací náklady ILS CAT I pro modelový příklad 1 [4]

Pořizovací náklady ILS CAT I	Cena [€]
Infrastruktura + DME	336 000
Instalace	175 000
Stavební práce	195 000
Konfigurace	30 000
Celkové náklady	736 000

Tabulka 19 – Provozní náklady GBAS A ILS za období 10 let [4]

System	Provozní náklady v období r. 2018 – r. 2028 [€]
GBAS CAT II/III	430 000
ILS CAT I	790 000

V roce 2018 tedy pořídíme systém GBAS CAT II/III v ceně **1 194 000 €**. Jako záložní systém nám bude sloužit původní ILS CAT I a to do roku 2021, kdy provedeme jeho obnovu v ceně **736 000 €**. Provozní náklady obou systémů za období 10 let jsou **430 000 €** pro GBAS CAT II/III a **790 000 €** pro ILS CAT I. Celková částka je tedy **3 150 000 €**.

3.3.2.2 Modelový příklad 2

Jak již bylo v kapitole 2.3 řečeno, pro přiblížení s vertikálním vedením pomocí SBAS, letiště nepotřebuje budovat žádnou pozemní infrastrukturu, signál z družic je poskytován zdarma a jediné poplatky spojené s tímto systémem by byly legislativního charakteru. Tím se dají ušetřit velké částky oproti prvnímu modelovému příkladu, jak vidíme z hodnot. Jediný problém v zavedení GBAS zároveň s APV/SBAS přiblížením je ten, že kdyby byl z nějakého nepochopitelného důvodu přerušen signál z družic. V tomto okamžiku by se na letiště nikdo nedostal.

Tabulka 20 – Pořizovací náklady GBAS CAT II/III [4]

Náklady na instalaci systému GBAS CAT II/III	Cena [€]
Infrastruktura pro CAT II/III	1 000 000
Instalace	120 000
Stavební práce	44 000
Certifikace	30 000
Celkové náklady	1 194 000

Tabulka 21 – Provozní náklady GBAS CAT II/III za období 10let [4]

Systém	Provozní náklady v období r. 2018 – r. 2028
GBAS CAT II/III	430 000 €

Stejně jako příkladu 1 provedeme cenovou analýzu za období od r. 2018 do r. 2028. Pokud sečteme částky **1 194 000 €** za pořízení GBAS, **430 000 €** za provoz systému GBAS v období 10 let, dostáváme výslednou částku **1 624 000 €**. Toto jsou celkové náklady na pořízení a udržování systému GBAS CAT II/III včetně záložního APV/SBAS přiblížení. Vidíme, že jsou daleko menší, než kdybychom na letišti udržovali jako záložní systém ILS CAT I. Ovšem za cenu toho, že při ztrátě GPS signálu by letiště nebylo schopno provozu.

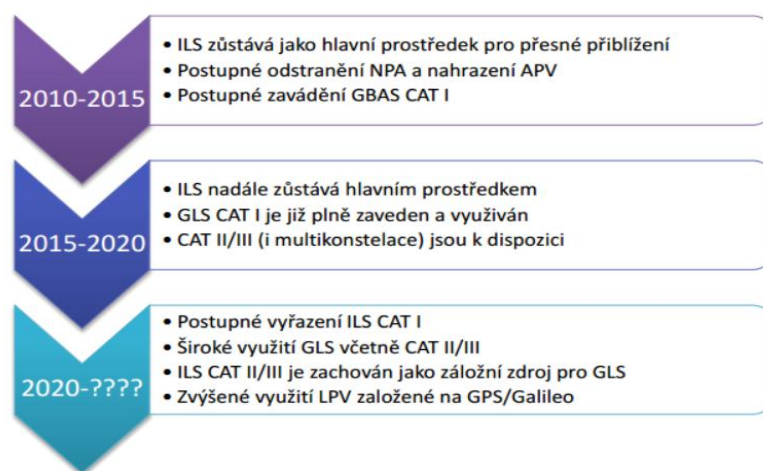
3.4. Výhody a nevýhody implementace GBAS

