

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Zavádění systémů přesného přístrojového přiblížení na bázi GPS

Bc. Aleš Svoboda

Diplomová práce

2010

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Aleš SVOBODA**
Osobní číslo: **D08808**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní management, marketing a logistika**
Název tématu: **Zavádění systémů přesného přístrojového přiblížení
na bázi GPS**
Zadávací katedra: **Katedra dopravního managementu, marketingu a logistiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Úvod

1. Současné systémy přesného přístrojového přiblížení
2. Prostředky přesného přiblížení využívající GPS
3. Náklady na zavedení systému přesného přiblížení na bázi GPS
4. Výpočet nákladů na provoz a údržbu prostředků přesného přiblížení na bázi GPS
5. Přínos zavedení systému přesného přístrojového přiblížení využívajícího GPS

Závěr

Rozsah grafických prací: dle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 50 - 60 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná
Seznam odborné literatury:
dle pokynů vedoucího práce

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Rudolf Kampf, CSc.
Katedra dopravního managementu, marketingu
a logistiky
Datum zadání diplomové práce: 30. listopadu 2009
Termín odevzdání diplomové práce: 24. května 2010


prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.
děkan

L.S.


prof. Ing. Vlastimil Melichar, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 30. listopadu 2009

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 24. 5. 2010

Bc. Aleš Svoboda

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce doc. Kampfovi za odborné vedení při tvorbě diplomové práce a konzultantům z oblasti civilní letecké dopravy, zejména pak pracovníkům státního podniku Řízení letového provozu.

ANOTACE

Práce se zabývá problematikou využití prostředků satelitní navigace a odvozených technologií v oblasti přesných přístrojových přiblížení letounů v civilní letecké dopravě. Rozebrány jsou různé druhy stávajících systémů navigačního vedení letounů pro provádění přesných přístrojových přiblížení, vysvětleny jejich principy činnosti, přednosti i omezení. Dále je podrobně rozebrána technologie satelitní navigace GPS, včetně dalších technologií, které zvyšují přesnost a použitelnost těchto prostředků. Práce se rovněž zabývá nákladovostí zavedení, provozu a údržby prostředků přesného přístrojového přiblížení na bázi GPS a příbuzných technologií, se zaměřením na relativní úsporu ve srovnání s dodnes používanými technologiemi. Závěrečná část pak shrnuje přínosy, ale i nevýhody, spojené se zavedením prostředků přesného přiblížení na bázi GPS.

KLÍČOVÁ SLOVA

přesné přiblížení, přístrojové přiblížení, satelitní navigace, GPS, GBAS, LAAS

TITLE

Implementation of GPS-based precision approach systems

ANNOTATION

The thesis deals with exploitation of means of satellite navigation and derived technologies in the field of precision instrument approaches of civil air transport aircraft. Various navigation systems used for precision approaches are analysed. Their function is described as well as the benefits and limitations of them. Further, the technology of GPS satellite navigation is explained, as well as other technologies, which enhance the precision and capabilities of these systems. The thesis also deals with cost-effectiveness of implementation, operation and maintenance of systems used for precision approaches, which are based on GPS and derived technologies. The emphasis is placed on the relative savings brought by implementation of GPS-based technologies in comparison with the cost of the technologies used nowadays. The final part summarizes the benefits and drawbacks associated with implementation of GPS-based precision approach systems.

KEYWORDS

precision approach, instrument approach, satellite navigation, GPS, GBAS, LAAS

OBSAH

	strana
Úvod	9
1 Současné prostředky přesného přístrojového přiblížení	10
1.1 Přiblížení podle přístrojů	10
1.2 Instrument Landing System (ILS)	12
1.2.1 Součásti systému ILS	14
1.2.2 Nepřesnosti systému ILS	17
1.3 Microwave Landing System (MLS)	18
1.3.1 Součásti systému MLS	19
1.3.2 Princip činnosti MLS	21
1.4 Precision Approach Radar (PAR)	22
1.4.1 Omezení radaru	23
2 Prostředky přesného přiblížení využívající GPS	24
2.1 Global Positioning System (GPS)	24
2.1.1 Segmenty GPS	24
2.1.2 Chyby GPS	25
2.2 Differential Global Positioning System (DGPS)	26
2.2.1 Receiver Autonomous Integrity Monitoring (RAIM)	27
2.2.2 Rozšiřující systémy	28
2.3 Postupy pro přesné přiblížení s pozemním rozšířením (GBAS)	30
2.3.1 Provedení přiblížení	30
2.3.2 Kritéria zobrazení přiblížení s použitím GBAS	31
3 Náklady na zavedení systému přesného přiblížení na bázi GPS	32
3.1 Náklady na zavedení pozemního vybavení	32
3.2 Náklady na zavedení letového vybavení	35
3.3 Náklady na výcvik létajícího personálu	37
4 Výpočet nákladů na provoz a údržbu prostředků přesného přiblížení na bázi GPS ...	41
4.1 Provoz a údržba pozemního vybavení	42
4.2 Provoz a údržba letového vybavení	43
4.3 Výpočet provozních nákladů systému GBAS	44
5 Přínos zavedení systému přesného přístrojového přiblížení využívajícího GPS	49
5.1 Přínos a výhody systému přesného přiblížení na bázi GPS	49
5.1.1 Případová studie	51

5.2 Nevýhody systému přesného přiblížení na bázi satelitní navigace	54
Závěr	56
Použitá literatura	59
Seznam tabulek	61
Seznam obrázků	62
Seznam zkratk	63

ÚVOD

„GBAS je budoucností přesných přístrojových přiblížení“

Greg Russell, Airservices CEO

Přiblížení, sestup a přistání na cílovém letišti tvoří závěrečnou a z hlediska bezpečnosti a provozních nákladů velmi významnou část letu každého letounu v civilní letecké dopravě. Vzhledem k nutnosti umět provádět tyto manévry i za ztížených meteorologických podmínek byly vypracovány postupy létání podle přístrojů, známé jako tzv. lety podle pravidel IFR. K zabezpečení navigačního vedení letounů letících podle pravidel IFR během poslední fáze jejich letu, tj. během přístrojového přiblížení a přistání, byla během posledního století vyvinuta a zavedena řada systémů, jež umožňují provést sestup na cílové letiště i za velmi zhoršených meteorologických podmínek. Mnohé z těchto systémů jsou však používány již od 40. let 20. století a jejich provoz a údržba stojí každoročně nemalé finanční prostředky. Se zavedením satelitní navigace, známé spíše pod pojmem GPS, společně s odvozenými technologiemi, které zvyšují přesnost a tedy i využitelnost těchto prostředků, se nabízí možnost jejich využití v letectví, a to i v oblasti přesných přístrojových přiblížení.

Tyto perspektivní technologie (např. tzv. GBAS) slibují nejen úsporu pořizovacích a provozních nákladů, ale i zvýšení kapacity vzletových a přistávacích drah, větší flexibilitu řízení letového provozu a v konečném důsledku i vyšší bezpečnost letecké dopravy. Tyto prostředky jsou již sice na některých místech v provozu, např. v Austrálii a na několika letištích v Evropě a Spojených státech, ale na jejich masové rozšíření se teprve čeká. Vizí jak evropských, tak amerických leteckých úřadů je doplnění a postupné nahrazení v současnosti používaných radionavigačních prostředků přístrojového přiblížení technologiemi postavenými na satelitní navigaci a jejich rozšiřujících technologiích. Cílem této práce je vysvětlit princip fungování těchto nových systémů, porovnat je s prostředky používanými v současnosti, vyjádřit případnou relativní ekonomickou úsporu spojenou s jejich zavedením a shrnout přínosy i nevýhody, které zavedení těchto systémů obnáší.

1. Současné prostředky přesného přístrojového přiblížení

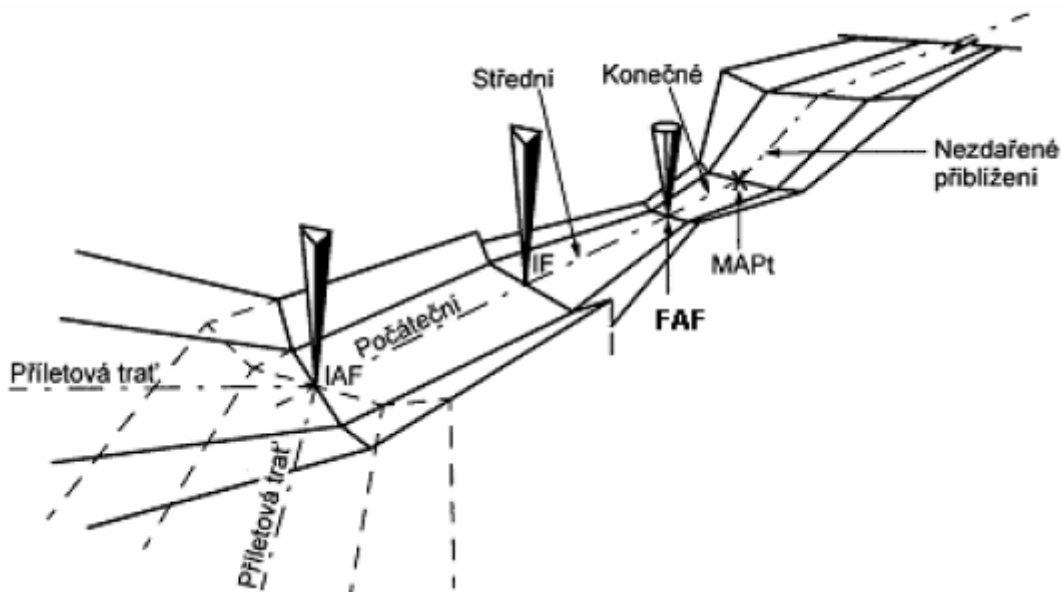
1.1 Přiblížení podle přístrojů

Přiblížení podle přístrojů je závěrečná fáze letu podle pravidel IFR¹, kdy na cílovém letišti začíná komunikace mezi letadlem a řídicím letového provozu o druhu přiblížení, které pilot provede. Každý typ přiblížení má svá pravidla a svá specifika, a proto musí být jednoznačně řečeno, o jaký druh přiblížení půjde a vzájemně si ho potvrdit. Letadlo je vedeno po trajektorii letu pro dané letiště s cílem přistát. Posádka má v každém okamžiku informaci o případné odchylce od stanovené horizontální trajektorie. Postup přiblížení začíná na letové cestě v místě radionavigačního zařízení nebo v hlásném bodě. Jelikož k zemi se přibližující letadlo mění charakteristiku letu a s klesáním rozestupy od překážek, je trajektorie pro dané letiště rozdělena na úseky. Rozlišujeme 5 samostatných úseků vymezených fixními body:

- 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)

¹ Je to takový let, při kterém pilot vede letadlo pomocí informací získaných z palubních přístrojů. Umožňuje provádět lety v noci, v mlze a v oblačnosti. Okamžitou polohu letadla vyhodnocuje pomocí odchylek palubních zařízení a na základě toho provádí korekce ve směru a výšce. V některých případech může pilot letící podle pravidel IFR vést letadlo také pomocí srovnávací navigace, avšak téměř nikdy není zodpovědný za rozestupy od ostatního letového provozu. Ty zajišťuje služba řízení letového provozu. Rozestupy od překážek však zajišťuje velitel letadla. Pravidla pro lety IFR stanovuje letecký předpis L-2.

Obr.1 Úseky přiblížení podle přístrojů



Zdroj: SOLDÁN V. *Letové postupy a provoz letadel*. Letecká informační služba ŘLP ČR, Jeneč 2007. ISBN 978-80-239-8595-5

V každém okamžiku letu musí pilot umět vyhodnotit radionavigační polohu letadla. Čím přesnější budou radionavigační prostředky, zejména v poslední fázi letu, tím bude vyšší přesnost určení polohy letounu. Různé druhy přiblížení podle přístrojů jsou tedy dány kvalitou přibližovacích zařízení. Rozlišujeme 5 druhů přiblížení:

- Přesné přiblížení (Precision Approach)
- Přiblížení s vertikálním vedením (Approach Procedure with Vertical Guidance)
- Nepřesné přístrojové přiblížení (Non-Precision Approach)
- Vizuální přiblížení (Visual Approach)
- Přiblížení okruhem (Circling)

Postup přesného přiblížení využívá přesné vedení jak ve směrové, tak ve vertikální rovině s meteorologickými minimy stanovenými dle kategorie provozu. Směrové a vertikální vedení je poskytováno jednak informacemi z pozemních navigačních zařízení a jednak informacemi získanými generováním navigačních údajů palubním počítačem. Přesné přiblížení je tedy takové přiblížení, při kterém je pilotovi poskytována průběžná informace jak o směrovém vedení letadla, tak o jeho vertikální poloze. Zařízení, která umí tyto informace poskytovat jsou ILS (Instrument Landing System), MLS (Microwave Landing System) a PAR (Precision Approach Radar).

1.2 Instrument Landing System (ILS)

Systém přesných přibližovacích radiových majáků ILS je standardním systémem ICAO pro konečné přiblížení na přistání letadel. Jediný systém ILS pojme až 29 přiblížení za hodinu na jednu VPD. Dvě nebo tři paralelně operující dráhy však mohou tuto kapacitu znásobit dvakrát či třikrát. Pro leteckou dopravu to znamená větší flexibilitu.

Vedení letadla v posledním úseku přiblížení na přistání v CAT I, CAT II a CAT IIIA (viz tabulka č. 1) se uskutečňuje podle vidu. Systém navádí letadlo do takové vzdálenosti a výšky² od bodu dosednutí, odkud může být provedeno ruční řízení letadla v etapě přistání s využitím vnějších vizuálních informací. Instalace ILS na letišti neodstraňuje potřebu světelných zabezpečovacích zařízení (SZZ) pro přistávání letadel v noci a za zhoršené viditelnosti ve dne. ILS spolu s odpovídajícím SZZ tak tvoří základní systém pro přesné přiblížení letadel na přistání.

Tabulka č.1: Kategorie přístrojového přiblížení dle norem ICAO

Kategorie ICAO		Přístrojové přiblížení		Poznámka
		Výška rozhodnutí (m)	Dráhová dohlednost (m)	
I.		60	550	
II.		30	300	
III.	A	15	200	Vizuální kontakt s VPD: dosednutí, doběh, pojíždění
	B	15 ÷ 0	200 ÷ 75	Vizuální kontakt s VPD: doběh, pojíždění
	C	0	0	Bez vizuálního kontaktu s VPD

Zdroj: Předpis L-8168

² Výška, do které je vedení zabezpečeno se nazývá „výška rozhodnutí“ (angl. decision height). Je to stanovená výška vztažená k prahu dráhy, ve které musí být zahájen postup nezdařeného přiblížení, nebylo-li dosaženo požadované vizuální reference pro pokračování v přiblížení.

Provozní parametry systému ILS jsou určeny normami ICAO. Výrobci postupně zdokonalovali technologii výroby, zlepšovali technické parametry, zvyšovali odolnost palubního přijímače radionavigačních signálů proti rušení komerčními vysílači. Nová technologická báze a efektivní zdokonalování výroby společně s vysoce účinným systémem monitorování provozního stavu pozemních částí ILS umožnili jeho zařazení do všech kategorií přistávacích minim. Při tom byli respektovány předepsané provozní parametry systému charakterizující provozní vlastnosti, prostory účinného navigačního krytí a univerzálnosti instalace prostředků ILS na libovolném letišti. Poprvé byl systém použit v roce 1939 a od roku 1947 je využíván jako standardní systém pro přesné přiblížení na přistání kategorie I, v roce 1960 certifikován pro kategorii II a v roce 1970 pro kategorii III.

Systém ILS je povelové přibližovací zařízení, tzn. že výchylka ručičky indikátoru na palubně letadla udává pilotovi směr (povel), kterým má provést opravu. Poskytuje pilotovi průběžnou informaci jak o směrovém vedení letadla, tak o jeho vertikální poloze (tzn. o poloze letadla vůči sestupové ose). Pilot v každém okamžiku během přiblížení umí vyhodnotit polohu letadla vůči oběma rovinám přiblížení a provádět korekce.

