



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
Letecký ústav

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
Institute of aerospace engineering

Přesné přiblížení na přistání GNSS CAT II/III

GNSS PRECISION APPROACH AND LANDING CAT II/III

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. BACH QUOC THANG

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

ING. PAVEL PTÁČEK

BRNO 2013



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Thang Bach Quoc

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

obor: **Letecký provoz (3708T011)**

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

Přesné přiblížení na přistání GNSS CAT II/III

v anglickém jazyce:

GNSS Precision Approach and Landing CAT II/III

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

GNSS představuje hlavní strategický prvek radionavigačního zabezpečení globálního leteckého navigačního prostředí. Pro subjekty civilního letectví je proto vhodné vypracovat studii, která bude hodnotit možnosti GNSS a avioniky pro získání navigační informace k vedení letadla požadované kvality při postupech letu za nízké dohlednosti (LVP - Low Visibility Procedures).

Cíle diplomové práce:

Student vypracuje studii možností vedení letadla při přesném přiblížení s využitím GNSS, jež bude založena na analýze současného technologického vývoje GNSS a palubní avioniky pro civilní letectví. Provede porovnání účinnosti jednotlivých metod s cílem určit alternativy zabezpečení postupu přesného přiblížení do úrovně provozních minim CAT II/III.



Seznam odborné literatury:

- [1] HOFMANN-WELLENHOF, Bernhard – LEGAT, Klaus - WIESER, Manfred. Navigation: Principles of Positioning and Guidance. Wien: Springer Wien New York, 2003. 427 s. ISBN 3-211-00828-4.
- [2] KEVICKÝ, Dušan; KALAŠOVÁ, Alica. Satelitné navigačné systémy. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žilíně, 2004. 197 s. ISBN 80-8070-295-0.
- [3] VOSECKÝ, Slavomír a kol. Základy leteckých navigačních zařízení I. Brno : Vydavatelství Vojenské akademie Antonína Zápotockého, 1988. 396 s.
- [4] HRDINA, Zdeněk; PÁNEK, Petr; VEJRAŽKA, František. Rádiové určování polohy : Družicový systém GPS. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1995. 267 s. Skripta ČVUT. ISBN 80-01-01386-3.
- [5] ICAO. Annex 10/I: Aeronautical Telecommunications: Volume I: Radio Navigation Aids. Montreal: ICAO, November, 2006.
- [6] Advisory Cirkular : Criteria for Approval of Category I and Category II Weather Minima for Approach [online]. Washington (D.C.) : U. S. Department of Transportation : Federal Aviation Administration, August 12, 2002. AC120-29A.
- [7] ICAO. GBAS CAT II/III Development Baseline SARPs and Conceptual Framework for the Proposal for GBAS to Support CAT III Operations [online]. The NSP Working Group meeting, 17 – 28 May, 2010.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Ptáček

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 14.11.2012

L.S.

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

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



ABSTRAKT

Obsahem této práce je přehled přesných přiblížovacích systémů s využitím GNSS a palubní avioniky pro provoz za podmínek nízké dohlednosti. Tato diplomová práce popisuje stávající požadavky a návrhy nových standardů, které jsou důležité k vymezení výkonnosti systému GBAS. Cílem práce je porovnání možných systémů k vedení letadla při přesném přiblížení do CAT II/III. V této práci je dodatečně navrhována provozní implementace systému GBAS.

ABSTRACT

The content of this work is an overview of precision approach used by GNSS and avionics for operation in low visibility conditions. This thesis describes existing requirements and proposals for new standards that are important to define GBAS performance. The objective of this work is to compare the alternative systems to guide aircraft during precision approach CAT II/III. GBAS operational implementation is additionally devised in this thesis.




KLÍČOVÁ SLOVA

GNSS, GBAS, přesné přiblížení, avionika

KEY WORDS

GNSS, GBAS, precision approach, avionics





BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BACH QUOC, T. *Přesné přiblížení na přistání GNSS CAT II/III*.
Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 75 s.
Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Ptáček.





PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně na základě získaných informací z odborné literatury, oficiálních internetových stránek výrobců, leteckých organizací a jiných odborných internetových stránek.

V Brně dne 23. května 2013

.....
Bc. Bach Quoc Thang



Obsah

1. ÚVOD	2
2. GLOBÁLNÍ DRUŽICOVÝ POLOHOVÝ SYSTÉM (GNSS)	4
3. POŽADAVKY NA VÝKONNOST NAVIGAČNÍHO SYSTÉMU	8
3.1 PŘESNOST	8
3.2 INTEGRITA A DOBA DO VÝSTRAHY	10
3.3 KONTINUITA	11
3.4 DOSTUPNOST	13
4. KATEGORIE PŘÍSTÁVACÍCH PROVOZNÍCH MINIM	15
5. CHYBY OVLIVŇUJÍCÍ GNSS	18
6. GNSS ROZŠÍŘENÍ	20
6.1 ROZŠÍŘENÍ ABAS	21
6.2 ROZŠÍŘENÍ SBAS	22
6.3 ROZŠÍŘENÍ GBAS	23
7. MOŽNOSTI VEDENÍ	24
7.1 VEDENÍ SE SYSTÉMEM ABAS	25
7.2 VEDENÍ SE SYSTÉMEM SBAS	25
8. PŘECHOD NA GLS	28
8.1 CHARAKTERISTIKA GBAS	29
9. GBAS STANDARDY	31
9.1 VÝKONNOSTNÍ POŽADAVKY GAST D	34
9.2 SOUČASNÉ ANNEX 10 POŽADAVKY	35
10. POROVNÁNÍ KONCEPCÍ	36
11. PROVOZNÍ VÝKONNOST GAST D	40
11.1 INTEGRITA POZEMNÍHO SYSTÉMU	40
11.2 KONTINUITA SLUŽEB	41