3.4.1 Výhody implementace systému GBAS

- Kratší pilotní výcvik pro přiblížení GLS
- Jednodušší a méně časté kalibrace systému oproti ILS
- Zajištění provozu i během rutinních kontrol systému
- Snížené náklady, jedna stanice GBAS pokrývá všechny přistávací dráhy na letišti
- Snížení zpoždění letounů, kvůli efektivnějšímu přístupu

- Možnost instalace i v nepříznivém terénu
 - Jedna stanice dokáže řídit současně až 26 přiblížení
 - Snížení hluku a emisí díky efektivnějším přibližovacím trasám
 - Flexibilita umístění pozemních segmentů – signál není rušen pohyby vozidel nebo jiných letadel v blízkosti segmentu jako je tomu u ILS, čím se zvýší efektivita letiště.
- [12]

Jako další výhodu lze uvést, že podle předpovědi ICAO, která je uvedena na obrázku, se budou systému na principu využívání GLS stále rozvíjet a postupně nahradí stávající systémy přiblížení.



Obr. 23 – Vývoj navigačních systémů podle ICAO [10]

3.4.2 Nevýhody implementace systému GBAS

Mezi podstatné nevýhody patří prozatím omezený počet letadel certifikovaných pro využívání GLS služeb. Do budoucna je však plánováno rozšíření počtu letadel podporujících služby GLS jak je patrné z předchozí kapitoly. Seznam aktuálně certifikovaných letadel je uveden v tabulce 22.

Tabulka 22 – Certifikovaná letadla pro využívání GLS [8]

Certifikovaná letadla pro využívání GLS služeb
Airbus A320 Family, (A318, A319, A320, A321)
Airbus A330
Airbus A340
Airbus A350
Airbus A380
Boeing 737 - NG, (-600, -700, -800, -900)
Boeing 747 -8
Boeing 787
Boeing 767 tanker
Plánované certifikace pro využívání GLS služeb
Boeing 777X, (777-8, 777-9) v roce 2020

Další nevýhodou může být to, že GBAS dokáže zajistit přiblížení pro celé letiště. V případě poruchy totiž znemožní přiblížení na všechny dráhy letiště. Letiště tedy musí vynakládat značné finanční prostředky na zřízení a udržování záložních systémů, které v případě poruchy GBAS přiblížení umožní. Tento problém se ale týká spíše letišť s vyšším počtem drah.

3.4.3 Využití systému v budoucnosti

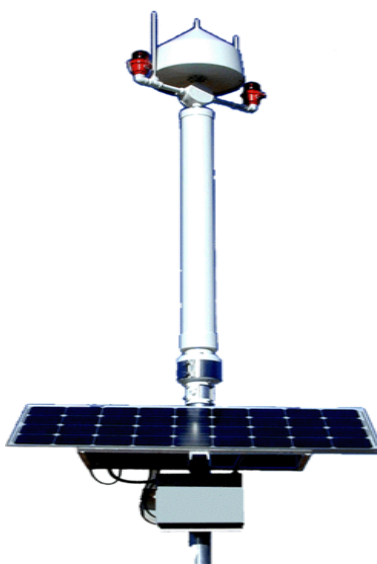
- Použití systému GBAS pro přistávání vrtulníků
- Použití mobilních GBAS stanic na podporu při katastrofách nebo záchranných akcích
- Využití GBAS pro bezpilotní letouny

- Použití GBAS pro přesný pohyb letadel po letištní ploše
- Použitím GBAS na lodích nebo těžebních plošinách pro přistávání vrtulníků [12]