Posádka je zpravidla navedena do směru, který svírá se směrem ILS úhel mezi 20 a 30 stupni a výškově pod sestupovou rovinu. Jakmile se pohne ručička indikující zachycení kursového majáku, osádka dotáčí do kursu přiblížení tak, aby při dotočení byla ručička právě uprostřed. Pokračuje dále a koriguje kurs letu (tj. eliminuje vliv větru) tak, aby se směrový indikátor pokud možno nevychýlil ze střední polohy. Jakmile se indikátor sestupové roviny přiblíží do středu přístroje, začíná posádka klesat a řídí letadlo tak, aby oba ukazatele byly právě uprostřed.

ILS sestává ze dvou elektronických paprsků. Jeden poskytuje horizontální směrování (směrový paprsek LLZ), druhý poskytuje vertikální vedení (sestupový paprsek GS). Navíc k těmto paprskům je obvykle u prahu dráhy umístěno zařízení DME. Dále jsou obvykle použity dva (nebo tři) radiomajáky, které poskytují dodatečné informace o vzdálenosti od prahu dráhy.

1.2.1 Součásti systému ILS

Palubní část systému

Ve většině případů se jedná o přijímač signálů všech tří typů majáků (může být i kombinovaný s přijímačem systému VOR) a o křížový indikátor (CDI).

Obr. 2 Indikátor horizontální a vertikální odchylky (CDI)



Zdroj: Sarasota Avionics International [<http://www.sarasotaavionics.com>]

Pozemní část systému ILS

- Kursový radiový maják LOCALIZER (LLZ)
- Sestupový radiový maják GLIDESLOPE (GS)
- Soustava polohových návěstidel MARKER (MB)
- UKV měřič vzdálenosti DME

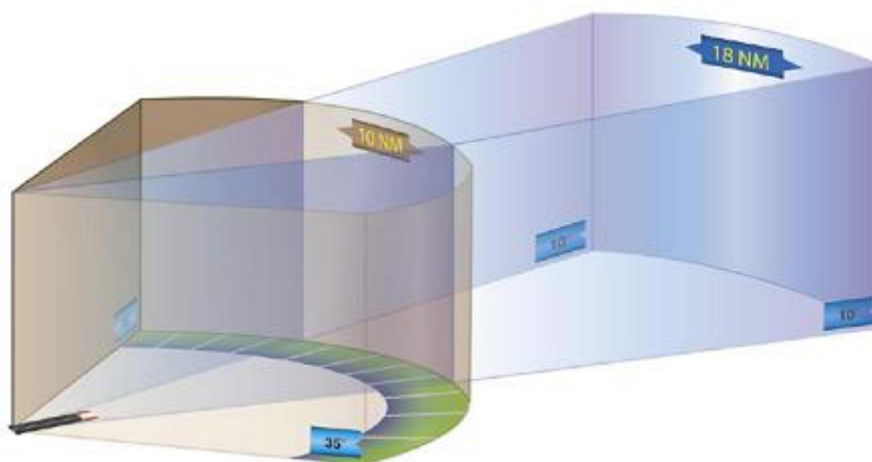
VKV kurzový radiomaják (LOCALIZER)

Je určen pro přesné vedení letadel ve směru kursové roviny (shodné s prodlouženou osou VPD) na trati konečného přiblížení od hranice krytí (max. dosah zařízení) do bodu referenční výšky. Vysílá signál ve svislé rovině kolmé k rovině dráhy a je instalován 300 - 800 m za koncem dráhy. Kursový maják pracuje na frekvencích 108,00 – 111,975 MHz. Kmitočtový odstup kanálů je 50 kHz, počet kanálů 40, identifikační kmitočet je $1\,020 \pm 50$ Hz, modulační kmitočet 90 Hz a 150 Hz $\pm 1,5\%$ Hz, minimální vysokofrekvenční výkon je

25 W. Skládá se z kursového vysílače, palubního přijímače, vyhodnocovacího zařízení a indikátoru.

Krytí kursového radiomajáku je $\pm 10^\circ$ od osy dráhy do vzdálenosti 45 km a v sektoru $\pm 35^\circ$ do vzdálenosti 30 km. Uvnitř tohoto obrazce je zajištěn správný signál směrového radiomajáku ILS. Jakmile se letadlo přibližuje k obrazci a dotkne se jeho hrany, palubní přijímač získá kvalitní signál a červený signalizační praporek v přístroji se uvolní. Ve smyslu vertikálního krytí LLZ musí být možno signály kursového majáku přijímat ve stanovených vzdálenostech od výšky 600 m nad nadmořskou výškou prahu dráhy nebo 300 m nad nejvyšší překážkou v prostorech středního a konečného přiblížení, podle toho, která hodnota je vyšší. Příjem signálu musí být zajištěn až po rovinu rozšiřující se od antény LLZ pod úhlem 7° nad vodorovnou rovinou dráhy. Horní hranice krytí je tedy vymezena úhlem 7° a spodní hranice krytí je vymezena úhlem $0,3 \theta$ (úhel sestupové skluzové roviny podle předpisu L-10), který je totožný se spodní hranicí krytí GS.

Obr. 3 Krytí kurzového majáku LLZ



Zdroj: *Instrument Flying Handbook*. Federal Aviation Administration, 2008

UKV sestupový radiomaják (GLIDE SLOPE)

Zabezpečuje přesné vedení letounu po nastavené sestupové rovině v oblasti jeho činnosti s odchylkou od země, která odpovídá úhlu sestupové roviny (obvykle 3°). Předpis L-10 uvádí, že sestupový radiomaják musí umožnit nastavení vyzařované elektronické skluzové roviny v rozmezí 2° až 4° od vodorovné roviny dráhy. L-8168 stanovuje, že maximální úhel sestupové roviny může být $3,8^\circ$. Maják je instalován ve vzdálenosti nejméně 120 m vlevo nebo vpravo od osy dráhy na té straně VPD, kde nejsou překážky a pojížděcí dráhy na úrovni

bodu dotyku (přibližně 300 m od prahu dráhy) a zajišťuje letadlu plynulé a rovnoměrné klesání v průběhu konečného přiblížení. Sestupový maják pracuje na frekvenci 328,60-335,40 MHz (frekvence jsou párové a ladí se jen kursový maják). Kmitočtový odstup kanálů je 150 kHz, počet kanálů 40, modulační kmitočet 90 Hz a 150 Hz $\pm$ 1,5 % Hz, minimální vysokofrekvenční výkon 5 W. Pro příjem a zpracování signálů systému ILS se využívají buď samostatné přijímače ILS, nebo kombinované navigační přijímače umožňující spolupracovat se systémy VOR, ILS a popř. TACAN. Pracují na stejném kmitočtovém pásmu.

Spodní hranice krytí je dána úhlem $0,3 \theta$ a horní hranice úhlem $1,75 \theta$. V tomto sektoru až do vzdálenosti 18,5 km (10 NM) od antény GS musí být signál kvalitní a ověřený. Vlétné-li letadlo do sektoru, uvolní se, podobně jako u localizeru, červený praporek na palubním přístroji, což indikuje dostatečný signál GS v palubním přijímači. Pohyb ručičky ke středu indikátoru začne v okamžiku, kdy letadlo vlétné do sektoru $\pm 0,24 \theta$. Měřený parametr nastavení elektronické skluzové roviny je úhel $0,12 \theta$ pod skluzovou rovinou, odpovídající výchylce ručičky o 2,5 tečky. Je-li úhel θ roven 3° , pak výchylka ručičky 2,5 tečky představuje úhlovou odchylku $0,36^\circ$ ($0,12 \times 3$). Pět teček pak reprezentuje úhlovou odchylku $0,72^\circ$. Úhlová odchylka na GS odpovídající např. jedné tečce je na všech zařízeních ILS, nastavených na stejný úhel, vždy stejná. Krytí GS ve smyslu horizontálním musí být zajištěno od antény GS do vzdálenosti 18,5 km (10 NM) v sektoru $\pm 8^\circ$.

VKV polohová návěstidla (MARKER)

Návěstní radiový maják je určen pro signalizaci okamžiku přeletu letounu nad stanovišti přívodních radiových stanic. Na palubě letounu je přelet nad stanovištěm radiomajáku signalizován zvukovou a světelnou signalizací a je povinností posádky v těchto bodech kontrolovat publikovanou a skutečnou výšku. Udávají letadlu informaci o jeho poloze od prahu dráhy. Návěstidla jsou instalována v ose dráhy v úseku konečného přiblížení a mají amplitudově modulovaný kmitočet 75 MHz.

Obvykle jsou u ILS dva majáky, vnější marker (OM) a střední marker (MM). Dráhy s ILS kategorie přiblížení II a III mají také blízký radiomaják - vnitřní marker (IM). OM je umístěn zpravidla $7\,400 \pm 300$ m před prahem a identifikační signál tvoří série čárek vysílaných rychlostí dvě čárky za sekundu (--) na kmitočtu 400 Hz, MM je cca $1\,060 \pm 150$ m před prahem a identifikační signál vysílá nepřetržité kombinace tečka – čárka vysílané rychlostí dvě tečky a dvě čárky za sekundu (..--) na kmitočtu 1 300 Hz a IM - pokud je

instalován - je do 75 ± 8 m před prahem a série teček vysílaných rychlostí šest teček za sekundu (.....) na kmitočtu 3 kHz.

UKV měřič vzdáleností (DME)

Systém DME je určen pro zajištění nepřetržité a přesné indikace šikmé vzdálenosti letadla, vybaveného příslušným zařízením, vyhodnocované od referenčního bodu pozemního zařízení. Systém zahrnuje dvě základní části – dotazovač (zařízení na palubě letadla) a odpovídač (zařízení umístěné na zemi). Systém pracuje na kmitočtovém pásmu 960,00 až 1 215,00 MHz. Odstup kanálů je 1 MHz. Dalším důležitým signálem pozemního majáku DME je identifikační znak, který dostává pilot do sluchátek jako tón o kmitočtu 1 350 Hz. Každé navigační zařízení má svůj vlastní znak a tón, podle kterého je může pilot rozlišit. Každých 30 až 35 sekund maják přerušuje vysílání 2 700 odpovědí za sekundu asi na dobu 4 sekund, během které vysílá pravidelně 1 350 odpovědí za sekundu, tvarovaných podle identifikačního Morse znaku majáku DME. Ten může mít 2-4 písmena z abecedy.

1.2.2 Nepřesnosti systému ILS

Systém ILS a jeho komponenty jsou zdrojem určitých nepřesností. Radiové signály z majáků LLZ a GS se mohou např. odrážet od pevných objektů, podobně jako je tomu u vesmírného záření. Chyby systému ILS jsou tyto:

1. Odrazy. Předměty na zemském povrchu, ale i ostatní letadla letící níže než 5 000 ft nad zemským povrchem, mohou zkreslit signál přijímaný letounem během přiblížení.
2. Falešná sestupová osa. Kromě správné sestupové osy (zpravidla pod úhlem 3°), produkuje zařízení GS přidavné falešné sestupové osy. Úhel nejspodnější z těchto falešných sestupových os bývá přibližně 9° - 12° . Usazení letounu na některou z falešných sestupových trajektorií vyústí buď v nesprávnou indikaci signálu GS na palubním vybavení letounu (CDI), případně v mnohem vyšší rychlost klesání letounu během přiblížení v důsledku strmější sestupové trajektorie. Pokud je však přiblížení zahájeno ze správné výšky (dle přibližovací mapy a tabulky pro konkrétní VPD), pak nalétnutí jakékoli falešné osy sestupu je vyloučeno.

Mimo výše zmíněné technické nedostatky systému ILS je nutné zmínit i provozní chyby vzniklé používání tohoto systému lidskou osádkou (tzv. lidský faktor). Patří mezi ně tyto:

1. Neschopnost pochopit zásady fungování pozemního vybavení systému ILS.
2. Dezorientace během přechodu na ILS přiblížení – spolehnout se pouze na prostředky ILS a nevěnování pozornosti ostatním navigačním prostředkům na palubě. Systém ILS, stejně jako jakékoliv jiné technické vybavení, může selhat. Proto je nutné jej zálohovat komplexním využitím všech navigačních prostředků dostupných na palubě letounu.
3. Nalétnutí kurzové osy pod příliš velkým úhlem. Jako nejlepší se jeví nalétnutí osy LLZ pod úhlem cca 30°. Příliš velký úhel zpravidla vede k přelétnutí osy a k opakovanému pokusu o nalétnutí z opačné strany.
4. Nesprávné opravy odchylek od sestupové osy v horizontální a vertikální rovině. Důležité je správně vyhodnotit snos větru a opravovat odchylky okamžitě a pomocí malých oprav.

1.3 Microwave Landing System (MLS)

MLS je systémem přesného přístrojového přiblížení a jakousi alternativou ILS. Poskytuje informaci o azimutu, elevaci a vzdálenosti, ale i informaci o zpětném kurzu pro případ nezdařeného přiblížení. Oproti ILS má několik výhod – větší frekvenci uskutečněných přiblížení, kompaktnější pozemní vybavení a možnost složitějších přibližovacích trajektorií. Z určitých důvodů, zejména díky rozvoji satelitní navigace, však byla instalace nových prostředků pozastavena a v roce 1994 úplně zrušena. Na evropských letištích se s MLS setkáme jen ojediněle, na českých vůbec.

MLS umožňuje přesné přiblížení letadla na přistání v prostoru konečného přiblížení, kde trať konečného přiblížení není totožná s prodlouženou osou dráhy. Systém pracuje s mikrovlnným paprskem, který je vysílán směrem do sektoru přiblížení a „prohlíží“ sektor jak v azimutální, tak vertikální rovině. Letadlo v přibližovacím sektoru přijme signál tohoto paprsku a vyhodnotí z něj svoji polohu v prostoru. Poloha letadla je tak určena jak ve směru přiblížení, tak i ve vertikální rovině a to v kterémkoliv bodě dosahu „prohlížečského“ paprsku. Protože mikrovlnná energie je do přibližovacího prostoru vyzařována v určitém čase a není rozptýlena do různých směrů, nevzniká tudíž rušení signálu různými překážkami nebo terénem. Zařízení MLS tak může být umístěno i v zastavěných prostorách, kde zařízení ILS

použito být nemůže. Palubní počítač umožňuje řešení přibližovacího manévru letadla na přistání z libovolného směru pro různě orientované VPD i po zakřivené nebo lomené přistávací trajektorii. Systém MLS je schválen ICAO pro všechny tři kategorie přesného přiblížení.

1.3.1 Součásti systému MLS

Systém MLS tvoří pozemní zařízení, jenž má úhloměrnou a dálkoměrnou část, a palubní vybavení. Úhlová informace pro kurz přiblížení, sestup, podrovnání a kurz nezdařeného přiblížení se získává měřením času mezi dvěma přechody kmitajícího laloku vysokofrekvenčního signálu přes palubní anténu. Vzdálenost se zjišťuje pomocí přidruženého zařízení DME. Systém MLS dále na stejné frekvenci pomocí fázové modulace a časového multiplexu vysílá další doplňková data jako identifikaci, stav systému apod. Pozemní vybavení sestává v základním uspořádání z kursového vysílače (AZ - Azimuth Transmitter) doplněného o měřič vzdáleností DME, případně přesnějšího DME/P, v těsné blízkosti kursového vysílače a dále sestupového vysílače (EL - Elevation Transmitter). Rozšířené uspořádání je doplněno o kursový vysílač pro nezdařené přiblížení a vysílač podrovnání.