11.3	ZMÍRNĚNÍ IONOSFÉRICKÝCH CHYB	41
11.4	PŘESNOST URČOVÁNÍ VZDÁLENOSTI	45
12.	PROVOZNÍ NÁVRH PRO GAST D	48
13.	PALUBNÍ AVIONIKA	49
13.1	NOVÁ PALUBNÍ KONCEPCE	49
13.2	AVIONIKA GBAS	51
13.3	MMR (MULTI-MODE RECEIVER)	53
13.4	AVIONIKA SBAS	54
14.	ZAVEDENÍ GBAS	55
14.1	SOUČASNÝ VÝVOJ GBAS	55
14.2	INSTALACE POZEMNÍ STANICE GBAS	57
14.3	PROVOZNÍ VÝHODY	58
14.4	REALIZACE GBAS	59
14.5	VYUŽITÍ GBAS CAT I	65
15.	ZÁVĚR	67
16.	SEZNAM ZDROJŮ	69
17.	SEZNAM ZKRATEK	71
18.	SEZNAM OBRÁZKŮ	74
19.	SEZNAM TABULEK	76



1. Úvod

Již v počátcích velkého rozvoje letecké dopravy vznikala potřeba po systémech, které by zajistily přistání na letišti v noci a při zhoršených povětrnostních podmínkách. První snahy, jak tuto problematiku vyřešit bylo realizováno za pomoci světel, které byly nainstalovány na přistávací dráze. Měly však svůj nedostatek a to, že se nedaly použít při nižší viditelnosti. Proto v 1920 začal vývoj speciálního rádiového navigačního systému pro konečnou fázi letu. V roce 1929 byl poprvé představen systém ILS (Instrument Landing System), který je navržen tak, že umožňuje vytvořit vertikální (kursovou) a šikmou (sestupovou) rovinu, která je ideální pro přiblížení na přistání na dané letišti. Tento systém vyžadoval, aby piloti získali vizuální kontakt s dráhou před tím, než provedou přistání. Bod, ve kterém musí pilot získat vizuální kontakt s dráhou nebo s přesným přibližovacím majákem byl definován jako výška rozhodnutí (DH – Decision High). Pokud pilot v DH nezískal vizuální kontakt, musí přerušit přiblížení na přistání a celou fázi přiblížení opakovat. V počátcích vývoje ILS byl schopen poskytnout přiblížení do DH 60 metrů (200 ft). Vývoj autopilota a zvýšení přesnosti pozemních systémů spolu s rozvojem světelných návěstidel napomohlo ke snížení DH. V roce 1964 bylo uskutečněno první automatické přistání a v roce 1972 první přistání pouze za použití přístrojů (tzv. blind landing). Po více než 70 let úspěšné činnosti, během které byla jeho schopnost vylepšena až do bodu, kdy je možné provést přistání řízené pouze pomocí přístrojů a automatické pojíždění po dráze.

V současné době je tento systém pod velkým tlakem, neboť není provozně ekonomicky efektivní a má značná provozní omezení. Jednou z možností je využití systému MLS (Microwave Landing System), který byl na počátku vývoje považován za primární alternativu ILS. MLS dokázal překonat několik provozních omezení ILS, např. využívá odlišné pracovní pásmo, a tak se vyřešil problém se zkreslením signálu, který limituje použití ILS. Roku 1978 byl MLS standardizován, ale kvůli nedostatku závků ze strany letišť a uživatelů vzdušného prostoru se nepodařilo o jeho celosvětové zavedení. Navíc vznikající družicové systémy se staly hlavním zaměřením v leteckém průmyslu, a tak zájem o MLS ubýval. V důsledku toho je na letišti Heathrow v Londýně instalován MLS, který je schopný poskytnout vedení na přistání až do kategorie CAT III, avšak další implementace MLS není plánována. Na počátku roku 1990 byla označena další alternativa za ILS, tou je globální družicový polohový systém



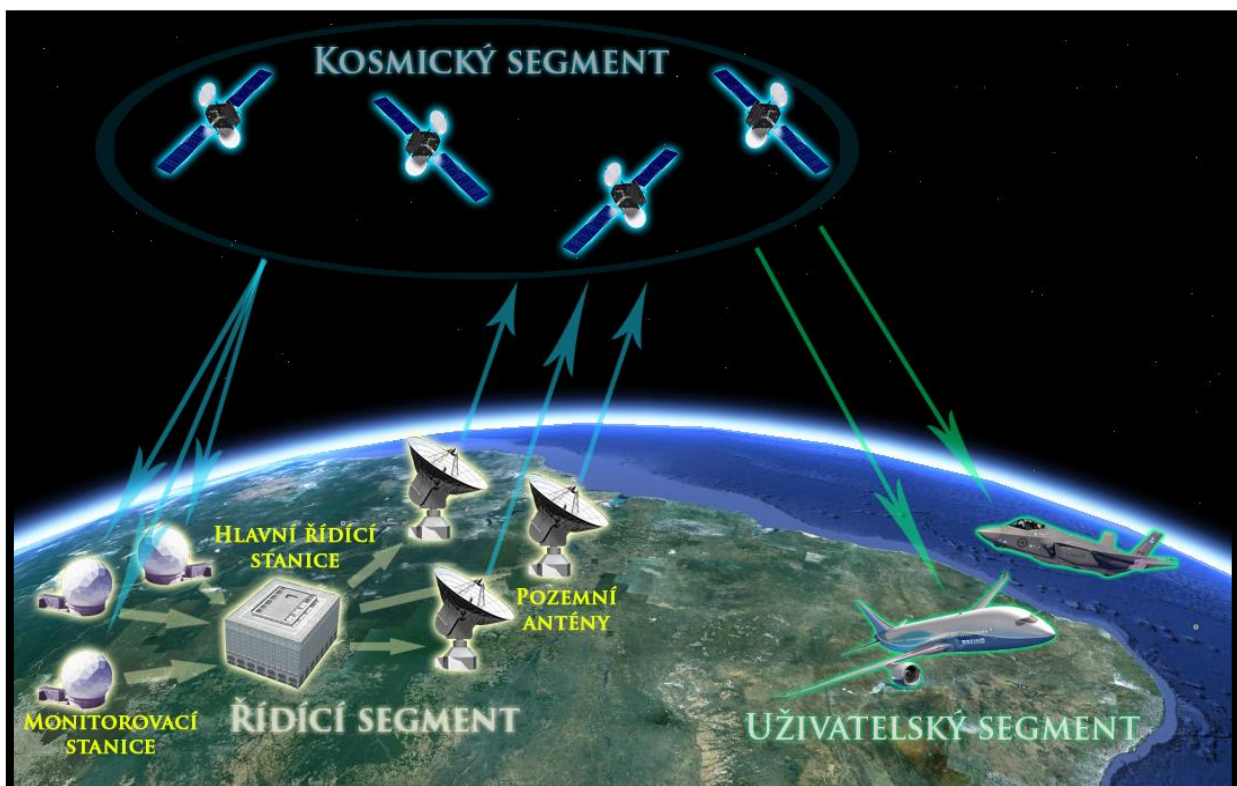
s pozemním rozšířením GBAS (Ground Based Augmentation System). Přechod na GBAS je však ještě ve fázi vývoje a testování.