3.5. Návrh implementace GBAS pro letiště Vodochody

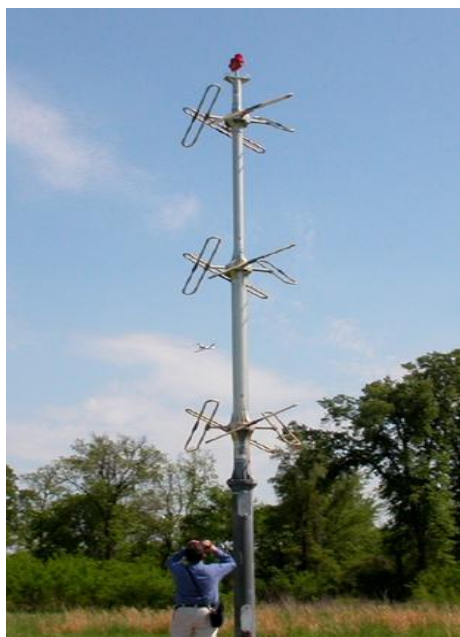
Možné řešení pro implementaci GBAS na letišti Vodochody nalezneme v příloze č.1. Referenční stanice se umisťují 2-4 a musejí být umístěny tak, aby se nenacházely v oblasti, kde se vyskytují překážky. Cokoliv, co zakrývá družice v elevačních úhlech větších jak 5° zhoršuje dostupnost systému. Referenční stanice by od sebe měly být vzdáleny 100 – 200m. Rozhodli jsme se pro implementaci 4 referenčních stanic kvůli zajištění dostupnosti a integrity. Dále musí být referenční stanice umístěné ve vzdálenosti maximálně 1300m od centrální GBAS stanice. Antény by měly být umístěny tak, aby nedocházelo k interferenci vícecestných signálů s požadovaným signálem. Anténa musí mít dobré upevnění, aby nedocházelo k ohýbání antény vlivem nepříznivého počasí. [13], [24]

Referenční stanice je znázorněna na obrázku 8. Rozmístění referenčních stanic je v příloze zobrazeno červenými kruhy.



Obrázek 24 – Referenční stanice GBAS [12]

Dále je třeba umístit VDB vysílač, který je ve schématu zobrazen fialovým obdélníkem a který je zobrazen na obr. 10. Umístění antény VDB by mělo být do vzdálenosti 200 m od pozemní stanice GBAS. Jelikož letiště Praha – Vodochody disponuje pouze jednou drahou, nejsou na umístění VDB vysílače kladeny takové nároky jako u letišť, která disponují více drahami. „Anténa VDB by měla být umístěna tak, aby existovala přímá viditelnost od antény k jakémukoli bodu v rozsahu pokrytí pro každý FAS“. [13], [24]



Obrázek 25 – VDB vysílač [12]

Dále je třeba umístit pozemní stanici, kde probíhá zpracování dat z referenčních stanic a následné vysílání pomocí VDB vysílače. Na pozemní segment nejsou kladeny speciální podmínky pro jeho umístění. V návrhu je označen černou barvou a zobrazena je na obr.

Stejně jako u systému ILS (pokud není řešeno pomocí DME) je třeba umístit i monitory. Umisťují se vždy na začátek a konec dráhy. V návrhu jsou označeny žlutou barvou.



Obrázek 26 – Pozemní stanice GBAS[32]

4) Zhodnocení

V této práci jsem se zabýval cenovou analýzou navigačních prostředků a následně jsem s ohledem na chystaný projekt zvolil nejvýhodnější navigační systém pro implementaci na letiště Praha – Vodochody.

Nejprve jsem provedl popis jednotlivých systémů pro přiblížení. Popis zahrnoval princip funkce, z čeho se skládá a pro názorné předvedení systému jsem využil grafické pomůcky.

V další části jsem provedl ekonomickou analýzu vybraných systémů z pohledu nákladů na pořízení a dále na jejich provoz. Jako nejlevnější systém pro přiblížení nám vyšlo APV přiblížení s pomocí GBAS. Následoval ho zastaralý systém NDB. Ze systémů pro přesné přiblížení dopadl nejlépe systém GBAS, který hravě porazil dnes nejrozšířenější systém ILS. Proto se do budoucna počítá s nahrazením stávajících systémů systémem GBAS.

V praktické části jsem provedl detailnější porovnání systému GBAS CAT II/III se systémem ILS CAT III, který má být pravděpodobně implantován na letiště Praha – Vodochody. Porovnal jsem jejich pořizovací cenu a zároveň i náklady na provoz těchto systémů v období 10 let. Zjistil jsem, že implementováním systému GBAS na letiště Vodochody výrazně ušetříme. Dále jsem popsal další výhody implementování systému GBAS. V poslední řadě jsem provedl návrh implementace systému GBAS na letišti Praha – Vodochody s rozmístěním všech potřebných segmentů systému s ohledem na jejich správnou funkci, zajištění dostupnosti signálu a integrity systému.