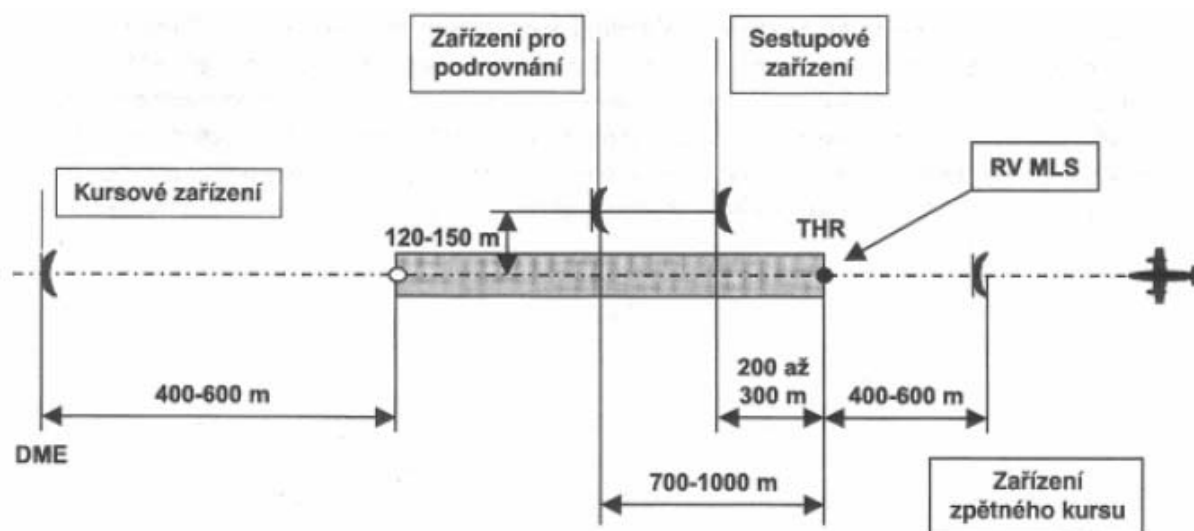
Pozemní dálkoměrná část MLS (DME)

Dálkoměrnou část MLS představuje DME jenž se umísťuje společně s kursovým vysílačem. V souvislosti s požadavky na přesnost systému MLS vznikl také požadavek na zpřesnění systému DME což se povedlo u přesného měřiče vzdáleností DME/P (popř. DME/W a DME/N). Funkce DME je tedy taková, že poskytuje letadlu informaci o vzdálenosti od určitého bodu, jenž je nezbytná pro přesné určení polohy letadla v třídimenzionálním prostoru.

Pozemní úhloměrná část MLS

Základním principem obou úhloměrných částí systému MLS pro vedení letadla v horizontální a vertikální rovině je vytvoření rovinných vyzařovacích diagramů, kmitajících konstantní rychlostí ve směrech „TO“ a „FROM“ a měření času mezi dvěma přeběhy kmitajícího rovinného laloku přes palubní anténu MLS.

Obr. 4 Schéma pozemní úhломěrné soustavy systému MLS



Zdroj: SOLDÁN V. *Letové postupy a provoz letadel*. Letecká informační služba ŘLP ČR, Jeneč 2007. ISBN 978-80-239-8595-5

VPD plně vybavená systémem MLS má 4 vysílače. Dva vysílače podávají informace o úhlu v azimutální rovině a jsou umístěny na ose VPD čelem k VPD a jsou doplněny o zařízení DME nebo DME/P, přičemž jeden z vysílačů je určen pro kurz přiblížení a druhý pro kurz nezdařeného přiblížení. Nacházejí se ve vzdálenosti 400 - 600 m od kraje VPD. Další dva vysílače vysílají úhlové informace pro sestup a podrovnání (přebírají funkci sestupového majáku u ILS). Ty jsou umístěny ve vzdálenosti 120 – 150 m od osy VPD, přičemž vysílač pro sestup se nachází 200 – 300 m od kraje VPD a vysílač pro podrovnání 700 – 1 000 m od kraje VPD ve směru přiblížení. Je-li VPD vybavena oběma azimutálními vysílači, pak vysílač jehož anténa je nasměrována ve směru přibližujícího se letadla (vysílač na odlehle straně VPD ve směru přiblížení) představuje vysílač kursu přiblížení a vysílač na straně přilehlé k přibližujícímu se letadlu přejímá funkci vysílače kursu nezdařeného přiblížení. Obdobně je tomu pro vysílače sestupu a podrovnání.

Palubní část MLS

- Jeden nebo více anténních systémů MLS
- Palubní přijímač MLS - přijímač signálů pozemních úhломěrných prostředků MLS a výpočetního systému pro zpracování úhlových informací v reálném čase
- Dotazovač rádiového dálkoměru DME
- Palubní indikátor MLS

- Propojení výstupu palubního přijímače MLS se systémy řízení

Palubní vybavení musí být schopno dekódovat a zpracovat funkce azimutu přiblížení na přistání, azimutu přiblížení na přistání s vysokou frekvencí obnovení, zpětného azimutu a sestupového úhlu a nezbytná data pro splnění předpokládaných letů. Dálková informace se dekóduje samostatně. Úhel navedení se určuje měřením časového intervalu mezi přijetím laloků snímání „TO“ a „FROM“. Přijímač má možnost manuálního nebo automatického výběru trajektorie přiblížení na přistání, úhlu sestupu a radiálu zpětného azimutu, pokud se zajišťuje. Při práci v automatickém režimu se výběr zajišťuje pomocí informací obsažených v kódových slovech základních dat.

1.3.2 Princip činnosti MLS

Systém MLS pracuje ve frekvenčním pásmu 5 031,0 – 5 090,7 MHz na dvou separátních kanálech se vzájemným odstupem 300 kHz. Úhломěrná část systému MLS poskytuje kontinuální informaci o poloze letadla vůči dráze v rovině vertikální a horizontální. Dálkoměrná část umožňuje měření vzdálenosti letadla od vztažných bodů v průběhu přiblížení. Úhlová informace pro kurs přiblížení a sestup, podrovnání a zpětný kurs se určuje měřením času mezi dvěma přechody kmitajícího rovinného laloku přes palubní anténu MLS.

Systém MLS je schopen poskytnout pokrytí maximálně $\pm 62.0^\circ$ v azimutální rovině, přičemž typické zařízení používá pokrytí pouze $\pm 40.0^\circ$ od osy VPD v azimutální rovině pro přiblížení a $\pm 20.0^\circ$ pro kurz nezdařeného přiblížení. Z toho předepsaný minimální sektor přímo úměrného navedení je $\pm 10.0^\circ$ od osy VPD. Ve vertikální rovině je pak prostor pokryt od 0.9° do 15° s dosahem do výšky 6 000 m a vzdálenosti 37 km pro přiblížení a do výšky 1 500 m a vzdálenosti 9,4 km pro nezdařené přiblížení. Všechna uvedená data jsou vysílána na jednom kmitočtu postupně s opakovací frekvencí:

- 13 Hz – azimut (vedení kursu), u systému s rychlou obnovou informace kursu je použit kmitočet 93 Hz
- 6,5 Hz – zpětný kurs (směr nezdařeného přiblížení)
- 39 Hz – elevace (vedení sestupu)

Pro dodržování časové synchronizace vysílání jednotlivých bloků zpráv jsou všechny části MLS synchronizovány. Údaje o vzdálenosti jsou přijímány separátně na sdruženém kanálu DME. Využitím údajů MLS v palubních počítačích a v palubních ovládacích

systémech lze provádět přesné přiblížení a přistání podobným způsobem jako u systému ILS, navíc s možností provádět zakřivené, nebo lomené přiblížení a automatické přistání. Všechny části MLS obsahují vlastní monitorovací obvody, které v případě mimotolerantní odchylky některého z vnějších parametrů MLS přepnou zařízení na záložní soupravu. V případě dlouhotrvající odchylky upozorní na změnu řízení letového provozu.

Přesná informace o pozici letadla umožňuje složitější procedury, jako je let po zakřivené sestupové ose a využívání více sestupových os. Patříčná přesnost umožní zlepšení dopravního proudu na přeplněných letištích prostřednictvím zakřivených letových drah. ICAO kvantifikuje požadované přesnosti systému a uvádí je v předpisu ICAO Annex 10.

Celkové limity přesnosti obsahují všechny chyby způsobené palubním zařízením a šířením radiových vln. Limity chyb jsou specifikovány pro část letu obsahující referenční výšku přiblížení a referenční výšku zpětného kursu. Referenční výška přiblížení na přistání je 15 m (50 ft).

1.4 Precision Approach Radar (PAR)

Prostředky přesného radarového přiblížení podle PAR se používají především na vojenských leteckých základnách a letištích, na kterých jsou letadla nucena přistávat bez prostředků přesných přibližovacích radiových majáků ILS. Prostředky přiblížení PAR jsou mobilní, s velkou rychlostí přesunu po dopravních komunikacích. Lze je také přepravovat letadlem nebo po železnici a jejich instalace nepřesahuje 30 minut. PAR slouží ke kontrole a řízení sestupu letadel typu STOL a VTOL³ při přistání ze vzdálenosti minimálně 30 km až do bezprostřední blízkosti VPD. Sestupový úhel systému ILS je nejčastěji 3° a je neměnný. Tento fakt neumožňuje navedení na přistání pro letadla typu VTOL nebo STOL. Kromě trajektorie letu letadla umožňuje měření jeho výšky, odchylky od sestupové čáry a kontrolu rozložení a výšky oblačnosti v okolí letiště. V civilním leteckém provozu proto systém PAR i prostředky pro oboustranné spojení mají význam jen pro zvýšení účinnosti řízení leteckého provozu. Radiolokační přistávací systém pak doplňuje systém aktivního přiblížení na přistání.

³ Kategorie letadel typu STOL zahrnuje typy letounů schopných přistát na výrazně kratší ploše než běžné typy srovnatelné hmotnosti. Kategorie VTOL zahrnuje letouny schopné vertikálního přistání (např. Harrier, Jak-38, F-35B Lightning II). Pro obě tyto kategorie jsou vhodnější strmější sestupové osy.

Přiblížení PAR je klasifikováno stejně jako přiblížení ILS z toho hlediska, že pilot je schopen v každém okamžiku letu plynule provádět korekce jak ve směru, tak i vůči elektronické skluzové rovině. Pro vyhodnocení polohy letadla slouží stranová a výšková anténa. U přiblížení PAR vyhodnocuje polohu letadla a jeho odchylky vůči osám přiblížení řídicí letového provozu a pilot provádí korekce vůči těmto odchylkám. Tím, že vstupuje do procesu vedení letadla na trati další prvek, řídicí, je přiblížení PAR kvalitativně na nižší úrovni než ILS. Pilot na trati může objektivně vykázat větší odchylky. Proto je ochranný prostor pro PAR výrazně širší a pojme více překážek v oblasti letiště a bezpečná výška nad letištěm OCH⁴ bude větší, než tomu bude pro stejnou dráhu u ILS. Nejnižší OCH, která může být pro PAR brána v úvahu je 60 m (200 ft). U ILS může být nižší, až maximálně rovna ztrátě výšky HL⁵. I když pro přiblížení PAR je letadlo téměř vždy vedeno na trať konečného přiblížení radarovým vektorováním, jsou pro PAR vyprojektovány všechny úseky přiblížení, jako u ostatních druhů přiblížení.

1.4.1 Omezení radaru

Využití radiolokátoru pro přesné vedení letadla během přiblížení na přistání s sebou přináší určitá omezení. Radiové vlny se zpravidla šíří přímočaře. Může se však stát, že dojde k jejich zakřivení vlivem abnormálních atmosferických jevů, jako např. teplotní inverze, nebo že dojde k jejich lomu či odrazu od hustých objektů, jako např. těžké mraky či srážky.

⁴ OCH je zkratka z angl. Obstacle Clearance Height. Jedná se o minimální bezpečnou výšku letu během přístrojového sestupu. Je vztažena k výšce prahu dráhy. Jedině nad touto výškou je zabezpečen výškový rozestup od terénních překážek.

⁵ HL je zkratka z angl. Height Loss. Jedná se o výšku ztracenou během přechodu z klesavého letu do stoupání při provádění postupu nezdařeného přiblížení. Je přesně stanovena pro jednotlivé kategorie letounů předpisem L-8168.

2 Prostředky přesného přiblížení využívající GPS

2.1 Global Positioning System (GPS)

GPS je satelitní radionavigační systém vysílající signál, který je následně použit k přesnému určení polohy kdekoli na světě. Přijímač signálu sleduje několik satelitů systému GPS a provádí výpočet, na jehož základě je pak určena jeho poloha.

Systém GPS byl vyvinut Ministerstvem obrany USA, které je rovněž zodpovědné za jeho provoz a za správnou funkci a rozmístění satelitů. GPS umožňuje určení polohy v zeměpisných souřadnicích a v referenčním systému WGS 84. Satelitní navigační systémy nejsou ovlivněny počasím a poskytují globální navigační krytí, jež plně splňuje civilní požadavky pro využití jako primární prostředek navigace v lodní dopravě, na oceánech a ve vzdálených oblastech. Využívá se i jako jeden z navigačních prostředků letově-navigačního komplexu dopravních i jiných letounů.

2.1.1 Segmenty GPS

Systém GPS sestává ze tří funkčních segmentů: vesmírného, řídicího a uživatelského.

Vesmírný segment sestává z alespoň 24 satelitů NAVSTAR (tzv. konstelace) rozmístěných v šesti orbitálních rovinách. Ve skutečnosti je ale na oběžných drahách umístěno více než 30 satelitů systému GPS. Satelity jsou v každé rovině rozestaveny s úhlovým rozestupem 60° , tak, aby bylo zabezpečeno kompletní pokrytí Země, a jsou umístěny v nominální výšce 11 000 mil nad Zemí. Orbitální roviny jsou navrženy tak, aby v každém okamžiku bylo z jakéhokoli místa na Zemi vidět alespoň 5 satelitů.

Konstelace satelitů GPS vysílá pseudonáhodný kód časového signálu a datovou zprávu, která je následně zpracována vybavením letounu, tak, aby bylo možno zjistit polohu satelitů a jejich status. Známe-li přesnou polohu každého satelitu a jsme-li schopni sesouhlasit časový údaj s časem na atomových hodinách jednotlivých satelitů, pak GPS přijímač na letounu dokáže přesně určit dobu, kterou signál z každého sledovaného satelitu potřebuje k překonání vzdálenosti mezi satelitem a přijímačem. Z tohoto údaje pak přijímač již jednoduše vypočítá přesnou polohu letounu.

System GPS je řízen z ústředí Navstar Headquarters na letecké základně (AFB) Los Angeles v Californii v USA. Hlavní pozemní stanice se nachází na letecké základně Falcon v Coloradu a hlavní operační řídicí středisko na letecké základně Schriever v Coloradu, které provozuje letectvo Spojených států amerických (USAF), 2nd Space Operations Sq. Po světě je rozmístěno 5 dalších monitorovacích stanic (Havajské ostrovy, Kwajalein, Diego Garcia, Ascension, Colorado Springs) a 3 povelové stanice (Kwajalein, Diego Garcia, Ascension).

Uživatelský segment tvoří vlastní GPS přijímač, což je přijímač signálu s rozprostřeným spektrem. Přijímače GPS poslouchají tyto signály od minimálně tří a maximálně dvanácti satelitů a z těchto údajů vyhodnocují svoji přesnou pozici, spolu s rychlostí a směrem posunu. K určení polohy postačí signál tří satelitů, pro zjištění nadmořské výšky alespoň čtyř a pro zjištění přesného času pouze jeden satelit. Čím větší počet družic se daří současně zachytit, tím přesnější jsou udávané souřadnice.

2.1.2 Chyby GPS

Za normálních okolností, kdy je v provozu 30 satelitů, je GPS konstelace schopna fungovat nepřetržitě a s celosvětovým pokrytím. Pokud by však bylo funkčních méně než 24 družic, pak by navigační možnosti GPS nebyly na některých místech Země k dispozici. Ke ztrátě signálu může rovněž dojít v údolích obklopených vysokým členitým terénem a dále v okamžiku, kdy je GPS anténa letounu zastíněna jeho konstrukcí.

Některé přijímače, vysílače, mobilní rádia a podobné prostředky mohou způsobit interferenci se signálem GPS. Některé VHF vysílače mohou dokonce způsobit harmonickou interferenci. Pilot může tuto interferenci vyloučit jednoduše přemístěním těchto prostředků, změnou frekvencí, či vypnutím těch prostředků, které by mohly interferenci způsobovat. Polohová data GPS mohou být ovlivněna charakteristikami vybavení a rozličnými geometrickými faktory, jež zpravidla způsobují nepřesnost menší než 100 ft (30 m). Nepřesnost satelitních atomových hodin, přijímačů, procesorů, vliv odrazu signálu od pevných objektů, zpoždění vlivem ionosféry a troposféry, chyby v přenosu satelitních dat a další vlivy mohou způsobit malé chyby v určování polohy, případně momentální výpadek GPS signálu.