2. Globální družicový polohový systém (GNSS)

Představuje budoucí primární technologii CNS (Communication Navigation Surveillance). Jejími hlavními vlastnostmi jsou nepřetržitá činnost, celosvětová působnost, vysoká pohotovost a přesnost měření, které překonávají možnosti všech současných technologií CNS. Avšak pro svou nedostatečnou úroveň integrity je nelze akceptovat jako spolehlivé zdroje navigačních informací. Je jen otázkou času, kdy tyto technologie postupně nahradí všechny dosud využívané navigační systémy. [1]

GNSS se skládá ze tří základních segmentů:

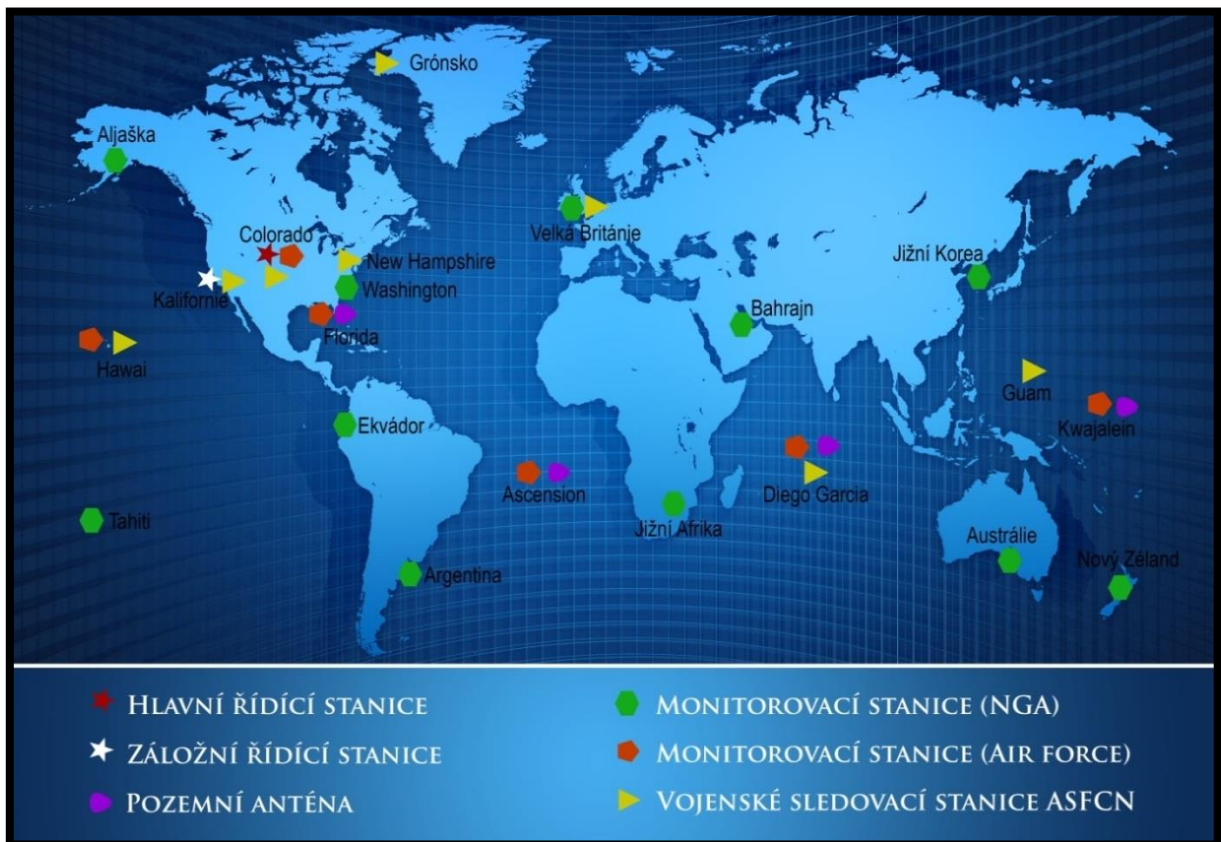
- řídicí segment,
- kosmický segment,
- uživatelský segment.



Obrázek 1- Základní segmenty GNSS

Jelikož je v současnosti systém GPS nejrozšířenější a provozně nejspolehlivější, budou tyto tři základní segmenty GNSS popsány z hlediska GPS.