Závěr

V této práci jsme se zabývali cenovou analýzou navigačních prostředků pro plánované rozšiřování letiště Vodochody. Do cenové analýzy byly zahrnuty náklady na pořízení pozemního zařízení včetně nákladů na údržbu a povinných inspekci těchto zařízení.

V první řadě jsme systémy rozdělili podle druhu přiblížení a následně provedli teoretický rozbor jednotlivých zařízení, popsali komponenty jednotlivých systémů a na jakém principu pracují.

V další kapitole jsme z teoretického rozboru zvolili nejpoužívanější navigační prostředky pro přiblížení a provedli cenovou analýzu, která zahrnovala náklady na infrastrukturu systému, stavební práce, certifikace systému a následně jsme spočítali celkovou cenu pro pořízení jednotlivých systémů. Dále jsme zanalyzovali také provozní náklady systémů, které zahrnují různé inspekční kontroly, údržba a provoz systému v souladu s předpisem L 10/I. U systému ILS jsme analýzu rozšířili o ceny světelných vybavení pro jednotlivé kategorie přesného přiblížení. Do cenové analýzy jsme nezahrnuli systém MLS, protože se v ČR nepoužívá a kvůli jeho vysoké pořizovací ceně se určitě na letištích implementovat nebude v době rozmach GNSS technologií jako je například GBAS. PAR se dnes používá pouze ve vojenském letectví.

V závěru kapitoly jsme pomocí grafů provedli porovnání jednotlivých systémů z hlediska pořizovacích a provozních nákladů. U systémů nepřesného přístrojového přiblížení nám vyšel nejvýhodněji radiový maják NDB. U přiblížení s vertikálním vedením vyšlo jako nejvýhodnější APV přiblížení pomocí SBAS, které se přesností rovná CAT I pro přesná přiblížení a do budoucna by toto přiblížení mělo nahradit starší systémy. Porovnání systémů pro přesné přiblížení tedy GBAS a ILS vyšel jako ekonomicky výhodnější jednoznačně GBAS, který by měl v roce 2018 získat certifikaci pro CAT II/III a postupně tak nahrazovat starší systémy pro přesné přiblížení.

V poslední kapitole jsme měli za úkol zvolit nejvýhodnější navigační systém pro letiště Praha – Vodochody. Vzhledem k tomu, že v chystaném projektu modernizace je naplánováno modernizovat ILS CAT I na ILS CAT III, provedli jsme porovnání ILS CAT III se systémem GBAS CAT II/III, který jako jediný z GNSS technologií v budoucnu dokáže přesné přiblížení za vyšších kategorií. Jednoznačně úspornějším řešením vyšlo implementování systému GBAS. Dále jsme provedli dva modelové scénáře pro výběr vhodného záložního systému

k systému GBAS. Jednoznačně z hlediska nákladů vyšlo zřízení APV/SBAS přiblížení jako ekonomicky nejvýhodnější.

Dále jsme porovnali, kromě ekonomických další výhody implementace systému GBAS a nastínili jeho další vývoj.

V poslední řadě jsme provedli implementaci systému GBAS včetně rozmístění všech segmentů k zajištění správné funkce.