2.2 Differential Global Positioning System (DGPS)

Systém DGPS je založen na principiálně relativním určování polohy. Umožňuje významné zvýšení přesnosti určování polohy v reálném čase. Vyhodnocování diferenčních měření se provádělo běžně až dodatečně, proto nebylo možné tato měření použít pro potřeby navigace. Výrobci začali vybavovat přijímače nezbytnými komunikačními kanály, umožňující přivádět do přijímače potřebné korekční údaje z referenční stanice a provádět zpracování v reálném čase. Po celém světě se začaly organizovat služby, které provozují sítě referenčních stanic (SBAS) a zajišťují nepřetržité vysílání korekčních údajů. Zpočátku podél pobřeží USA, později postupně podél pobřeží všech světadílů. Dnes existuje celá řada poskytovatelů diferenčních korekcí, kteří je poskytují buďto touto cestou pozemních vysílačů nebo i prostřednictvím družic. Ve světě je celá řada takových projektů a některé z nich byly zrealizovány i v Evropě a postupně se dostávají i k nám. V září 1994 byl DGPS schválen pro použití při přesném přiblížení za provozních podmínek I. kategorie:

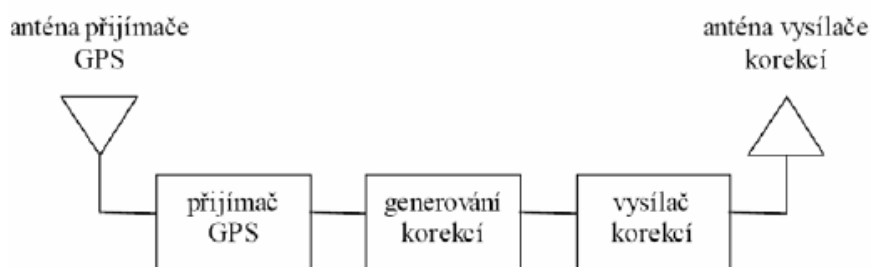
Dalším krokem k rozvoji těchto služeb je budování sítí referenčních stanic a nezbytných vysílačů. DGPS poskytuje uživatelům diferenciální korekce pro opravu určování polohy jejich pohyblivými stanicemi. Diferenciální korekce mohou být dvojího druhu.

- Korekce polohy - stanice počítá z přijímaných signálů polohu referenční stanice, porovná ji se skutečnou polohou a produkuje přímo korekce v podobě korekce geografických souřadnic, tzn. korekce, jejichž přičtením k aktuální poloze získané mobilním přijímačem GPS získáme přesnější polohu tohoto přijímače.
- Korekce zdánlivých vzdáleností - referenční stanice počítá korekce pro jednotlivé zdánlivé vzdálenosti. Tento přístup klade mnohem větší nároky na konstrukci referenční stanice, ale poskytuje daleko větší pružnost uživatelům. Referenční stanice musí v takovém případě vypočítat skutečnou vzdálenost k družici (poloha referenční stanice je přesně změřená), dále z přijatých signálů vypočítat zdánlivou vzdálenost, určit nezbytnou korekci na odchylku hodin přijímače a teprve potom lze určit vlastní opravu na zdánlivou vzdálenost.

DGPS umožňuje eliminovat celou řadu chyb měření, která se vyznačují různou dynamikou změn. S větší dynamikou změn se volí kratší interval aktualizace korekcí. Dnes je

požadovaná přesnost 10 metrů horizontálně a 0,8 metrů vertikálně. Komunikační kanál umožňuje přenos korekcí z referenční stanice do přijímače. Referenční stanice je GPS přijímač umístěný na bodě s přesně známou polohou, jehož programové vybavení umožňuje sledovat všechny viditelné družice a počítat pro ně korekční údaje.

Obr. 5 Blokové schéma referenční stanice DGPS



Korekční data mohou být poskytována ve formě korekčního vektoru nebo kinematiky reálného času (RTK). Tato data musí být aktualizována v několika sekundových intervalech, aby včasně reagovala na změny atmosféry. RTK referenční stanice zasílá v reálném čase přijímači údaje o odchylkách ve fázi nosného GNSS signálu. To v případě GPS umožňuje lokalizační jednotce dosáhnout přesnost až 1 cm v horizontálním směru, nesmí se však vyskytovat více než 20- 30 km od referenční stanice. Diferenciální korekce mohou být přijímači poskytována přes satelit, častěji však jsou šířena pozemním vysíláním – rádiovými přenosy nebo pomocí mobilních sítí jako je GSM, GPRS, EDGE nebo UMTS.

2.2.1 Receiver Autonomous Integrity Monitoring (RAIM)

Pro kritické aplikace, jako je navigace letadel v průběhu vlastního přistání, jsou časové intervaly nezbytné pro detekci a indikaci chybových stavů u stávajících navigačních systémů nepřijatelně dlouhé. Proto se vyvíjejí i autonomní kontrolní systémy, zabudovávané přímo do navigačních přijímačů a zabezpečující indikaci nestandardního chování řádově během několika sekund. Tyto systémy se označují zkratkou RAIM. V závislosti na počtu viditelných družic jsou tyto systémy schopny indikovat výskyt chybného signálu družice, případně i zjistit, která družice ho vysílá.

Tyto systémy šíří korekční údaje, umožňující opravovat vlastní měření a zvyšovat tak přesnost určování polohy. Stanice umožňují kontrolovat platnost signálů družic a poskytovat nezávislé hodnocení stavu družic. Pokud přijímač referenční stanice zjistí, že družice je pro

potřeby navigace nepoužitelná, je referenční stanice schopná vyrozumět o tom uživatele do pěti sekund od zjištění chyby. Vedle toho mohou referenční stanice systému DGPS přispět i k zlepšení monitorování integrity systému. Vytvoření rozsáhlejší sítě (např. v kontinentálním rozsahu) je finančně, organizačně i provozně velmi náročné. Proto se objevila myšlenka o rozsáhlých sítích DGPS (WADGPS), které by byly založené na velice řídké síti referenčních stanic. WADGPS by pokrývaly rozsáhlé oblasti kontinentálního až celosvětového rozsahu. Např. na pokrytí Evropy by teoreticky stačilo pět referenčních stanic rozmístěných po celém území kontinentu. Z jejich dat by se daly generovat přesné korekce.

Jiným přístupem k řešení problematiky zpřesňování určování polohy je budování pozemních vysílačů, které se přijímači jeví jako další družice systému GPS. Označují se proto termínem pseudodružice. Tyto vysílače umožňují v případě některých extrémních aplikací dále zpřesnit určování polohy. Typickým příkladem může být použití pseudodružice na letišti, tak aby se zpřesnilo určování výšky letadla vzhledem k přistávací dráze. Pomocí několika takových vysílačů lze dokonce vytvořit velice přesný lokální navigační systém. Nevýhodou pseudodružic je, že musí být vždy zajištěna přímá viditelnost mezi přijímačem a vysílačem. Maximální dosah nesmí překročit 50 km a minimální vzdálenost mezi dvěma vysílači musí být alespoň 54 km. Rovněž musí být vymezena minimální vzdálenost přijímače a pseudodružice. Pokud se přijímač dostane do menší vzdálenosti, hrozí nebezpečí zahlcení jeho vstupních obvodů silným signálem pseudodružice a tím přehlušení signálů vysílaných družicemi. Jiným řešením tohoto problému může být, že pseudodružice nevysílá trvale, ale jen po velice krátké časové okamžiky, které jsou v čase náhodně rozmístěny. Předpokládá se při tom, že sice silné, ale velice krátké rušení nemůže ohrozit činnost přijímačů GPS, pokud se vyskytuje jen po malé procento času.

2.2.2 Rozšiřující systémy

Některé státy začaly pracovat na vývoji vlastních systémů družicové navigace. Základním požadavkem bylo, aby tyto systémy byli provozované civilními organizacemi a schopné poskytnout obdobný rozsah a kvalitu služeb, jako systémy GPS nebo GLONASS. Nemělo se jednat o doplňky těchto dvou systémů, ale o samostatné alternativní systémy. Ekonomická a technologická náročnost vybudování a provozování takového systému vedla k tomu, že se začalo mluvit o postupném budování GNSS. V první fázi, označované jako GNSS-1, se plánuje vybudování tzv. rozšiřujících systémů SBAS, jejichž cílem je doplnit

existující systémy GPS a GLONASS o další služby, jako je šíření diferenciálních korekcí a monitorování integrity. Sem patří americký WAAS a LAAS, kanadský CWAAS, evropský EGNOS, japonský MSAS, indický GAGAN a čínský SNAS. Teprve ve druhé fázi by mělo dojít k vybudování zcela nového navigačního systému, označovaného GNSS-2. I když se jedná o projekty realizované různými státy nebo uskupeními států, je ze strany FAA kladen důraz na to, aby tyto systémy byly plně kompatibilní a umožňovaly bezproblémovou navigaci při přeletu letadel mezi oblastmi pokrytými různými rozšiřujícími systémy.

Wide Area Augmentation System (WAAS)

WAAS je americký systém pro přenos GPS korekčních dat a v případě potřeby varování o chybném provozu satelitů. Do plného provozu byl uveden v roce 2003. Sestává ze dvou hlavních satelitů a sítě 25 referenčních stanic vytvářejících korekční data. GPS přijímače implementující tento systém mohou určovat polohu zhruba pětikrát přesněji než standardní přijímače (v 95 % se přesnost pohybuje kolem 1 m horizontálně a 1,5 m vertikálně). WAAS pokrývá 99 % území USA a je dostupný v 99,87 % času. V praxi se zejména využívá jako doplněk k ILS systému zajišťujícímu přiblížení letadel na přistání.

Vedle toho, že poskytne uživatelům především z oblasti letectví větší přesnost stanovování polohy, bude schopen jim nabídnout zlepšení integrity nezbytnou pro většinu fází letu, včetně přiblížení k letišti. Po dokončení bude pozemní část systému WAAS neustále vyhodnocovat integritu signálů družic GPS a potřebné korekce a bude varovat uživatele tohoto systému kdykoliv bude zjištěno selhání. V případě přiblížení k letišti bude varovný signál vyslán do 5,2 sekundy od selhání.

Skládá se ze tří částí – pozemního vysílání integrity, vysílání korekčních signálů a vložené funkce pro určování vzdáleností. Předpokládá se, že systém WAAS poskytne zkrácení doby letů a přesnější navigaci i zkrácení minimální vzdálenosti mezi letadly, tzn. intenzivnější využívání frekventovaných tras.

Systém WAAS je od 24. března 2006 schválen úřadem FAA poskytovat službu navedení na přistání do výšky 200 ft (60 m) nad letiště. FAA plánuje díky přesnosti WAAS vytvořit dostupnost vertikálního přiblížení i na letištích, která nejsou vybavena systémy ILS.

Local Area Augmentation System (LAAS)

Pracuje podobně jako WAAS, ale v menším měřítku (GBAS). Referenční stanice bude umístěna na přesně známém bodě v okolí oblasti, kterou má pokrývat korekcemi (20-30 NM). Korekční zpráva je vysílána přes VHF radiový datový spoj z pozemního vysílače. Pravděpodobnost nedetekovaného selhání nesmí překročit $5 \cdot 10^{-9}$. Jednou možností je použití pseudodružic v kombinaci s běžnou referenční stanicí umístěnou na letišti i pseudodružice. Dvojice pseudodružic (z nichž každá bude umístěna po jedné straně přistávací dráhy) může letadlu poskytnout dostatečné prostředky pro stanovování polohy, které v kombinaci s DGPS umožní dosáhnout přesnosti až na úrovni centimetrů. V budoucnu má poskytovat vysokou přesnost, dostupnost a integritu pro přiblížení kategorie I, II a III a přizpůsobí se i zakřivené sestupové trati.

European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS)

Evropa vyvíjela systém EGNOS od roku 1995 a od roku 2000 byl úspěšně testován. Doplnjuje a vylepšuje vlastnosti GPS a GLONASS. Jedná se o obdobu systému WAAS, vyvíjenou a budovanou pro potřeby letectví v Evropě. Sestává ze tří družic, z nichž dvě jsou družice známého komunikačního systému INMARSAT, a sítě pozemních stanic (34 stanic RIMS, 4 řídicí stanice, 6 vysílacích stanic a podpůrná zařízení). Očekávaná přesnost je 2 m horizontálně a 2-3 m vertikálně, v praxi by se měla pohybovat kolem 1 m v horizontálním směru. EGNOS slouží i jako základ připravovaného systému Galileo a bude kompatibilní s ostatními systémy SBAS. Určený je pro potřeby všech fází letu až po přiblížení k letišti. Výsledkem zpracování je informace o stavu družic (přesnost atomových hodin, odchylky od dráhy pohybu, výpadky) a o chybách měření zaviněných stavem zemské ionosféry (hlavní příčina chyb měření). Data jsou pak sítí předána třem vysílacím stanicím. Vysílací stanice jsou z bezpečnostních důvodů zdvojeny. Každá vysílací stanice předává data svému satelitu na geostacionární oběžnou dráhu, tedy nad rovník.

2.3 Postupy pro přesné přiblížení s pozemním rozšířením (GBAS)

2.3.1 Provedení přiblížení

Přesné přiblížení s použitím GBAS je zvoleno výběrem čísla kanálu na palubním vybavení. Přesné přiblížení s použitím GBAS je provedeno způsobem velmi podobným

přesnému přiblížení podle ILS s využitím příčného vedení v úseku středního přiblížení, dokud není dosaženo sestupové dráhy, kdy je zahájeno vertikální vedení a společně se směrovým vedením jsou udržována až do přistání.

2.3.2 Kritéria zobrazení přiblížení s použitím GBAS

GBAS poskytuje službu přesného přiblížení rovnocennou službě přiblížení Kategorie I ILS. Minimální požadavky na funkčnost displeje GBAS jsou rovnocenné jako pro ILS. GBAS nepřetržitě poskytuje velmi přesné informace o vzdálenosti k prahu dráhy pro přistání. Zobrazení a upozornění na poruchu systému jsou rovnocenné jako u ILS.

Dráha GBAS je definována rozdílně, než dráha ILS. Údaje určující dráhu, včetně sestupové dráhy, šířky příčného úseku, příčné citlivosti a další charakteristiky sektoru navádění jsou přenášeny pozemním zařízením do palubního systému za použití vysoce chráněných zpráv přenášejících digitální údaje. Tato digitální zpráva definuje dráhu úseku konečného přiblížení (FAS) a charakteristiky navádění. Palubní systém spočítá geometricky dráhu a definuje charakteristiky navádění stanovené v přenesených digitálních údajích. Palubní systém generuje vedení s podobnými charakteristikami jako jiné systémy pro přesné přiblížení, např. ILS, který k vybavení letadla vysílá elektronické paprsky za účelem sledování. Celkový popis bloku údajů FAS a příklad formátu jsou obsaženy v předpisu PANS-OPS, Volume II.

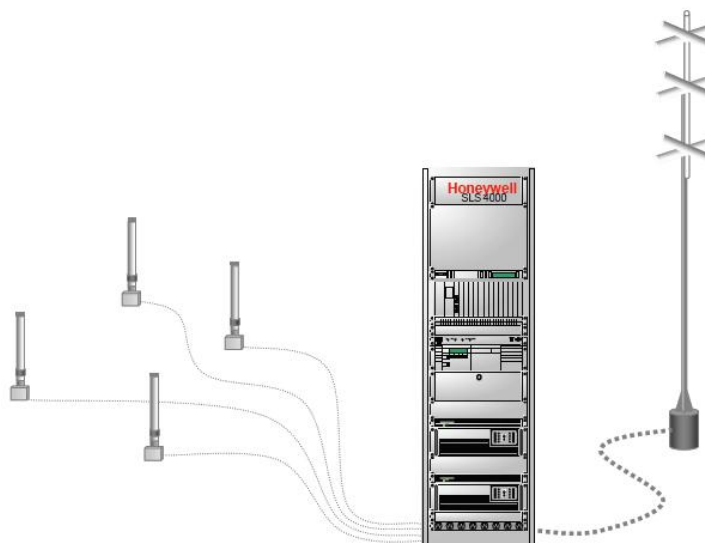
3 Náklady na zavedení systému přesného přiblížení na bázi GPS

3.1 Náklady na zavedení pozemního vybavení

V souvislosti s umožněním přesného přiblížení, které by využívalo technologii satelitní navigace je nutné vybudovat a zprovoznit určitá pozemní zařízení takového systému, ale stejně tak i nainstalovat do letounů palubní vybavení schopné signály z těchto systémů přijímat, vyhodnocovat a poskytovat tak pilotovi nezbytné informace pro spolehlivé vedení letounu po sestupové trajektorii. Jelikož se jedná o tzv. přesné přístrojové přiblížení (precision approach), je nutné aby měl pilot přesné informace jak o kurzové tak i o vertikální odchylce od sestupové osy, a to nepřetržitě během celého přiblížení na přistání.