Řídicí segment je tvořen z celosvětové sítě pozemních zařízení, která se skládají z jedné řídicí stanice, jedné záložní řídicí stanice, dvanácti pozemních antén, šestnácti monitorovacích stanic a potřebných výpočetních a komunikačních zařízení. Tato celosvětová síť umožňuje uskutečnit denně tři spojení s každou družicí, avšak v praxi se provádí navazování s družicí jednou denně. Rozmístění jednotlivých zařízení a stanic je zobrazeno na obrázku níže (Obrázek 2). Cílem řídicího segmentu je sledovat a ovládat prvky kosmického segmentu, dále kontrolovat a opravovat obsah navigačních informací. [1] [20] [22] [34]



Obrázek 2 - Rozmístění stanic GPS

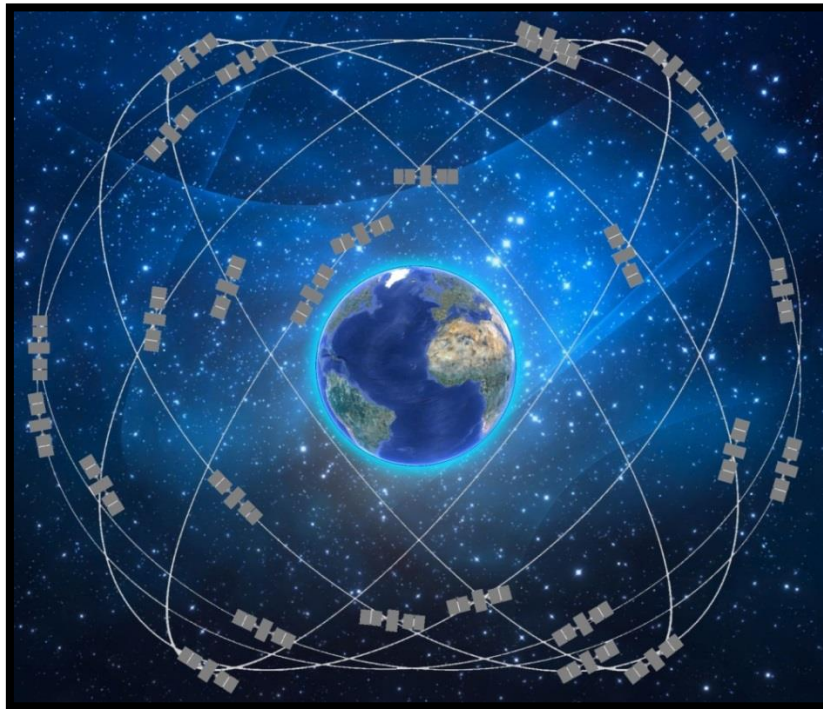
Hlavní řídicí stanice se nachází v USA v Coloradu Springs. Přijímá navigační informace z monitorovacích stanic a tyto informace dále využívá k výpočtu přesného umístění družic ve vesmíru. Tyto opravená navigační data jsou prostřednictvím hlavní řídicí stanice odeslána družicím na oběžné dráze Země. Hlavní řídicí stanice nesleduje pouze navigační zprávy, ale také integritu systému, díky které je možné vyhodnotit technický stav družic. V případě selhání družice, lze pomocí této řídicí stanice přemístit satelity tak, aby byla dodržena optimální satelitní konstelace.

Monitorovací stanice sledují satelity, které se pohybují v jejich poli působnosti, a získaná navigační data poskytuje zpět na hlavní řídicí stanici. Tato stanice také shromažďuje atmosférická data, rozsah nosné vlny L1 a navigační signály. Po celém světě jsou rozmístěné jednotlivé monitorovací stanice tak, aby se vytvořila síť schopná určovat efemeridy a modelování chodu družicových hodin. V současnosti je k dispozici šestnáct monitorovacích stanic rozmístěných po celém světě, z toho deset provozované agenturou NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) a šest vojenskými vzdušnými silami (Air Force).

Pozemní antény slouží pro spojení se satelity pro řídicí a kontrolní účely. Tyto antény podporují S-band komunikaci, takže je možné odesílat navigační data a údaje pro činnost družice, a shromažďování telemetrických údajů. Síť pozemních antén je tvořena čtyřmi anténami, které jsou umístěné spolu s monitorovacími stanicemi na Kwajalein Atoll, Ascension, Diego Garcia a Cape Canaveral ve Floridě. Kromě nich ještě osmi anténami, které jsou připojené k vojenským sledovacím stanicím AFSCN (Air Force Satellite Control Network). [1] [20] [22] [34]

Kosmický segment je vybudován na šesti oběžných drahách (tzv. orbity) s velmi malou excentricitou a hodnota inklinace (sklon k rovině rovníku) je 55° . Střední vzdálenost orbit od povrchu Země je přibližně 20 180 km. Každá družice obíhá Zemi dvakrát denně, protože doba oběhu jedné družice na orbitě je zhruba 12 hodin. Družicová konstelace musí zajistit dostupnost nejméně 24 družic v 95 % času. Za posledních několika let se počet družic neustále měnil, neboť docházelo k nahrazování starých družic družicemi nové generace. V současné době tvoří kosmický segment 31 družic a 3 – 4 záložní družice, která jsou vyřazena z provozu, ale v případě potřeby je lze okamžitě použít. Družice jsou uspořádány do šesti rovnoměrně rozložených oběžných drahách kolem Země (*Obrázek 3*), a na každém z nich

jsou čtyři sloty obsazené družicemi. Toto 24 slotové uspořádání zajišťuje, že je možné přijmout signál alespoň ze čtyř družic z jakéhokoliv místa na Zemi. V červnu 2011 bylo úspěšně dokončeno rozšíření souhvězdí GPS, konkrétně tři z 24 slotů bylo rozšířeno a šest satelitů bylo pře-sunuto. Výsledkem je, že GPS nyní účinně funguje na 27 slotovém uspořádání, což zajišťuje zlepšené pokrytí na většině částí světa. [1] [20] [22] [34]