Literatura

- [1] **LETÁK, František.** Optimalizace pozemních navigačních zařízení regionálních letišť. Praha 2013. [cit. 2015-07-16] Diplomová práce.
- [2] **PLENINGER, Stanislav.** ILS (Instrument landing system): 2010/2011. Přednáška z předmětu zabezpečovací technika. [cit. 2015-07-18]
- [3] **DŽUNDA, Milan.** ILS (Instrument landing system), Zabezpečovací letecká technika - přednáška 7a. Technická univerzita v Košicích. [Online] 3. 11 2013. [Citace: 4. 8 2015.] Dostupné z: <http://web.tuke.sk/lf-kmlp/Ucitelia/Dzunda%20Milan/>.
- [4] **AMBROŽOVÁ, Irena.** Zavedení systému GBAS na letištích v České republice. Praha : ČVUT, 2013. [cit. 2015-08-16] Diplomová práce.
- [5] **DŽUNDA, Milan.** MLS (Microwave landing system), Zabezpečovací letecká technika - přednáška 7b. Technická univerzita v Košicích. [Online] 9. 11 2013. [Citace: 7. 8 2015.] Dostupné z:<http://web.tuke.sk/lf-kmlp/Ucitelia/Dzunda%20Milan/>.
- [6] **DŽUNDA, Milan.** VOR (Microwave landing system), Zabezpečovací letecká technika - přednáška 4. Technická univerzita v Košicích. [Online] 12. 11 2013. [Citace: 7. 8 2015.] Dostupné z:<http://web.tuke.sk/lf-kmlp/Ucitelia/Dzunda%20Milan/>.
- [7] **DŽUNDA, Milan.** NDB (Microwave landing system), Zabezpečovací letecká technika - přednáška 3. Technická univerzita v Košicích. [Online] 4. 11 2013. [Citace: 7. 8 2015.] Dostupné z:<http://web.tuke.sk/lf-kmlp/Ucitelia/Dzunda%20Milan/>.
- [8] **WAAS, GBAS and APNT Program Status GPS Landing system Reference Antenna.** Federa lAviation Administration. [Online] 2014. [Citace: 29. 7 2015.] Dostupné z:<http://www.gps.gov/cgsic/meetings/2014/bunce.pdf>.
- [9] **Česká republika.** LETECKÝ PŘEDPIS O CIVILNÍ LETECKÉ TELEKOMUNIKAČNÍ SLUŽBĚ - RADIONAVIGAČNÍ PROSTŘEDKY L10/I, DODATEK N – LETOVÁ OVĚŘOVÁNÍ LETECKÝCH POZEMNÍCH ZAŘÍZENÍ. [Online] 2010. [Citace: 1. 8 2015.] Dostupné z: <http://lis.rlp.cz /predpisy/>
- [10] **THANG, BACH QUOC.** Přesné přiblížení na přistání GNSS CAT II/III. BRNO : VUTB, 2013. Diplomová práce. Dostupné z:<https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/24725?show=full>
- [11] **AERO AIRPORT.** [Online] Dostupné z: <http://www.vodochodyairport.cz/cs/fakta-a-myty/>
- [12] **MURPHY, Tim; IMRICH, Thomas:** Implementation and Operational Use of Ground-Based Augmentation Systems (GBAS): VA Component of the Future Air Traffic Management System. Proceedings of the IEEE [online]. 2008, s. 22 [cit. 2015-03-31]. ISSN 0018-9219. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?reload=true&arnumber =5208554&contentType=Journals+26+Magazines>