Jak již bylo řečeno v předchozí kapitole, prozatím jedinou technologií umožňující takový druh přiblížení, tedy přesné přiblížení na bázi satelitní navigace je GNSS Landing System (GLS), jenž v sobě zahrnuje vlastní technologii GPS a její pozemní rozšíření (GBAS) v již zmíněné formě LAAS (WAAS neumožňuje přesné přiblížení, ale pouze tzv. přístrojové přiblížení s vertikálním vedením). Systém LAAS je v podstatě menším měřítkem technologie WAAS. Rozdíl spočívá zejména v lokální působnosti pozemních zařízení, n rozdíl od plošného pokrytí v případě systému WAAS. Stěžejním prvkem LAAS jsou tzv. referenční stanice, které se nacházejí na přesně známém stanoveném bodě v okolí oblasti pokrytí, tedy zpravidla v blízkosti cílového letiště. Takováto referenční stanice je schopna zabezpečit oblast o poloměru 20 až 30 NM.

Obr. 6 Jednotlivé prvky referenční stanice LAAS firmy Honeywell



Zdroj: Honeywell [<http://www.honeywell.com>]

Náklady na vybudování celé sítě těchto stanic nejsou malé. V případě pokrytí všech mezinárodních letišť v Evropě uzpůsobených pro přijímání IFR letů by se náklady na vybudování referenčních stanic pohybovaly řádově ve stovkách milionů až jednotkách miliard USD. Pro srovnání náklady na vybudování sítě WAAS, jakéhosi „méně přesného bratra“ systému LAAS, dle společnosti Raytheon, jež řídí tento projekt, se v roce 2005 předpokládaly ve výši 3,3 mld. USD⁶. Konkrétní náklady na jednu referenční stanici systému LAAS však nelze určit zcela přesně. Záleželo by na rozsahu celého projektu (zda by jedna firma zabezpečovala stavbu jen jedné takové stanice, nebo zda by získala kontrakt na výstavbu velkého počtu stanic, např. pro všechny IFR civilní letiště členských zemí evropské organizace letových provozních služeb EUROCONTROL).

Např. v Austrálii, kde již výstavba takového systému probíhá, se náklady na výstavbu jedné kompletní jednotky LAAS pohybují okolo 1 milionu australských dolarů⁷. Tato jednotka však pokryje všechna letiště v rádiu 25 NM. Náklady na stavbu jednoho anténního pole pro systém ILS jsou v podstatě stejné – australské orgány správy letišť uvádějí opět údaj 1 milionu A\$. Podstatný rozdíl je však v tom, že jedno anténní pole ILS pokryje jen jednu přistávací dráhu (přesněji řečeno jeden z jejích dvou směrů), zatímco jedna jednotka systému LAAS pokryje všechny dráhy letiště a navíc i dráhy letišť v jeho blízkosti. Dobrým případem jsou letiště v Sydney a v Melbourne, které vyžadují šest, resp. čtyři anténní pole ILS.

⁶ Na základě zprávy ČTK publikované na serveru Letectví.cz

⁷ Dle článku „White-Out“ publikovaného 16. června 2008 na serveru airport-technology.com

V případě přechodu na systém LAAS/GBAS by stačila jen jedna jeho jednotka, jejíž pořizovací náklady jsou prakticky stejné jako v případě anténního pole ILS. Pořizovací náklady v případě velkých letišť jsou tedy čtyřikrát až šestkrát menší než při zavádění systému ILS. Úspora tedy činí 75% až 83%. Další úsporu pak představují náklady na pravidelnou kalibraci a technické oblety prostředků ILS, které by v případě použití LAAS/GBAS nebyly potřeba v tak velkém rozsahu.

Na základě údajů mezinárodní organizace pro civilní letectví ICAO z roku 2000 se náklady na pořízení pozemního vybavení přistávacího systému ILS pohybují od 500 000 do 1 250 000 USD v závislosti na kategorii přesného přiblížení (viz tabulka č. 2). Oproti tomu pořizovací náklady pozemní části GBAS činí 850 000 USD. Pro srovnání jsou uvedeny i pořizovací náklady dalších radionavigačních prostředků (VOR, DME, NDB, TACAN).

Státní podnik Řízení letového provozu ČR uvádí, že náklady na zavedení systému ILS CAT I pro jednu přistávací dráhu se v podmínkách České republiky pohybují okolo 10 mil. Kč, a to bez nákladů na stavební část systému, záložní vedení elektrické energie a prvotní letové ověření. Náklady včetně těchto součástí představují přibližně 16 mil. Kč⁸. Jejich struktura je následující:

- Pořízení LLZ (4,2 mil. Kč)
- Pořízení GS (3,7 mil. Kč)
- Pořízení DME (2,2 mil. Kč)
- Stavební připravenost a instalace (6 mil. Kč)
- Letové ověření (0,25 mil. Kč)

⁸ Tyto údaje jsou získány od ŘLP s.p. a představují reálný odhad pořizovacích nákladů v cenách roku 2010. Nejsou v nich zahrnuty zařízení MARKER (OM a MM). Dnes se namísto markeru preferuje kolokace GS s DME (přiblížení ILS/DME).

Tabulka č. 2 Porovnání pořízovacích nákladů radionavigačních prostředků (údaje z roku 2000)

Radionavigační prostředek	Pořízovací náklady [USD]
ILS CAT I	500 000
ILS CAT II	1 100 000
ILS CAT III	1 250 000
GBAS	850 000
VOR	135 000
DME	125 000
NDB	30 000
TACAN	525 000

Zdroj: ICAO

Důležité však je, že náklady na zavedení přesného přibližovacího systému na bázi GPS leží na bedrech jednotlivých letišť, resp. orgánů řízení letového provozu, nikoliv dopravců. Je však pravděpodobné, že by mohly ovlivnit výši stávajících poplatků za využití navigačních služeb – zejména přibližovací poplatek.

3.2 Náklady na zavedení letového vybavení

Co se týče letadlového vybavení, je nutné zmínit, že stávající přístrojové a radionavigační vybavení moderních dopravních letounů neumožňuje přiblížení samo o sobě (jedině navigaci při letu po trati a sestup v kolokaci s jiným radionavigačním zařízením – NDB/GPS).

Z technického hlediska se jedná o antény přijímače GPS, vlastní GPS přijímač a letově-navigační computer. Informace o horizontální a vertikální odchylce od sestupové trajektorie může být pilotovi poskytována buď výnosem na přístroj CDI, což je přístroj používaný palubní částí systému ILS, jemuž jsou uzpůsobeny prakticky všechny dnešní dopravní letouny. Případně může být informace zobrazena na displej pilotážně-navigačních údajů (tzv. Head-Down Display či Primary Flight Display), nebo na průhledový displej (Head-Up Display, HUD), je-li jím letoun vybaven.

Pokud bychom požadovali schopnost přesného přiblížení s využitím LAAS/GBAS, je nutná investice do letadlového vybavení, které by umožnilo přijímat a zpracovávat signál z prostředků systému LAAS. Pořizovací náklady na LAAS/GBAS-kompatibilní GPS přijímač se pohybují okolo 10 000 USD⁹. Srovnáme tuto částku s náklady na zavedení letadlového vybavení, které umožňuje méně přesné přiblížení v kategorii přístrojového přiblížení s vertikálním vedením (APV) využívající technologii WAAS. Jedním z velmi rozšířených prostředků ve všeobecném letectví (ne-li nejrozšířenější) v této kategorii je navigační systém GNS-430W vyvinutý a vyráběný firmou Garmin. Tržní cena tohoto prostředku se pohybuje v rozmezí 8 000 až 10 000 USD¹⁰. Např. česká firma Airteam nabízí tento prostředek za cca 155 tis. Kč. Náklady na pořízení dvojice těchto prostředků (pro kapitána a pro prvního důstojníka) se tak pohybují v rozmezí 16 000 až 20 000 USD, případně cca 310 tis. Kč. Vidíme tedy, že tyto náklady jsou v podstatě stejné jako náklady na vybavení kompatibilní se systémem LAAS, které umožňuje řádově vyšší přesnost vedení letounu po sestupové ose.

Mezinárodní organizace pro civilní letectví ICAO uvádí pořizovací náklady na navigační vybavení dopravních letounů – viz tabulka č. 3.

Tabulka č. 3 Porovnání pořizovacích nákladů navigačního vybavení dopravních letounů

Navigační vybavení	Pořizovací náklady [USD]
GPS pro komplet FANS-1	58 000
MMR pro GBAS (digitální)	30 000
MMR pro GBAS (analogový)	40 000

Zdroj: ICAO

Některé letouny poslední generace jsou vybavením pro přesné přiblížení na bázi GBAS vybaveny standardně. Příkladem takového letounu je Boeing 787 Dreamliner či Boeing 747-8. Na dalších moderních letounech je toto vybavení volitelné, jedná se např. o Boeing 737NG (New Generation) a Airbus A380.

⁹ Dle článku „White-Out“ publikovaného 16. června 2008 na serveru airport-technology.com

¹⁰ Tržní ceny na internetových obchodech (např. Saratoga Avionics International) v květnu 2010

Obr. 7 Letoun B737NG vybavený prostředky pro přesné přiblížení kategorie CAT I s využitím GBAS provádí sestup na letiště Sydney



Zdroj: Airservices Australia

3.3 Náklady na výcvik létajícího personálu

Aby byla posádka letounu schopna bezpečně a kvalitně provádět přístrojové přiblížení, ať už jakoukoli metodou, je nutné aby byla dobře vycvičena a teoreticky vyškolená v konkrétních druzích přiblížení a v řešení nestandardních situací s nimi spojených. Přesné přiblížení s využitím prostředků GPS a jejich pozemních rozšíření GBAS není výjimkou. Důkladný a kvalitní výcvik je o to důležitější, že meteorologická minima tohoto druhu přiblížení jsou podstatně nižší než u tzv. non-precision přiblížení. Posádka a letoun se tak dostává do mnohem menších výšek rozhodnutí a mnohem blíže terénu a překážkám. Je tedy jasné, že každá posádka, každý pilot, ať už při jeho výcviku v letecké škole, či během jeho práce u letecké společnosti, musí absolvovat teoretický a praktický výcvik zaměřený na zvládnutí přiblížení podle GLS (GNSS Landing System).

Náklady na teoretický výcvik jsou zanedbatelné, vzhledem k tomu, že se jedná o několik málo hodin teoretického výkladu na učebně. Nákladná je však praktická část výcviku. Osnova výcviku létání podle přístrojů na vícemotorovém letounu dle norem JAR zahrnuje několik letů na nácvik jednotlivých druhů přiblížení, a to jak ve dne, tak v noci, jak se všemi motory, tak s imitací jednoho vysazeného motoru. Pro každý druh přiblížení je stanoven minimální rozsah výcviku dle osnovy takto:

Fáze výcviku na тренаžеру pilotážně-navigačních postupů FNPT II:

Tabulka č.4: Návrh první fáze osnovy praktického výcviku

Úloha	Počet letů	Počet hodin	Počet sestupů
Sestupy ve dne na oba motory	3	4:00	16
Sestupy ve dne na jeden motor	2	2:00	8
Sestupy v noci na oba motory	2	2:00	6
Sestupy v noci na jeden motor	2	1:00	3
CELKEM	9	9:00	33

Zdroj: Předpis JAR-FCL-1

Fáze výcviku na vícemotorovém letounu:

Tabulka č.5: Návrh druhé fáze osnovy praktického výcviku

Úloha	Počet letů	Počet hodin	Počet sestupů
Sestupy ve dne na oba motory:	2	2:00	8
Sestupy ve dne na jeden motor:	1	0:30	2
Sestupy v noci na oba motory:	1	1:00	4
Sestupy v noci na jeden motor:	1	3:00	2
CELKEM	5	6:50	16

Zdroj: Předpis JAR-FCL-1

Tržní cena za jednu hodinu na тренаžеру FNPT II, např. ATR-42 společnosti ČSA, se pohybuje okolo 2 500 Kč¹¹. Náklady na fázi výcviku na тренаžеру jsou tedy 22 500 Kč na jednu posádku (resp. pilota).

¹¹ Cena inzerovaná leteckou školou Flying Academy v květnu 2010

Tržní cena jedné letové hodiny dvoumotorového výcvikového letounu vybaveného pro létání podle pravidel IFR se v České republice pohybuje mezi 8 000 až 11 000 Kč. Pokud budeme tedy uvažovat cenu letové hodiny na letounu Piper PA-34 Seneca, jenž patří mezi nejvíce rozšířené dvoumotorové výcvikové typy nejen v ČR, pak např. letecká škola Flying Academy ji nabízí za 9 200 Kč. Při této ceně náklady na fázi výcviku na letounu PA-34 činí přibližně 63 000 Kč. Náklady na obě fáze výcviku jsou pak přibližně 85 500 Kč.

V případě školení posádek letecké společnosti by náklady na praktickou fázi výcviku, konkrétně na její druhou fázi byly podstatně vyšší. Konkrétní rozsah výcviku posádek letecké společnosti by záležel na rozhodnutí její metodické rady, resp. jejích šéfpilota a oddělení bezpečnosti letů. Uvedmě alespoň rámcově provozní náklady na jednu hodinu letu uváděné pro jednotlivé typy používaných dopravních letounů:

Tabulka č.6: Provozní náklady na letovou hodinu u vybraných typů dopravních letounů

Typ letounu	Provozní náklady na letovou hodinu [USD/h]
A300-600	3 590
A319	2 156
A320	2 273
A321	2 523
A330-200	3 701
A330-300	3 803
A340-300	4 073
A340-600	4 850
ATR-42	1 146
ATR-72	1 503
B737-200	2 619
B737-300	1 993
B737-400	2 250
B737-800	1 583
B747-100	7 756

B747-200	8 424
B747-400	6 761
B757-200	2 685
B767-200	3 217
B767-300	3 398
B777-200	4 149

Zdroj: ICAO

4 Výpočet nákladů na provoz a údržbu prostředků přesného přiblížení na bázi GPS

Soubor radionavigačních zařízení VOR, ILS, DME, NDB, MARKER a světlotekniky na letištích v USA zahrnuje více než 3 000 kusů těchto prostředků. Ve fiskálním roce 2004 představovaly náklady na jejich provoz a údržbu více než 300 milionů USD¹². Jedním z cílů strategického plánu leteckého úřadu Spojených států FAA, tzv. NextGen plan, je razantní snížení nákladů na provoz prostředků zabezpečujících přístrojová přiblížení a současné zvýšení schopností, které by přibližovací systémy nabízely. Jako nejvhodnější cesta se jeví odstavení zmíněných prostředků MARKER, NDB a VOR a postupný přechod od dnes nejpoužívanějšího systému ILS na systém využívající satelitní navigaci GPS s pozemním rozšířením – takzvaný GBAS, někdy označovaný, zejména ve Spojených státech, jako LAAS. Jedná se o zásadní krok, vezmeme-li v úvahu, že ILS, jehož éra se datuje od roku 1949 se etabloval jako v podstatě standardní a nejpoužívanější systém přesného přiblížení kategorií CAT I až CAT III na světě. Pro srovnání uvedme náklady na údržbu a inspekční prohlídky různých radionavigačních zařízení, které uvádí mezinárodní organizace pro civilní letectví ICAO – viz tabulka č. 7.