Obrázek 3 - Družicová konstelace GPS



Obrázek 4 - Uživatelský segment

Uživatelský segment lze jednoduše charakterizovat jako sériové zapojení čtyř prvků: antény, přijímače signálu, navigačním počítačem a displejem (Obrázek 4). Poslední dva jmenované prvky je možné vynechat, pokud je uživatel nepotřebuje (např. pokud jsou

výsledky měření GNSS aplikovány přímo do jiných procesů). Důležité pro uživatele je znát identifikační kód družice, neboť slouží nejen pro identifikaci družice, ale i pro měření. Uživatelský přijímač vyhledává, rozeznává a dekoduje signály jednotlivých družic. Dále musí identifikovat polohu družice a měří zdánlivou vzdálenost (pseudovzdálenost) mezi uživatelem a družicí. Mimo to měří také přesný čas a určuje okamžitou polohu uživatele. V současné době nejsou GPS přijímače jen záležitostí letectví, ale můžeme je najít i jiných odvětví, např. v zemědělství, stavebnictví, geodézii, hornictví, logistice, ale i v komunikačních sítích, bankovních systémech, finančních trzích i energetických sítí (jsou silně závislé na GPS pro jejich přesnou časovou synchronizaci). GPS přijímače také zachraňují lidské životy, tím, že brání dopravním nehodám, pomáhají při pátracích a záchranných akcích, a pomáhají urychlovat poskytování služeb při tísňových voláních a katastrof. Je možné je také využít při předpovídání počasí, monitorování zemětřesení a ochrany životního prostředí. [1] [20] [22] [34]

3. Požadavky na výkonnost navigačního systému

Výkonnostní požadavky na GNSS jsou odvozeny ze schopností a požadavků na výkonnost jednotlivých letadel a systémů, které zahrnují šíření signálu v prostoru a letištní zařízení. Avšak v případě GNSS jsou určité požadavky na charakteristiky signálu v prostoru striktnější, jelikož u systému GNSS dochází k degradaci mající vliv na více letadel. Výchozí nároky pro stanovení požadavků na výkonnost GNSS jsou stanoveny v Příručce pro navigaci založenou na výkonnost DOC 9613 – PBN (Performance-based Navigation) Manul. Mezi základní výkonnostní požadavky jsou řazeny přesnost, integrita a doba do výstrahy, kontinuita a dostupnost. [2]

3.1 Přesnost

Přesnost určení polohy je definována jako rozdíl mezi skutečnou a vypočítanou polohou letadla. V ANNEX 10 je tento rozdíl popsán jako chyba, která nesmí překročit meze požadavků na přesnost. Chyba GNSS se oproti stacionárním, pozemním systémům (VOR, ILS) mění v čase. VOR a ILS mají reprodukovatelné chybové charakteristiky, a proto lze

výkonnost měřit v krátké době a za předpokladu, že přesnost systému zůstává po měření stejná. Proměnlivost chyb v čase je způsobena oběhem družic a chybovými charakteristikami GNSS. Z toho vyplývá, že přesnost je závislá na geometrii družic. Jelikož není možné průběžně měřit přesnost systému, požaduje se zvýšená důvěra k analýzám a charakteristikám chyb. Chyby se mohou vlivem filtrování v systémech rozšíření a v přijímačích uživatelů měnit v čase pomalu. Tak získáváme výsledek, který je složen z několika nezávislých vzorků v časovém intervalu několika minut, velmi podstatný pro úsek přesného přiblížení. Tento výsledek by znamenal 5% pravděpodobnost, že chyba polohy přesáhne požadovanou přesnost pro celé přiblížení. Požadavek přesnosti GNSS (95%) je dodržen pro nejhorší možný případ geometrie družic, kdy je systém stále ještě využitelný.

V následující tabulce (*Tabulka 1*) jsou definované minimální požadavky na přesnost pro 95% vzorků. Geometrie obíhajících družic způsobuje variabilitu v přesnosti systému, proto jsou uvedené hodnoty v tabulce vyjádřeny pro nejhorší případ geometrie družic. [2]

Fáze letu	Horizontální přesnost 95%	Vertikální přesnost 95%
Let po trati	3,7 km (2 NM)	nepoužito
Let po trati, konečná fáze	0,74 km (0,4 NM)	nepoužito
Počáteční přiblížení, stř. přiblížení, nepřesné přístr. přiblížení (NPA), odlety	220 m (720 ft)	nepoužito
Přístrojové přiblížení s vertikálním vedením (APV-I)	16 m (52 ft)	20 m (66 ft)
Přístrojové přiblížení s vertikálním vedením (APV-II)	16 m (52 ft)	8 m (26 ft)
Přesné přiblížení CAT I	16 m (52 ft)	4 až 6 m (13 až 20 ft)

Tabulka 1- Min. požadavky na přesnost

Požadavky přesnosti jsou uváženy s nominální výkonností bezporuchového přijímače, tj. přijímač, jehož závady neovlivňují integritu, kontinuitu a průchodnost. Standardy o způsobilosti přijímače požadují, aby základní přijímače GNSS byly schopny určovat polohu uživatele v přítomnosti interference a modelové selektivní dostupnosti (SA) s přesností méně než 100 m (95% času) v horizontální rovině a méně než 156 m (95% času) ve vertikální

rovině. Tyto standardy nevyžadují ionosférickou korekci v základních přijímačích GNSS. U přesného přiblížení pro CAT I je vymezen rozsah hodnot vertikální přesnosti, kterým lze zajistit i provoz ILS. Jednotlivé hodnoty jsou totiž odvozeny ze standardů ILS, a proto nejnižší hodnota z těchto standardů se stala ekvivalentem i pro GNSS jako minimální hodnota pro rozsah. Jelikož jsou charakteristiky chyb ILS odlišné od GNSS, lze použít vyšších hodnot přesnosti, které by mohli zajistit větší dostupnost pro provoz. Na základě ověření v provozu byla stanovena maximální hodnota v rozsahu. [2]

3.2 Integrita a doba do výstrahy

Integrita je míra důvěry v správnosti informací získaných z celého systému GNSS. Vyjadřuje také schopnost systému včas upozornit uživatele v situacích, kdy nelze systém využít pro určitou činnost nebo fázi letu. Přijatelná chyba polohy je zajištěna tak, že limit výstrahy představuje maximální chybu polohy, při které je provoz brán ještě za bezpečný.