- [13] **Česká republika** LETECKÝ PŘEDPIS O CIVILNÍ LETECKÉ TELEKOMUNIKAČNÍ SLUŽBĚ - RADIONAVIGAČNÍ PROSTŘEDKY L10/I, DODATEK D – LETOVÁ OVĚŘOVÁNÍ LETECKÝCH POZEMNÍCH ZAŘÍZENÍ. [Online] 2010. [Citace: 1. 8 2015.] Dostupné z: <http://lis.rlp.cz /predpisy/>
- [14] **Čapková, Markéta**. Přiblížení podle přístrojů. [Online] 11 2009. [Citace: 10. 8 2015.] Dostupné z:http://pernerscontacts.upce.cz/15_2009/Capkova2.pdf.
- [15] **Veselý, Petr**. Návrh přiblížení APV/SBAS pro letiště Kunovice. [Online] 11 2013. Dostupné z:http://pernerscontacts.upce.cz/31_2013/Vesely.pdf.
- [16] **Kraus, Jakub a Duša, Tomáš**. OBSTACLES IN THE IMPLEMENTATION AND PUBLICATION OF RNP APPROACHES AT EUROPEAN AIRPORTS. Analýza využití SBAS přiblížení pro malá. [Online] [Citace: 29. 7 2015.] Dostupné z:http://www.fd.cvut.cz/projects/k621x1c/dokumenty/Analýza_vyuziti_SBAS_SGS12_final.pdf
- [17] **DŽUNDA, Milan**. PAR (Precision approach radar), Zabezpečovací letecká technika - přednáška 4. Technická univerzita v Košicích. [Online] 12. 11 2013. [Citace: 7. 8 2015.] Dostupné z:<http://web.tuke.sk/lf-kmlp/Ucitelia/Dzunda%20Milan/>.
- [18] Systém ILS CAT III - investice do bezpečnosti. [Citace: 7. 8 2015.] Dostupné z:<http://lotniczapolska.pl/System-ILS-CAT-III-Inwestycja-w-bezpieczenstwo,19385>
- [19] Instrument landing system. [Online] Dostupné z: <http://www.instrument.landingsystem.com/>.
- [20] Flying academy [Online] [Citace: 7. 8 2015.] Dostupné z:<http://flymag.cz/article.php?id=8369>
- [21] GSA-GNSS Supervisory. Egnos portal EU. [Online] http://egnos-portal.eu/sites/default/files/content/study_cost_benefit_analysis_aviation_en.pdf.
- [22] **Česká republika** LETECKÝ PŘEDPIS O LETIŠTÍCH: Dodatek N- Letová ověřování pozemních zařízení. [Online] 2010. [Citace: 1. 8 2015.] Dostupné z: <http://lis.rlp.cz /predpisy/>
- [23] Eurocontrol - GBAS CAT II/III concept [online].. Available from <http://www.eurocontrol.int/eurocontrol-atc-global-2015/gbas-cat-ii-iii-concept>
- [24] Honeywell – Ground Based Augmentation System (GBAS) and Performance Based Navigation (PBN) A NEW Era in Precision Navigation. [online] Dostupné z: <http://www.worldatmcongress.org/uploads/Slides/Honeywell%20Smart%20Path.pdf>
- [25] AIP of the ČR LKVO: Část 3 - Letiště. [online]. 2011 [cit. 2015-07-24]. Dostupné z: http://lis.rlp.cz/ais_data/www_main_control/frm_cz_aip.htm
- [26] **PAČES, Pavel** - Statistika LVP pro LKPR - zprostředkované Leteckou meteorologickou službou a ŘLP
- [27] **Česká republika** LETECKÝ PŘEDPIS O LETIŠTÍCH: Hlava 5- Vizuální prostředky [Online] 2010. [Citace: 1. 8 2015.] Dostupné z: <http://lis.rlp.cz /predpisy/>
- [28] **VOLNER, Rudolf**. Zabezpečovací letecká technika – Družicové systémy, Fakulta strojní, VŠBU Ostrava [Citace: 1. 8 2015.]
- [29] Telecom ABC [online]. 2011 [cit.2015-07-24]. Dostupné z: <http://www.telecomabc.com/d/dme.html>

- [30] Letecký informační server [online]. [cit. 2015-07-23]. Dostupné z:
<http://www.letectvi.cz/letectvi/Article76310.html>
- [31] AGA - Projektová kancelář letišť [online]. Dostupné z:<http://www.aga-letiste.cz/cz/o-firme/historie/>
- [32] Frankfurt implements GBAS [online]. 2011 [cit.2015-07-22]. Dostupné z:
<http://www.ihsairport360.com/article/4738/frankfurt-implements-gbas>
- [33] **JANÁČEK, Matouš**. Srovnání přibližovacích systémů z pohledu cena/výkon. Praha 2013. [cit. 2015-07-16] Bakalářská práce.
- [34] **DŽUNDA, Milan**. DME(Distance Measuring Equipment), Zabezpečovací letecká technika - přednáška 4. Technická univerzita v Košicích. [Online] 12. 11 2013. [Citace: 7. 8 2015.] Dostupné z:<http://web.tuke.sk/lf-kmlp/Ucitelia/Dzunda%20Milan/>.