Tabulka č. 7 Porovnání nákladu na údržbu a inspekční prohlídky radionavigačních prostředků (údaje z roku 2000)

Radionavigační prostředek	Náklady na provoz a údržbu [USD]	Náklady na inspekční prohlídky [USD]
ILS CAT I	17 100	50 000
ILS CAT II	17 100	50 000
ILS CAT III	17 100	50 000
GBAS	-	-
VOR	9 700	50 000
DME	8 000	50 000
NDB	3 000	5 000

Zdroj: ICAO

¹² Údaj získaný z článku „How will LAAS be more? WAAS's more-accurate brother has been slow in coming. Some approaches are available today as well as the equipment to fly them“ databáze elektronických zdrojů Goliath

Státní podnik Řízení letového provozu ČR uvádí, že roční náklady na provoz a údržbu systému ILS CAT I pro jednu přistávací dráhu jsou přibližně 2,5 mil. Kč¹³. Tyto náklady zahrnují denní kontroly, revize, údržbu zařízení a ochranných pásem, průběžné monitorování a zabezpečení a letová ověření – ta se pro kategorii CAT I provádí dvakrát ročně, přičemž každé stojí 250 000 Kč. Budeme-li uvažovat životnost prostředků ILS 10 let, pak celkové roční náklady (tj. náklady na provoz a údržbu a jedna desetina pořizovacích nákladů) tvoří přibližně 4,1 mil. Kč.

Jedním z důvodů proč se na technologii GBAS nahlíží jako na perspektivní, je skutečnost, že vybavení letounů kompatibilní s GBAS zabezpečí a svojí kvalitou předčí všechny služby zabezpečované dosud pomocí palubních prostředků využívajících systémů NDB, DME, VOR, ILS, MLS a GPS. Namísto vynakládání provozních nákladů na celou škálu různých radionavigačních přijímačů a prostředků umístěných na letounu se tak bude provozovat pouze jediné zařízení. Letecké úřady po celém světě předpokládají, že konečným důsledkem by mohlo být snížení nákladů leteckých dopravců, ale i provozovatelů všeobecného letectví, což by mohlo vést ke zlevnění letecké dopravy.

4.1 Provoz a údržba pozemního vybavení

Pozemní referenční stanice systému GBAS vyžadují, stejně jako kterékoliv jiné navigační a radiotechnické prostředky, pravidelnou údržbu a kontrolu správnosti funkce všech svých agregátů. Z technického hlediska se pravidelná údržba skládá ze dvou dílčích:

- inspekce zařízení (neboli oblasti rozmístění prostředků)
- inspekce vybavení

Inspekce zařízení zahrnuje dvě klíčové oblasti, jež jsou předmětem kontroly a údržby. Jedná se o:

- neporušenost kritických částí anténního systému
- celkový stav jednotlivých antén, včetně uzemnění

¹³ Tyto údaje jsou získány od ŘLP s.p. a představují reálný odhad v cenách roku 2010.

Kontrola a údržba vybavení zahrnuje kontrolu a případnou opravu nedostatků týkajících se technických a výkonových charakteristik jednotlivých prvků umístěných na pozemní referenční stanici. Jedná se o následující:

- frekvence a výkon vysílačů
- funkce transmisní linky
- frekvence přijímacího oscilátoru
- pokrytí signálem
- kvalita a dostupnost příjmu signálu ze satelitů
- elektrický zdroj a napětí záložního agregátu

4.2 Provoz a údržba letového vybavení

Radionavigační vybavení letounů uzpůsobené pro příjem signálů GBAS a jejich vyhodnocení a následné zobrazení navigačních informací pilotovi je součástí letecké techniky, na níž se používá. Jako taková se jeho údržba a provoz řídí leteckými technickými předpisy (v Evropě řady JAR, ve Spojených státech řady FAR), dále provozním a technickým manuálem a bulletiny výrobce. Pravidelná práce na letecké technice (radionavigačním vybavení nevyjímaje) se uskutečňuje v intervalech trojího druhu: po určité době životnosti (měsíce, roky), po stanoveném počtu letových hodin, po stanoveném počtu cyklů (např. počtu sestupů, přistání atd.) V případě radionavigačního vybavení jsou tyto práce prováděny společně s dalšími pracemi na ostatních systémech letounu po předem stanoveném počtu letových hodin a při generálních servisních opravách. Krom toho je jejich integrita a správnost jejich funkce prověřována při předletových prohlídkách technickým i letovým personálem.

Navigační systémy pracující se satelitní navigací GPS (tedy i GBAS) v sobě zahrnují databázi navigačních dat o uspořádání vzdušného prostoru, navigačních procedurách jednotlivých letišť, atd. Jednoznačně nejrozšířenější databází je produkt firmy Jeppesen. Krom toho jsou do GPS navigačních systémů implementovány i databáze překážek. Obě databáze je nutné v pravidelných intervalech aktualizovat. Roční náklady na tuto aktualizaci se pohybují v podmínkách ČR v řádu tisíců Kč (např. firma Airteam nabízí roční cyklus aktualizací databáze Jeppesen za 7 161 Kč a cyklus aktualizací databáze překážek za 5 486 Kč; ceny jsou uvedeny vč. DPH). Důležité však je, že tyto náklady by byly stejně vynaloženy, ať už letoun disponuje navigačním vybavením kompatibilním s GBAS či ne – naprostá

většina letounů totiž používá alespoň základní GPS navigační vybavení pro lety IFR, u nichž je nutná naprosto stejná aktualizace stejných databází.

4.3 Výpočet provozních nákladů systému GBAS

Spíše než vypočítávat náklady na provoz konkrétního prostředku, je účelné vyjádřit jak velkou úsporu nákladů představuje zavedení a provozování systému GBAS. Jak je patrné, úspora provozních nákladů v případě navigačního vybavení letadel tkví především v tom, že místo několika navigačních systémů se provozuje pouze jeden, který dokáže ostatní systémy zcela nahradit. Pravidelnost, rozsah i nákladovost jeho provozu a údržby je srovnatelná s údržbou kteréhokoliv ze systémů, jež nahradil (např. klasického přijímače GPS).

Letecký úřad Spojených států (FAA) si nechal vypracovat analytický odhad úspor během dvacetiletého období, které by přineslo zavedení systému LAAS na 120 nejvyužívanějších letištích v USA, přičemž uvažuje dosažení schopností kategorie CAT II/III v roce 2013.

Tato zpráva člení úspory z pohledu uživatele dle jednotlivých fází letu. Předběžná analýza predikuje celkové úspory uživatelské komunity v období dvaceti let ve výši necelých 2 miliard USD, přičemž tyto úspory jsou takřka rovnoměrně rozděleny mezi úspory na přímých provozních nákladech a úspory vzniklé zkrácením letové doby. Jak se dá předpokládat, valná většina těchto úspor (zhruba 1,8 miliard USD) by byla dosažena velkými a regionálními aerolinkami, zatímco provozovatelé tzv. bizjetů by se na úsporách podíleli přibližně 92 miliony dolarů.

Schopnost provádět přímá přiblížení na všech 720 drah 120 uvažovaných letišť by přineslo úsporu okolo 1,5 miliardy dolarů, oproti 500 milionům dolarů úspor během ostatních fází letu. Předpokládá se však, že např. navigační vedení letounu po vzletu by bylo uskutečněno za přítomnosti moderního avionického vybavení (jako např. HUD) a i za meteorologických podmínek odpovídajících kategorii CAT III. Dále by bylo využito komplexních přibližovacích trajektorií a procedur přiblížení na paralelní dráhy. Eliminace tzv. ILS-kritických oblastí by byla uskutečněna jen tehdy, když by se již nepředpokládal provoz letounů vybavených systémem ILS.

Nevýhodou takové analýzy je však skutečnost, že považuje všech 720 drah za perspektivní z hlediska jejich využití pro přesná přístrojová přiblížení. To však neplatí zcela. Téměř každé letiště má jen některé ze svých drah určeny pro přístrojová přiblížení, zatímco další jsou určeny jen pro VFR provoz, tj. provoz za meteorologických podmínek, které nevyžadují provádění přístrojových sestupů. Mnohé z těchto VFR drah nejsou ani vybaveny světelnými zabezpečovacími zařízeními, takže nejsou způsobilé pro přistání letounů provádějících přiblížení kategorie CAT I, natož CAT II/III. Pokud by se světloteknika na tyto dráhy nainstalovala, není zaručeno, že počet přesných přístrojových přiblížení, které by na tyto dráhy byl proveden, by alespoň vyrovnal náklady na jejich uschopnění pro IFR provoz.

Další otázkou je, zda by velkou část přístrojových přiblížení nestačilo provádět pouze v kategorii přiblížení s vertikálním vedením (tzv. APV). Pokud ano, pak by značný podíl provedených sestupů mohl být zabezpečen levnějším (ale méně přesným) systémem WAAS a jen určité procento přiblížení by se provádělo pomocí LAAS. Výše uvedené úspory počítají s variantou, kdy by letouny nebyly vybaveny systémy umožňující přiblížení podle WAAS. Opačná varianta (letouny jsou schopny provádět přiblížení podle WAAS i LAAS) by pak dle studie znamenala snížení úspor spojených se zavedením tohoto systému zhruba o jednu třetinu. Dá se tedy předpokládat, že reálná hodnota se bude nacházet někde mezi těmito dvěma hodnotami (tj. 1,34 a 2 miliardy USD).

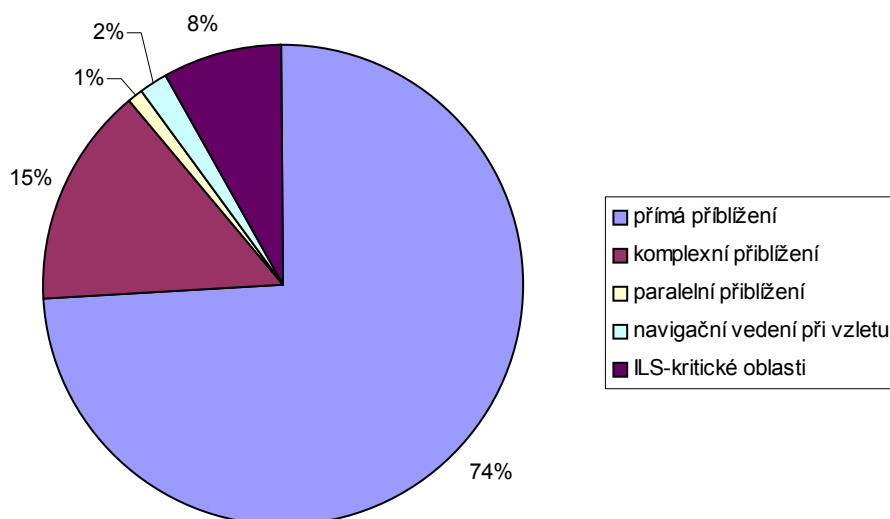
Kromě analytického odhadu úspor na straně leteckých dopravců je však nutné provést i analýzu nákladů, které by byly vynaloženy provozovateli pozemních navigačních prostředků LAAS a analýzu nákladů na vývoj, zavedení a certifikování celé sítě těchto prostředků. Na základě této studie letecký úřad FAA rozhodne o dalším směřování projektu zavádění LAAS na území USA.

Tabulka č. 8 Úspory nákladů po dobu 20 let vzniklé celoplošným zavedením systému LAAS ve Spojených státech

	Úspory na přímých provozních nákladech [USD]	Úspory vzniklé zkrácením letového času [USD]	Celkové úspory [USD]
Varianta bez provádění některých sestupů pomocí WAAS	997 000 000	994 500 000	1 991 500 000
Varianta s prováděním některých sestupů pomocí WAAS	680 200 000	663 800 000	1 344 000 000

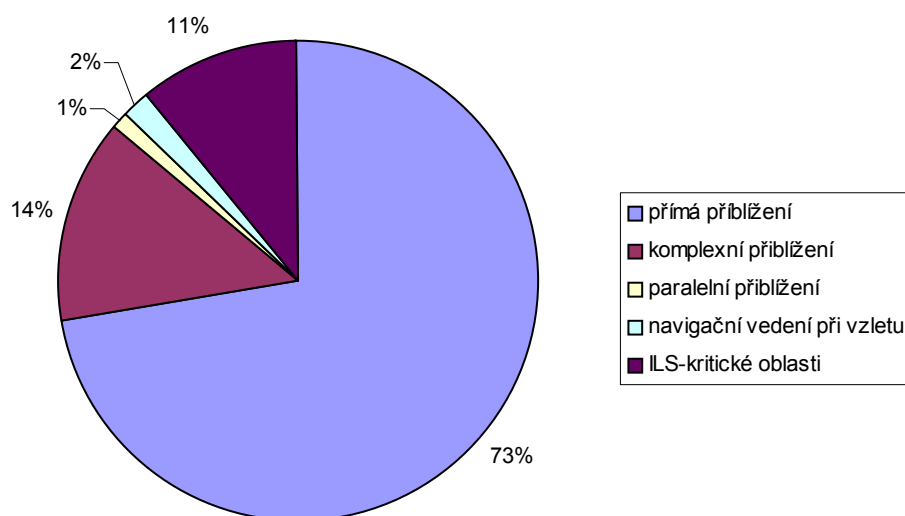
Zdroj: FAA

Obr. č. 8 Jednotlivé složky úspory přímých provozních nákladů (varianta bez WAAS)



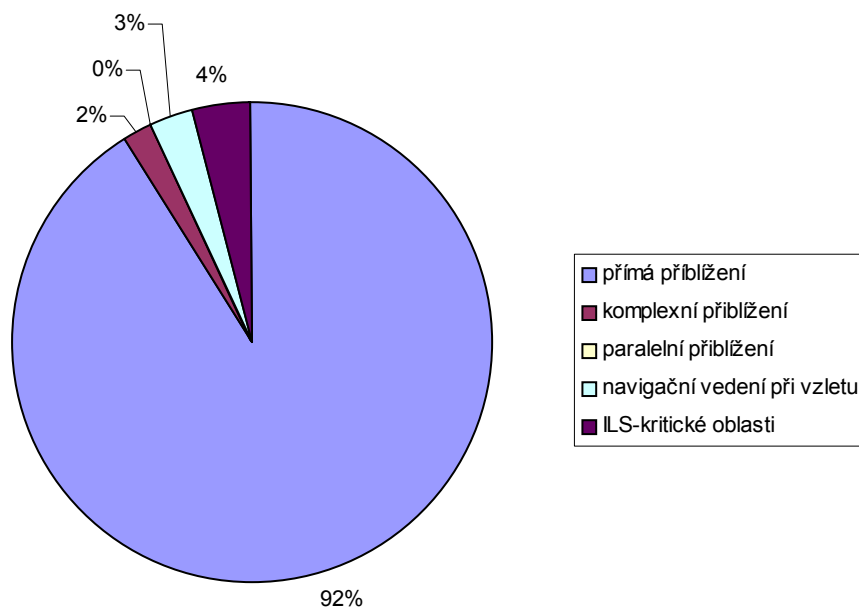
Zdroj: FAA

Obr. č. 9 Jednotlivé složky úspory vzniklých zkrácením letového času (varianta bez WAAS)



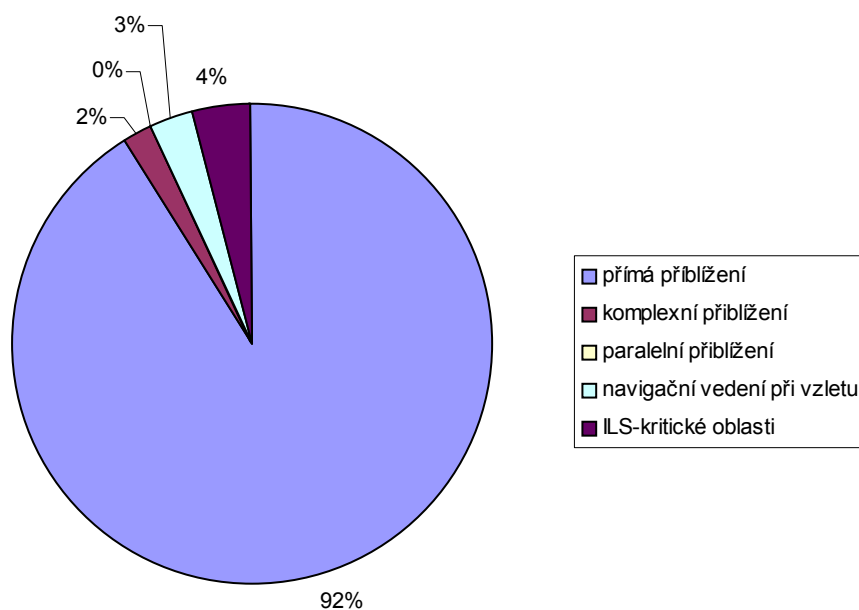
Zdroj: FAA

Obr. č. 10 Jednotlivé složky úspory přímých provozních nákladů (varianta s WAAS)



Zdroj: FAA

Obr. č. 11 Jednotlivé složky úspory vzniklých zkrácením letového času (varianta s WAAS)



Zdroj: FAA

S uvedenou studií jsou spojeny určité faktory, které vystupují v analýze citlivosti. Jedná se o tyto:

- Instalace všech prostředků LAAS se předpokládá v období šesti let
- Minimální procento vybavenosti letadel avionikou LAAS, aby došlo k úsporám, je 80%
- Průměrná délka letu je pouze odhadována
- Vychází se ze současné konfigurace letišť

5 Přínos zavedení systému přesného přístrojového přiblížení využívajícího GPS

V současné době jsou prostředky GBAS na území Spojených států amerických, označované někdy jako LAAS, schopny dosáhnout přesnosti vyhovující kategorie CAT I pro přesná přístrojová přiblížení, což je přesnost 16 m v laterálním a 4 m ve vertikálním směru. Cílem programu zavádění technologií LAAS na území USA je zabezpečit přesnost vedení dle kategorie CAT III. Minimální navigační přesnost, resp. povolená laterální a vertikální chyba systémů kategorie CAT III prostředků LAAS, je specifikována v předpisu Federální letecké agentury (FAA) pod názvem RTCA DO-245A. GBAS kategorie CAT III umožní letounům přistávat i při nulové dohlednosti s využitím systému automatického přistání, pokud jím samozřejmě budou tyto letouny vybaveny.