Při traťovém letu, konečném přiblížení, počátečním přiblížení, nepřesné přiblížení a odletu je požadavek na integritu navigačního systému $1 - 10^{-5}$ za hodinu pro jedno letadlo. U družicových navigačních systémů jsou požadavky na integritu přísnější než u klasických navigačních prostředků. Je to dáno tím, že GNSS poskytují signály v prostoru pro velký počet letadel ve stejném čase nad rozsáhlou oblastí, a proto porucha by způsobila větší dopad selhání integrity systému na řízení provozu než ostatní nedružicové navigační systémy (viz. *Tabulka 2*). [2]

Fáze letu	Integrita	Doba do výstrahy
Let po trati	$1 - 10^{-7}$ /hod	5 min
Let po trati, konečná fáze	$1 - 10^{-7}$ /hod	15 sec
Počáteční přiblížení, stř. přiblížení, nepřesné přístr. přiblížení (NPA), odlety	$1 - 10^{-7}$ /hod	10 sec
Přístrojové přiblížení s vertikálním vedením (APV-I)	$1 - 2 \times 10^{-7}$ na každé přiblížení	10 sec
Přístrojové přiblížení s vertikálním vedením (APV-II)	$1 - 2 \times 10^{-7}$ na každé přiblížení	6 sec
Přesné přiblížení CAT I	$1 - 2 \times 10^{-7}$ na každé přiblížení	6 sec

Tabulka 2- Min. požadavky na integritu a dobu do výstrahy

Doba do výstrahy zahrnuje nominální výkonnost bezporuchového přijímače, tj. přijímač, který svými poruchami neovlivňuje integritu, kontinuitu a průchodnost. Požadavky na integritu GNSS signálu v prostoru pro APV-I, APV-II a přesného přiblížení CAT I se shodují s požadavky na integritu ILS. Pokud byla vykonána analýza bezpečnosti systému (s ohledem na bezpečnou výšku nad překážkami, riziko srážky a nebezpečného přistání z důvodu navigační chyby, charakteristik systému a provozního prostředí) pro přesné přiblížení CAT I, je možné použít limit vertikální výstrahy (VAL) větší než 10 m až do hodnoty 35 m. Hodnoty limitů horizontální a vertikální výstrahy pro ostatní fáze letu jsou uvedené v tabulce níže (*Tabulka 3*). [2]

Fáze letu	Limit horizontální výstrahy	Limit vertikální výstrahy
Let po trati (oceánská/kontine. s nízkou hustotou)	7,4 km (4 NM)	Nepoužito
Let po trati (kontinentální)	3,7 km (2 NM)	Nepoužito
Let po trati, konečná fáze	1,85 km (1 NM)	Nepoužito
Nepřesné přístrojové přiblížení (NPA)	556 m (0,3 NM)	Nepoužito
Přístrojové přiblížení s vertikálním vedením (APV-I)	40 m (130 ft)	50 m (164 ft)
Přístrojové přiblížení s vertikálním vedením (APV-II)	40 m (130 ft)	20 m (66 ft)
Přesné přiblížení CAT I	40 m (130 ft)	10 m až 35 m (33 až 115 ft)

Tabulka 3- Limity výstrahy

3.3 Kontinuita

Kontinuita systému je definovaná jako schopnost navigačního systému plnit svou funkci bez neplánovaných přerušení během provozu. Ve fázi letu po trati, přiblížení a přistání představuje kontinuita systému schopnost systému poskytovat navigační data s danou přesností a integritou za předpokladu, že byl použitelný při zahájení letu. Selhání kontinuity navigačního systému během provozu může být způsobeno poruchami nebo nízkou bezporuchovou výkonností. Požadavek kontinuity systému pro jedno letadlo je $1 - 10^{-4}$ /hod. Jelikož je signál GNSS v prostotu poskytována většímu počtu letadel nad rozsáhlou oblastí,

představují požadavky na kontinuitu systému také požadavky na spolehlivost pro GNSS signál v prostoru. Rozsah hodnot požadavků kontinuity signálu v prostoru pro jednotlivé fáze letu jsou uvedené v tabulce níže (*Tabulka 4*). Pro přiblížení a přistání jsou požadavky na kontinuitu rozděleny mezi letadlový přijímač a neletadlové prvky systému. V těchto fází letu není zapotřebí zvyšovat požadavky na kontinuitu, jelikož každé letadlo je považováno za nezávislé. V některých případech je však zvýšení hodnot kontinuity nezbytné, např. při použití jednoho systému pro přiblížení, umístěný mezi dvěma drahami. [2]

Fáze letu	Kontinuita
Let po trati	$1 - 10^{-4}$ /hod až $1 - 10^{-8}$ /hod
Let po trati, konečná fáze	$1 - 10^{-4}$ /hod až $1 - 10^{-8}$ /hod
Počáteční přiblížení, stř. přiblížení, nepřesné přístr. přiblížení (NPA), odlety	$1 - 10^{-4}$ /hod až $1 - 10^{-8}$ /hod
Přístrojové přiblížení s vertikálním vedením (APV-I)	$1 - 8 \times 10^{-6}$ na 15 sec
Přístrojové přiblížení s vertikálním vedením (APV-II)	$1 - 8 \times 10^{-6}$ na 15 sec
Přesné přiblížení CAT I	$1 - 8 \times 10^{-6}$ na 15 sec

Tabulka 4- Min. požadavky na kontinuitu

Rozsah hodnot ($1 - 10^{-4}$ /hod až $1 - 10^{-8}$ /hod) je vymezena závislostmi na několika faktorech jako jsou hustota provozu, složitost vzdušného prostoru a použitelnost jiných navigačních systémů. Minimální hodnota kontinuity odpovídá oblastem s nízkou hustotou provozu a složitostí vzdušného prostoru, kde by selháním navigačního systému bylo zasaženo malý počet letadel, proto je dostačující dodržet základní požadavek na kontinuitu systému. Maximální hodnota kontinuity je stanovena pro oblasti s vysokou hustotou provozu a složitostí vzdušného prostoru. Selhání navigačního systému v takovémto prostoru ovlivní velký počet letadel, proto je tato hodnota dostatečně vysoká, aby se zajistila nízká pravděpodobnost selhání systému. Pro přiblížení APV a CAT I je uvedena hodnota, která platí pro průměrné riziko ztráty signálu v prostoru na dobu 15 sekund. Není povoleno využívat navigační

prostředky GNSS v oblastech, kde je vysoké průměrné riziko ztráty služby než povolují SARP. [2]

3.4 Dostupnost

Dostupnost GNSS určuje podíl času, během kterého jsou posádce, autopilotu nebo jiným systémům řídícím let poskytovány spolehlivé navigační data, tedy je zajištěna požadovaná přesnost, integrita a kontinuita. V oblastech, kde je dostupnost GNSS nízká, lze omezit provozní dobu služby navigace na dobu, kdy se předpokládá jeho dostupnost. Toto omezení je možné pouze u GNSS, protože ztráta dostupnosti je způsobena opakovatelnou chybou geometrie družic. Zůstává zde pouze riziko selhání systémových komponentů v době mezi předpovědí a provedením činnosti.