Seznam zkratek

ADF	Automatic direction finder
APV	Approach with vertical guidance - Přiblížení s vertikálním vedením
CAT	Category
ČR	Česká republika
DH	Decision Height - Výška rozhodnutí
DME	Distance Measuring Equipment
DVOR	Doppler VOR
FAS	Konečné přiblížení
FT	feet – stopa
GBAS	Ground Based Augmentation system
GLS	GBAS Landing Systém
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global positioning system - Globální polohovací systém
ICAO	International Civil Aviation Organization - Mezinárodní organizace civilního letectva
ILS	Instrument Landing System
LAAS	Local Area Augmentation System
MLS	Microwave Landing System
NDB	Non Directional Beacon - Nesměrový radiomaják
NPA	Non – precision approach
PA	Precision approach
PAR	Precision Approach Radar
RNAV	Prostorová navigace
RVR	Runway Visual Range
ŘLP	Řízení letového provozu

SBAS	Satellite Based Augmentation System
UHF	Ultra High Frequency
UKV	Ultra Krátké Vlny
VDB	VHF Data Broadcast
VHF	Very High Frequency
VKV	Velmi Krátké Vlny
VNAV	Vertical Navigation
VOR	VHF omni radar
VPD	Vzletová a Přistávací Dráha

Seznam obrázků

Obr. 1 – Úseky přiblížení

Obr. 2 – Vyzařovací charakteristika lokalizéru

Obr. 3 – Vyzařovací charakteristika sestupového majáku

Obr. 4 – Outer marker

Obr. 5 – Middle marker

Obr. 6 – Inner marker

Obr. 7 – Mechanismus vytvoření kurzové čáry

Obr. 8 – Uspořádání segmentů MLS

Obr. 9 – Určení směrníku

Obr. 10 – Schéma činnosti MLS

Obr. 11 – Ochranné prostory PAR

Obr. 12 – PAR radar

Obr. 13 – Schéma uspořádání GBAS

Obr. 14 – Pokrytí signálem GBAS

Obr. 15 – Nesměrový NDB maják

Obr. 16 – Pasivní let k NDB majáku

Obr. 17 – Pohled do řídicí jednotky NDB

Obr. 18 – DVOR

Obr. 19 – Měření vzdálenosti DME

Obr. 20 – Porovnání přesností APV přiblížení

Obr. 21 – Letiště Praha-Vodochody

Obr. 22 – Předpokládaná podoba letiště po modernizaci

Obr. 23 – Vývoj navigačních systémů podle ICAO

Obr. 24 – Referenční stanice GBAS

Obr. 25 – VDB vysílač

Obr. 26 – Pozemní stanice GBAS

Seznam tabulek

Tabulka č. 1 – Druhy přiblížení

Tabulka č. 2 – Kategorie provozních minim

Tabulka č. 3 – Pořizovací náklady VOR/DME

Tabulka č. 4 – Pořizovací náklady NDB

Tabulka č. 5 – Pořizovací náklady ILS CAT I

Tabulka č. 6 – Pořizovací náklady ILS CAT II

Tabulka č. 7 – Pořizovací náklady ILS CAT III

Tabulka č. 8 – Provozní náklady systému ILS

Tabulka č. 9 – Pořizovací náklady světelných soustav

Tabulka č. 10 – Náklady na instalaci GBAS CAT I

Tabulka č. 11– Náklady na instalaci GBAS CAT II/III

Tabulka č. 12– Statistika přepokládaného vývoje letiště

Tabulka č. 13– Četnost výskytu podmínek pro LVP

Tabulka č. 14– Délka trvání LVP

Tabulka č. 15– Porovnání pořizovacích nákladů ILS a GBAS

Tabulka č. 16– Porovnání provozních nákladů za období 10 let

Tabulka č. 17– Pořizovací náklady na GBAS CAT II/III pro modelový příklad 1

Tabulka č. 18– Pořizovací náklady ILS CAT I pro modelový příklad 1

Tabulka č. 19– Provozní náklady GBAS A ILS za období 10 let

Tabulka č. 20– Pořizovací náklady GBAS CAT II/III pro modelový příklad 2

Tabulka č. 21 - Provozní náklady GBAS CAT II/III za období 10let

Tabulka č. 22 – Certifikovaná letadla pro využívání GLS

Seznam grafů

Graf č. 1 – Porovnání pořizovacích nákladů systémů

Graf č. 2 – Porovnání provozních nákladů systémů

Seznam příloh

Příloha č. 1 – Návrh implementace systému GBAS na LKVO