5.1 Přínos a výhody systému přesného přiblížení na bázi GPS

Jedním z primárních benefitů systémů GBAS je skutečnost, že instalace jediné pozemní stanice na velkém letišti může být použita pro zabezpečení přesného přístrojového přiblížení na kteroukoliv dráhu tohoto letiště (pokud tomu nebrání jiné technické příčiny) a rovněž i na jakoukoliv dráhu dalších letišť v okruhu cca 25 NM od zařízení. Výhoda, která z toho plyne je jasná. Namísto instalace anténního systému ILS na každou dráhu letiště lze zavést jediný prostředek GBAS, přičemž pořizovací náklady jednoho takového kompletu jsou srovnatelné s náklady na pořízení jednoho anténního systému ILS. Celý systém se tak nejen zjednoduší, ale především dojde k velkým úsporám, a to jak v případných pořizovacích nákladech na nová zařízení na nových letištích, případně při rozšiřování kapacit a schopností přijímat a odbavovat IFR lety na letištích stávajících, tak rovněž i v nákladech na provoz a údržbu radionavigačních prostředků.

Úspora nákladů na provoz, ale i pořízení prostředků přesného přístrojového přiblížení využívajících technologii GBAS roste s počtem drah, jež by byly jedním tímto prostředkem pokryty. Předpokládejme, že by byly zabezpečovány všechny VPD na čtyřech vybraných letištích. V případě Chicaga jde o šest VPD, v Sydney a v Praze-Ruzyni má dráhový systém po třech VPD, v Melbourne jsou dvě dráhy. Jak je patrné, náklady radionavigačního vybavení přibližovací služby jsou u velkých mezinárodních letišť nižší o 75 až 92 procent. Krom toho lze pozemní stanice kategorie GBAS (LAAS) využít i jako referenční stanici pro velkoplošné rozšíření GPS – již zmíněný WAAS.

Výhod, které systém GBAS přináší je však celá řada, včetně jejich důsledků v podobě efektivnějšího využívání vzdušného prostoru, letového času a bezpečnější letecké dopravy. Jmenujme alespoň ty nejdůležitější:

- flexibilní trajektorie přístrojového přiblížení, z toho plynoucí úspora letového času, paliva a emisí CO₂
- podpora všech druhů leteckého provozu, od pohybu na zemi, přes odlet až po přiblížení a přistání uvnitř zóny pokrytí GBAS
- jedna pozemní stanice GBAS zabezpečí hned několik přistávacích drah, čímž se zásadně snižují náklady na zavedení i provoz přibližovacího systému oproti v současnosti používaným technologiím
- systémy GBAS umožňují řízené vedení letadla i během tzv. nezdařeného přiblížení
- snížená hluková zátěž a vyšší možnost vyhnout se překážkám díky schopnosti letu po zakřivené a komplexní sestupové trajektorii
- sada navigačního vybavení letounu pro GBAS přiblížení může být využita i pro navigační vedení letounu s využitím prostředků WAAS
- nahrazení velkého množství anténního a radionavigačního vybavení letounů pro různé druhy přiblížení jedním systémem vede k úspoře zejména provozních nákladů dopravních letounů
- nižší pořizovací a provozní náklady pozemních zařízení systému GBAS napomohou k budoucímu snížení přibližovacích poplatků
- nižší náklady na navigační vybavení letounů a možnost vést letoun po výhodnější trajektorii ve svém důsledku zlevní leteckou dopravu

- pozemní systém GBAS nemusí být umístěn na konkrétním místě v blízkosti dráhy a může být nainstalován i tam, kde technické požadavky neumožňují použití systému ILS
- GBAS umožňuje flexibilně volit různé úhly sestupu a různá místa dosednutí letounu na VPD, což vede ke zvýšení kapacity dráhového systému letiště
- Přiblížení podle přístrojů, přistání, odlet i pohyb letounu po pohybové ploše letiště je s využitím prostředků GBAS bezpečnější
- Letouny mohou po dosednutí opouštět dráhu rychleji (je-li VPD vybavena tzv. fast exity)
- GBAS umožňuje provedení vzletu i za horších meteorologických podmínek, než umožňují dnes používané systémy (tzv. low visibility takeoff)
- Navigační přesnost GBAS je nezávislá na vzdálenosti od pozemního prostředku
- GBAS vyžaduje nižší frekvenci kontrolních obletů speciálními letouny než dosavadní prostředky, jako např. ILS

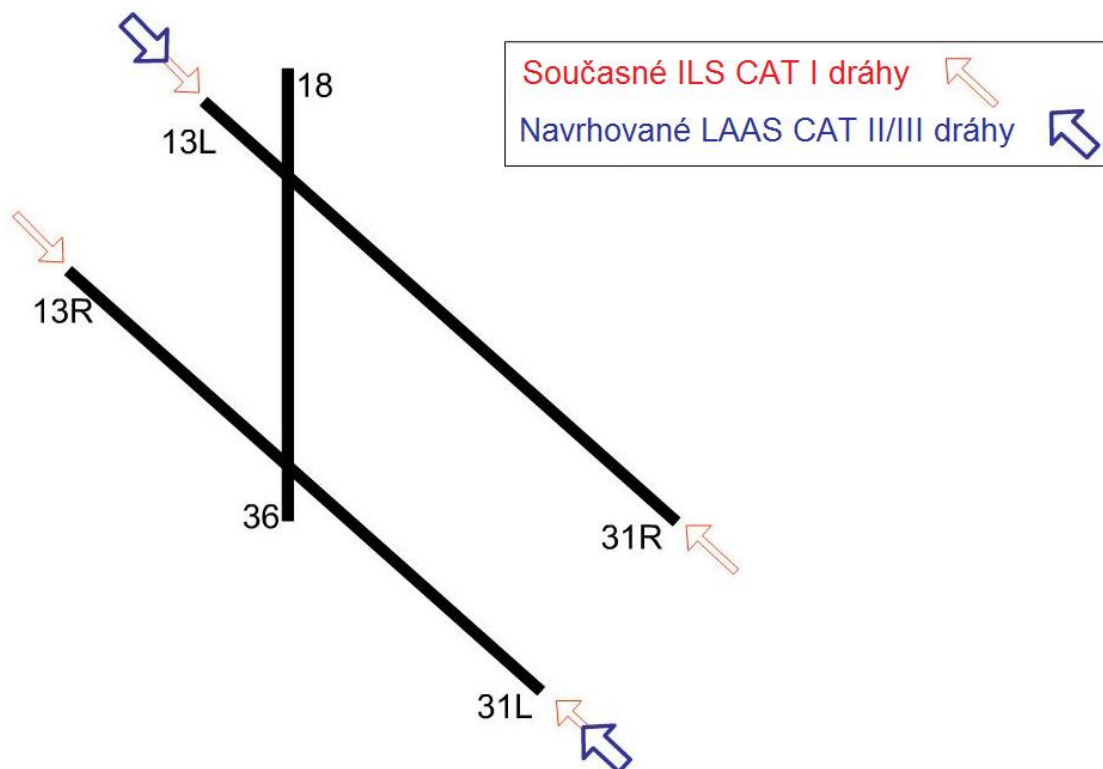
5.1.1 Případová studie

Pro konkrétní představu o tom, co prostředky přesného přístrojového přiblížení na bázi satelitní navigace a jejích rozšiřujících technologií přináší, uvedme případovou studii letiště Dallas Love Field v USA.

Toto letiště disponuje dráhovým systémem sestávajícím z tří VPD, tedy šesti drah pro přistání (13L, 13R, 31L, 31R, 18, 36). V současnosti jsou čtyři z těchto drah (13L, 13R, 31L, 31R) vybaveny prostředky ILS přesného přiblížení kategorie CAT I. Návrh počítá se zavedením pozemní stanice LAAS, jež by v budoucnu umožnila provádění přesných přiblížení kategorie CAT II a III, přičemž pro tato přiblížení by se využívaly jen dráhy 13L a 31L.

Obr. č. 12 Schéma dráhového systému letiště Dallas Love Field

Dallas Love Field



Zdroj: FAA

V současnosti tedy letiště disponuje těmito provozními parametry:

- ILS CAT I na 4 dráhách:
 - o 13 L/R
 - o 31 L/R
- Žádný CAT II/III přibližovací systém
- Roční úhrn událostí způsobený meteorologickými podmínkami vyžadujícími sestup kategorie CAT II/III:
 - o Zpoždění letu (362)
 - o Zrušení letu (56)
 - o Odlet na náhradní letiště (23)

Přínos zavedení systému LAAS:

- Umožnění sestupu kategorie CAT II/III
 - o Provoz LAAS CAT II/III na dráhách 13L a 31L
- Odhadované roční úhrny událostí způsobených meteorologickými podmínkami vyžadujícími sestup kategorie CAT II/III:
 - o Zpoždění letu (168)
 - o Zrušení letu (15)
 - o Odlet na náhradní letiště (18)

Následující tabulka číselně vyjadřuje ekonomický přínos, který zavedení přesného přiblížovacího systému kategorie CAT II/III na bázi satelitní navigace a jejího pozemního rozšíření LAAS představuje.

Tabulka č. 9 Odhadovaná roční úspora ztrát na letišti Dallas Love Field díky zavedení systému LAAS

Uživatel	Náklady na mimořádnou událost (zpoždění letu, zrušení letu, odklon) [USD]	Roční počet provedených přiblížení	Roční počet mimořádných událostí, jimž bylo zabráněno díky LAAS	Úspora ztrát díky zavedení LAAS [USD]
Velcí dopravci	3 360	49 572	90	303 974
Regionální dopravci	1 100	7 206	13	14 466
Cargo dopravci	2 250	1 313	2	5 391
Korporátní doprava	1 270	42 852	78	99 320
CELKEM				423 152

Zdroj: FAA

5.2 Nevýhody systému přesného přiblížení na bázi satelitní navigace

LAAS (GBAS) sdílí některé neduhy radiofrekvenčních přístávacích systémů, např. nezáměrné rušení či degradace signálu vlivem odrazů od hustých objektů, což vede ke zhoršení kvality či momentální ztrátě signálu. Ve snaze postihnout tyto problémy, bude i po plošném zavedení prostředků pozemního rozšíření satelitní navigace GBAS nutné, aby bylo zachováno alespoň omezené množství klasických radiotechnických zařízení, které by umožnily na některých letištích provést přístrojové přiblížení a přistání v případě výpadku či poruchy GBAS.

Např. v Severní Americe se počítá s postupným nahrazením prostředků ILS systémem satelitní navigace GBAS (a také WAAS). Tyto systémy by zabezpečovaly jak navigační vedení letounu po trati, tak zejména přístrojové přiblížení, a to jak tzv. non-precision, tak i přesné přiblížení kategorií CAT I, II a III. Některé z existujících prostředků ILS však budou zachovány v provozuschopném stavu, jako jakási záloha pro případ nedostupnosti služeb poskytovaných na bázi GBAS.

Při zavádění pozemních prostředků GBAS (LAAS) bude v případě těch letišť, na nichž není v současné době používán systém ILS nutné provést průzkum terénu v okolí letiště, na sestupové ose pro všechny dráhy a v tzv. ochranném prostoru přístrojového přiblížení. Průzkum zahrnuje stanovení výšky a rozmístění překážek a přesné zmapování profilu terénu. Tento průzkum nebude nutný u letišť vybavených prostředky ILS – v těchto případech se využije informací o okolním terénu a překážkách, které byly zpracovány již při zavádění ILS.

Jako jistou nevýhodu systému GBAS lze považovat i to, že se jedná o novou technologii, která nebyla zatím masově vyzkoušena a její zavedení do komerčního provozu bude pravděpodobně doprovázeno nutností odstranit nedostatky, které vyplynou na povrch a zkušenostmi z každodenního provozu na velkém množství letišť a za různých podmínek.

V současnosti jsou systémy GBAS schopny poskytovat pouze navigační vedení pro přesná přiblížení kategorie CAT I (výška rozhodnutí 200 ft nad prahem dráhy). Cílem je dosáhnout úrovně přesnosti a spolehlivosti vyhovující kategoriím CAT II a III. Posledně jmenovaná kategorie umožňuje přesná přiblížení za nulové dohlednosti (některé systémy ILS

kategorie CAT III toto již umožňují). Letecký úřad Spojených států si jako termín dosažení schopnosti zabezpečit přiblížení kategorií CAT II a III systémem GBAS (LAAS) stanovil rok 2012.

Těžiště ekonomické výhodnosti spočívá ve strategii poskytování služeb přesného přiblížení kategorie CAT I. Vývoj technologie WAAS, která je levnější než LAAS, slibuje dosažení přesnosti vyhovující pro CAT I (nyní umožňuje pouze přiblížení typu APV s výškou rozhodnutí 250 ft). Na základě tvrzení leteckého úřadu Spojených států (FAA), bude při expanzi systému WAAS možno pokrýt celé kontinentální území USA a velkou část Aljašky službami přesného přiblížení kategorie CAT I na bázi WAAS. Zatím však WAAS přesná přiblížení neumožňuje. Dle vyjádření leteckých dopravců ve Spojených státech budou tito ochotni přejít ze stávajícího systému ILS na systém GBAS/LAAS jedině v případě, že bude zabezpečeno pokrytí celého území USA prostředky LAAS umožňujícími provádění sestupů kategorie CAT II a III.

ZÁVĚR

K zabezpečení navigačního vedení dopravních letounů během přístrojového přiblížení a přistání byla během posledního století vyvinuta a zavedena řada systémů, jež umožňují provést sestup na cílové letiště i za velmi zhoršených meteorologických podmínek. Mnohé z těchto systémů jsou však používány již od 40. let 20. století a jejich provoz a údržba stojí každoročně nemalé finanční prostředky. Moderní prostředky na bázi satelitní navigace a jejich pozemních rozšiřujících systémů, známé jako GBAS, slibují nejen úsporu pořizovacích a provozních nákladů, ale i zvýšení kapacity vzletových a přistávacích drah, větší flexibilitu řízení letového provozu a v konečném důsledku i vyšší bezpečnost letecké dopravy.