Dostupnost při letu po trati je ovlivněna následujícími faktory:

- hustota provozu,
- alternativní navigační prostředky,
- primární/sekundární pokrytí prostředky pro sledování,
- letový provoz a procedury pilota,
- doba výpadků.

Z důvodu velkého množství činitelů, se kterými je třeba uvažovat, je specifikován pro GNSS rozsah hodnot dostupností. Tento rozsah hodnot zajišťuje základní podmínky pro využití GNSS ve vzdušném prostoru s různými úrovněmi provozu a složitostí. Nejnižší hodnota představuje dostatečné zajištění základních prostředků navigace v jednoduchém vzdušném prostoru s nízkou hustotou provozu.

Dostupnost při přiblížení by měly být uvažovány s následujícími vlivy:

- hustota provozu,
- procedury pro uspořádání a řízení přiblížení na náhradní letiště,
- navigační zařízení použité pro náhradní letiště,
- letový provoz a pilotní procedury,
- doba výpadků,

- geografický rozsah výpadků.

Vyskytnou-li se výpadky GNSS, které by zasáhli více přibližovacích letadel, systém poskytující službu přiblížení by měl být obnoven bez jakéhokoliv zdržení způsobený obíháním družic. Dostupnost GNSS je oproti pozemním navigačním systémům ztěžována pohybem družic vzhledem k oblasti pokrytí a dlouhé době k opravení družice v případě poruchy. Dostupnost GNSS by se měla stanovovat z konstrukce, analýz a modelování s uvážením ionosférické chyby, troposférické chyby a chyby přijímače. Konstrukční dostupnost pro dané fáze letu jsou uvedené v tabulce níže (*Tabulka 5*). [2]

Fáze letu	Dostupnost
Let po trati	0,99 až 0,99999
Let po trati, konečná fáze	0,99 až 0,99999
Počáteční přiblížení, stř. přiblížení, nepřesné přístr. přiblížení (NPA), odlety	0,99 až 0,99999
Přístrojové přiblížení s vertikálním vedením (APV-I)	0,99 až 0,99999
Přístrojové přiblížení s vertikálním vedením (APV-II)	0,99 až 0,99999
Přesné přiblížení CAT I	0,99 až 0,99999

Tabulka 5- Rozsah dostupnosti

Rozsah hodnot dostupností je odvozena z provozních potřeb závislých na frekvenci činností, převažující počasí, rozsáhlost a hustotu výpadků, dostupnost jiných navigačních prostředků, radarové pokrytí, hustotu provozu a reverzních provozních postupů. Nejnižší hodnota je určena jako minimum pro systémy, které jsou považovány za použitelné, ale ne jako náhrada za jiný nedružicový navigační systém. Vyšší hodnoty jsou vhodné pro oblasti, kde je traťová navigace prováděna pouze za pomoci GNSS, nebo pro přiblížení a odlety na resp. z letiště s rozsáhlým provozem. [2]

4. Kategorie přistávacích provozních minim

Mezi nejsložitější navigační úlohy patří etapa přiblížení s následným přistáním a navíc za ztížených povětrnostních podmínek ve dne i v noci a při ztrátě vizuálního kontaktu celou fází ještě více ztěžuje. Hlavním faktorem rozhodující o provedení přiblížení na přistání je viditelnost přírodního horizontu, který výrazně ovlivňuje vnímání a způsob operační činnosti pilota, tím pádem celý proces řízení letadla. Úspěšnost vykonání procesu řízení letadla je závislá na povětrnostních podmínkách. Ty se dělí na Visual Meteorological Conditions (VMC) a Instrument Meteorological Conditions (IMC). VMC neboli normální povětrnostní podmínky jsou takové, při kterých je pilot schopný provést vzlet a přistání v bezpečné výšce za viditelnosti povrchu Země. IMC také jako ztížené povětrnostní podmínky jsou takové, při nichž je let proveden bez viditelnosti země, za snížené dohlednosti a nízké oblačnosti, tzn., že pilot musí letadlo řídit částečně nebo úplně podle přístrojů. Pro bezpečný let za IMC jsou stanovené povětrnostní podmínky pro typ letadla, letiště i pilota. Povětrnostní minima jsou odvozena z minimální přípustné výšky základny nízké oblačnosti, dráhové dohlednosti RVR (Runway Visibility Range) nebo přistávací (šikmé) dohlednosti SVR (Slant Visibility Range), za nichž je zabezpečen bezpečný vzlet a přistání.