Cílem práce bylo nejen popsat princip fungování a strukturu těchto systémů, ale také určit případnou relativní úsporu nákladů, které jejich zavedení přináší.

V souvislosti s umožněním přesného přiblížení, které by využívalo technologii satelitní navigace je nutné vybudovat a zprovoznit určitá pozemní zařízení takového systému, ale stejně tak i nainstalovat do letounů palubní vybavení schopné signály z těchto systémů přijímat, vyhodnocovat a poskytovat tak pilotovi nezbytné informace pro spolehlivé vedení letounu po sestupové trajektorii. Náklady na zavedení pozemního vybavení jsou v podstatě stejné jako náklady na pořízení anténního systému dosud používaných prostředků ILS. Na základě údajů mezinárodní organizace pro civilní letectví ICAO z roku 2000 se náklady na pořízení pozemního vybavení přistávacího systému ILS pohybují od 500 000 do 1 250 000 USD v závislosti na kategorii přesného přiblížení. Oproti tomu pořizovací náklady pozemní části GBAS činí 850 000 USD. Tyto náklady na zavedení přesného přibližovacího systému na bázi GPS leží na bedrech jednotlivých letišť, resp. orgánů řízení letového provozu, nikoliv dopravců. Je ale pravděpodobné, že by mohly ovlivnit výši stávajících poplatků za využití navigačních služeb – zejména přibližovací poplatek.

Co se týče navigačního vybavení letounů, některé letouny poslední generace jsou vybavením pro přesné přiblížení na bázi GBAS vybaveny standardně. Příkladem takového letounu je Boeing 787 Dreamliner nebo Boeing 747-8. Na dalších moderních letounech je toto vybavení volitelné, jedná se např. o Boeing 737NG a Airbus A380.

Na základě studie uvažující zavedení systému GBAS (v USA označovaný jako LAAS) na 120 nejvyužívanějších letištích v USA bylo zjištěno, že celkové úspory uživatelské komunity v období dvaceti let po zavedení GBAS se odhadují ve výši necelých 2 miliard USD, přičemž tyto úspory jsou takřka rovnoměrně rozděleny mezi úspory na přímých provozních nákladech a úspory vzniklé zkrácením letové doby díky zavedení flexibilnějšího systému GBAS. Dle očekávání bude valná většina těchto úspor (zhruba 1,8 miliardy USD) dosažena velkými a regionálními aerolinkami, zatímco provozovatelé tzv. bizjetů by se na úsporách podíleli přibližně 92 miliony dolarů. Ze zmíněných 2 miliard dolarů tvoří úspora dosažená během přiblížení přibližně 1,5 miliardy dolarů, zatímco 500 milionů dolarů bude ušetřeno během ostatních fází letu.

Výše uvedené úspory počítají s variantou, kdy by letouny nebyly vybaveny systémy umožňující přiblížení podle méně přesné technologie než jakou je GBAS (resp. LAAS), označované jako WAAS. Opačná varianta, kdy jsou letouny schopny provádět přiblížení podle WAAS i LAAS by pak znamenala snížení úspor spojených se zavedením tohoto systému zhruba o jednu třetinu. Dá se tedy předpokládat, že reálná hodnota se bude nacházet někde mezi těmito dvěma hodnotami (tj. 1,34 a 2 miliardy USD).

Zavedení prostředků přesného přiblížení na bázi GBAS s sebou přináší řadu výhod. Jedním z primárních benefitů systémů GBAS je skutečnost, že instalace jediné pozemní stanice na velkém letišti může být použito pro zabezpečení přesného přístrojového přiblížení na kteroukoliv dráhu tohoto letiště (pokud tomu nebrání jiné technické příčiny) a rovněž i na jakoukoliv dráhu dalších letišť v okruhu cca 25 NM od zařízení. Výhoda, která z toho plyne je jasná – namísto instalace anténního systému ILS na každou dráhu letiště lze zavést jediný prostředek GBAS, přičemž pořizovací náklady jednoho takového kompletu jsou srovnatelné s náklady na pořízení jednoho anténního systému ILS. Výhod, které systém GBAS přináší je však celá řada, včetně jejich důsledků v podobě efektivnějšího využívání vzdušného prostoru, flexibilnějšího řízení letového provozu, zkrácení letového času a bezpečnějšího provedení letu.

Práce uvádí rovněž případovou studii, která popisuje zavedení systému LAAS na konkrétním letišti – Dallas Love Field. Bylo prokázáno, že ekonomický přínos zavedení přesného přiblížovacího systému kategorie CAT II/III na bázi satelitní navigace a jejího

pozemního rozšíření LAAS představuje roční úsporu přibližně 423 000 USD pro toto jediné letiště. Tato úspora plyne ze schopnosti provádět komplexní sestupy, a to i za meteorologických podmínek odpovídajících kategorii přiblížení CAT II/III, tedy z menšího počtu zpožděných či zrušených letů a z nižšího počtu odklonu přistávajících letounů na náhradní letiště.

Zavedení systémů GBAS s sebou kromě řady benefitů přináší i některé nevýhody. Prostředky GBAS sdílí některé neduhy radiofrekvenčních přistávacích systémů, např. nezáměrné rušení či degradace signálu vlivem odrazů od hustých objektů, což vede ke zhoršení kvality či momentální ztrátě signálu. Ve snaze postihnout tyto problémy bude i po plošném zavedení prostředků pozemního rozšíření satelitní navigace GBAS nutné, aby bylo zachováno alespoň omezené množství klasických radiotechnických zařízení, které by umožnily na některých letištích provést přístrojové přiblížení a přistání v případě výpadku či poruchy GBAS. Např. v Severní Americe se počítá s postupným nahrazením prostředků ILS systémem satelitní navigace GBAS (a také WAAS). Tyto systémy by zabezpečovaly jak navigační vedení letounu po trati, tak zejména přístrojové přiblížení, a to jak tzv. non-precision, tak i přesné přiblížení kategorií CAT I, II a III. Některé z existujících prostředků ILS však budou zachovány v provozuschopném stavu jako jakási záloha pro případ nedostupnosti služeb poskytovaných na bázi GBAS.

V současné době se systémy přesného přiblížení GBAS (resp. LAAS) používají jen na několika letištích na světě, nejvíce pak v Austrálii (např. letiště Sydney). Vizí leteckých úřadů je však postupné doplnění a nahrazení stávajících systémů ILS (a potažmo i MLS, VOR/DME a NDB) prostředky na bázi satelitní navigace, právě pro zmíněné benefity a ekonomické výhody, které zavedení těchto systémů přinese.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Instrument Flying Handbook*. FAA-H-8083-15A, Federal Aviation Administration 2008
- [2] *Instrument Procedures Handbook*. FAA-H-8261-1A, Federal Aviation Administration 2007
- [3] SOLDÁN V. *Letové postupy a provoz letadel*. Letecká informační služba ŘLP ČR, Jeneč 2007. ISBN 978-80-239-8595-5
- [4] SOLDÁN V. *Postupy pro lety podle přístrojů*. Třetí vydání, Praha, Letecká informační služba ŘLP ČR s.p., 2000

Elektronické dokumenty

- [5] *Base-Line Aircraft Operating Costs Appendix ALLPIRG/4-WP/28*. [online] International Civil Aviation Organization. Aktualizováno 15. ledna 2000. Dostupný na <http://www.icao.int/icao/en/ro/allpirg/allpirg4/wp28app.pdf>
- [6] *How will LAAS be more? WAAS's more-accurate brother has been slow in coming. Some approaches are available today as well as the equipment to fly them*. [online] Databáze elektronických zdrojů Goliath. Aktualizováno 1. prosince 2009. Dostupný na http://goliath.ecnext.com/coms2/gi_0199-11872454/How-will-LAAS-be-more.html
- [7] *Letecká informační příručka AIP ČR*, [online]. Dostupný na http://lis.rlp.cz/ais_data/www_main_control/frm_cz_aip.htm
- [8] *Letecký předpis, Provoz letadel- letové postupy L8168* [online]. Dostupný na <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [9] *Local Area Augmentation System Draft Benefits Analysis*. [online] Federal Aviation Administration – Air Traffic Organization. Aktualizováno 4. prosince 2009. Dostupný na http://www.powershow.com/view/edcb3-MGI4Z/Local_Area_Augmentation_System_LAAS_Draft_Benefits_Analysis_August_2004
- [10] POOLE R. *Air Traffic Control Reform Newsletter #68*. [online] Aktualizováno 23. listopadu 2009. Dostupný na <http://reason.org/news/show/air-traffic-control-reform-new-67>
- [11] *Předpis JAR-FCL-I* [online]. Dostupný na <http://www.jaa.nl/publications/jars/607069.pdf>

- [12] *Předpis L 10/I* [online]. Dostupný na <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [13] SHERIDAN J. FAA discusses future of WAAS and LAAS at safety forum. [online] Server AINonline.com. Aktualizováno 1. listopadu 2004. Dostupný na http://www.ainonline.com/ain-and-ainalerts/aviation-international-news/single-publication-story/browse/0/article/faa-discusses-future-of-waas-and-laas-at-safety-forum-12220/?no_cache=1&tx_ttnews%5Bstory_pointer%5D=9&tx_ttnews%5Bmode%5D=1
- [14] *White-Out*. [online] Server airport-technology.com. Aktualizováno 16. července 2008. Dostupný na <http://www.airport-technology.com/features/feature2097/>

SEZNAM TABULEK

	strana
Tabulka č. 1 – Kategorie přístrojového přiblížení dle norem ICAO	11
Tabulka č. 2 – Porovnání pořízovacích nákladů radionavigačních prostředků (údaje z roku 2000).....	34
Tabulka č. 3 – Porovnání pořizovacích nákladů navigačního vybavení dopravních letounů ..	35
Tabulka č. 4 – Návrh první fáze osnovy praktického výcviku.....	37
Tabulka č. 5 – Návrh druhé fáze osnovy praktického výcviku	37
Tabulka č. 6 – Provozní náklady na letovou hodinu u vybraných typů dopravních letounů ...	38
Tabulka č. 7 – Porovnání nákladu na údržbu a inspekční prohlídky radionavigačních prostředků (údaje z roku 2000).....	40
Tabulka č. 8 – Úspory nákladů po dobu 20 let vzniklé celoplošným zavedením systému LAAS ve Spojených státech.....	45
Tabulka č. 9 – Odhadovaná roční úspora ztrát na letišti Dallas Love Field díky zavedení systému LAAS.....	52

SEZNAM OBRÁZKŮ

	strana
Obr. č. 1 – Úseky přiblížení podle přístrojů	10
Obr. č. 2 – Indikátor horizontální a vertikální odchylky (CDI).....	13
Obr. č. 3 – Krytí kurzového majáku LLZ.....	14
Obr. č. 4 – Schéma pozemní úhloměrné soustavy systému MLS	19
Obr. č. 5 – Blokové schéma referenční stanice DGPS	26
Obr. č. 6 – Jednotlivé prvky referenční stanice LAAS firmy Honeywell	32
Obr. č. 7 – Letoun B737NG vybavený prostředky pro přesné přiblížení kategorie CAT I s využitím GBAS provádí sestup na letiště Sydney	36
Obr. č. 8 – Jednotlivé složky úspory přímých provozních nákladů (varianta bez WAAS).....	45
Obr. č. 9 – Jednotlivé složky úspory vzniklých zkrácením letového času (varianta bez WAAS)	46
Obr. č. 10 – Jednotlivé složky úspory přímých provozních nákladů (varianta s WAAS).....	46
Obr. č. 11 – Jednotlivé složky úspory vzniklých zkrácením letového času (varianta s WAAS)	47
Obr. č. 12 – Schéma dráhového systému letiště Dallas Love Field	51

SEZNAM ZKRATEK

A\$	australský dolar
AFB	Air Force Base - vojenská letecká základna
APV	Approach Precedure with Vertical guidance – přiblížení s vertikálním vedením
AZ	Azimuth transmitter - součást systému MLS
CAT	Category – kategorie přesných přiblížení
CDI	Course Deviation Indicator - křížový ukazatel
CWAAS	Canadian WAAS - kanadská verze systému WAAS
ČSA	České aerolinie, a.s.
DGPS	Differential GPS - diferenční GPS
DME	Distance Measuring Equipment - radionavigační zařízení pro určování šikmé vzdálenosti
DPH	Daň z přidané hodnoty
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
EL	Elevation transmitter - součást systému MLS
EUROCONTROL	organizace integrující orgány řízení letového provozu evropských zemí a zaštiťující projekt jednotného nebe
FAA	Federal Aviation Administration - letecký úřad USA
FANS-1	Future Air Navigation System 1
FAR	Federal Aviation Regulation - federální letecký předpis
FAS	Final Approach Segment – úsek konečného přiblížení
FNPT II	Flight & Navigation Procedures Trainer II
GAGAN	GPS Aided Geo Augmented Navigation
GBAS	Ground-Based Augmentation System - pozemní rozšiřující systém GPS
GLONASS	ruský satelitní navigační systém (obdoba GPS)
GLS	GNSS Landing System - přesný přistávací systém na bázi GNSS
GNSS	Global Navigation Satellite System - globální navigační satelitní systém
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System - systém satelitní navigace

GS	Glideslope - sestupový radiomaják systému ILS
GSM	Global System for Mobile communications
HL	Height Loss - ztráta výšky v přechodovém oblouku během postupu nezdařeného přiblížení
HUD	Head-Up Display - průhledový displej
ICAO	International Civil Aviation Organization - mezinárodní organizace civilního letectví
IFR	Instrument Flight Rules - pravidle létání podle přístrojů
ILS	Instrument Landing System - přístrojový přistávací systém
IM	Inner Marker - vnitřní návěstidlo
INMARSAT	International Maritime Satellite Organization
JAR	Joint Aviation Regulation - společný letecký předpis
JAR-FCL-1	letecký předpis řady JAR upravující letový výcvik posádek letounů
LAAS	Local Area Augmentation System – systém lokálního rozšíření
LLZ	Localizer - kurzový radiomaják systému ILS
MB	Marker Beacon - návětní radiomaják
MLS	Microwave Landing System - mikrovlnný přistávací systém
MM	Middle Marker - střední návěstidlo
MMR	Multi-Mode Receiver – vícerežimový přijímač
MSAS	Multi-functional Satellite Augmentation System
NAVSTAR	Navigation Signal Timing and Ranging
NDB	Non-Directional Beacon - nesměrový radiomaják
NM	námořní míle (1 NM = 1,852 km)
OCH	Obstacle Clearance Height – minimální bezpečná výška nad překážkami
OM	Outer Marker - vnější návěstidlo
PANS-OPS	Procedures for Air Navigation Services – Aircraft Operations
PAR	Precision Approach Radar - přesný přibližovací radiolokátor
RAIM	Receiver Autonomous Integrity Monitoring
RIMS	Ranging and Integrity Monitoring Stations
RTK	RealTime Kinematics - kinematika v reálném čase
SBAS	Satellite-Based Augmentation System - satelitní rozšiřující systém GPS
SNAS	Satellite Navigation Augmentation System

STOL	Short Take-Off and Landing - kategorie letounů schopných vzletu a přistání na zkrácených plochách
SZZ	světelná zabezpečovací zařízení
TACAN	Tactical Air Navigation - vojenský radionavigační prostředek
UKV	ultrakrátké vlny
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USAF	United States Air Force - vzdušné síly Spojených států
USD	americký dolar
VFR	Visual Flight Rules – pravidla létání podle vidu
VHF	Very High Frequency - viz VKV
VKV	velmi krátké vlny
VOR	VHF Omnidirectional Radiobeacon - všesměrový radiomaják
VPD	vzletová a přistávací dráha
VTOL	Vertical Take-Off and Landing - kategorie letounů schopných kolmého vzletu a přistání
WAAS	Wide Area Augmentation System - systém celoplošného rozšíření
WADGPS	Wide Area GPS - celoplošná GPS
WGS 84	World Geodetic System 84 - světový souřadnicový systém z roku 1984