Provozní minima letiště jsou určena s uvážením následujících omezení: výškou rozhodnutí DH (Decision High), dráhovou dohledností a povětrnostním minimem pilota (tj. přípustná výška základny nízké oblačnosti a dráhové dohlednosti, za nichž je pilot schopen vykonat vzlet a přistání). Minimální hodnoty výšky rozhodnutí a dráhové dohlednosti jsou stanoveny tak, aby se zajistila možnost provedení druhého okruhu pro opakované přiblížení na přistání, jestliže pilot nemá vizuální kontakt s RWY a výškové odchylky letadla od sestupové roviny jsou větší než jejich povolené hodnoty. Jednotlivé kategorie provozních minim jsou složeny z parametrů výšky rozhodnutí a dráhové dohlednosti. ICAO tyto parametry v ANNEX 6 stanovila a rozdělila do tří kategorií letů s přesným přístrojovým přiblížením a přistáním (viz. *Tabulka 6*). [6]

Kategorie	Výška rozhodnutí DH	Dráhová dohlednost RVR
CAT I	≥ 60 m	≥ 550 m
CAT II	$60 \text{ m} > \text{DH} \geq 30$ m	≥ 300 m
CAT III A	< 30 m nebo bez DH	≥ 175 m
CAT III B	< 15 m nebo bez DH	$175 > \text{RVR} \geq 50$ m
CAT III C	bez DH	bez RVR

Tabulka 6 - Hodnoty přistávacích provozních minim

CAT I – Navigační přibližovací systémy musí být schopny zajistit bezpečné klesání letadla do výšky nejméně 60 m (200ft) při dráhové dohlednosti nejméně 550 m nebo dohlednosti minimálně 800 m. Pravděpodobnost úspěšného přiblížení na přistání je definována jako pravděpodobnost výskytu letecké nehody a v této kategorii nesmí překročit hodnotu 10^{-6} .

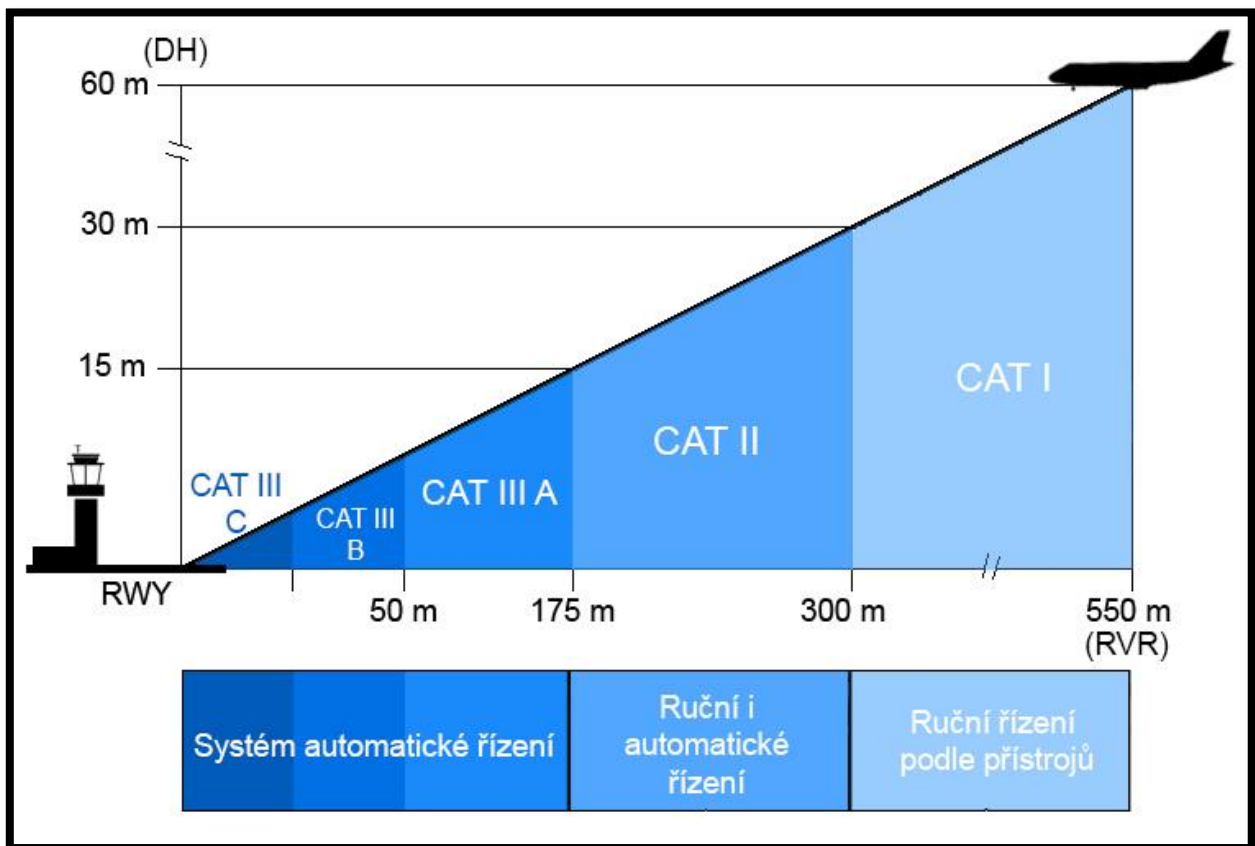
CAT II – Pro přiblížení na přistání musejí navigační systémy zabezpečit klesání letadla do výšky menší než 60 m (200 ft), ale nejméně 30 m (100 ft). Při minimální hodnotě dráhové dohlednosti 300 m. Pravděpodobnost výskytu letecké nehody pro tuto kategorii je stanovena na 10^{-7} , která se nesmí během provozu překročit.

CAT III – Tato nejvyšší kategorie je určena pro provoz takových letadel, které jsou vybaveny palubními systémy pro automatické přistání na letišti. Jelikož nelze zajistit stejnou úroveň a spolehlivost vybavení jednotlivých letadel a letišť, byla Mezinárodní organizací pro civilní letectví (ICAO) dále rozdělena do tři podkategorie:

CAT III A – V této kategorii se musí zajistit klesání letadla do výšky rozhodnutí pod 30 m (100 ft) a do hodnoty minimálně nebo rovnající se 15 m (50 ft), není-li tato výška rozhodnutí stanovena, pak platí do nulové výšky rozhodnutí. Dráhová dohlednost pro přistání musí být minimálně 175 m.

CAT III B – Tato kategorie má stanovenou výšku rozhodnutí, do které může pilot s letadlem klesnout je menší než 15 m (50 ft). Pokud výška rozhodnutí není stanovena, pak bez výšky rozhodnutí. Následné automatické přistání musí být provedeno za podmínky dráhové dohlednosti menší než 175 m, ale nejméně 50 m.

CAT III C – Jedná se o přesné přiblížení a přistání bez omezení výšky rozhodnutí a dráhové dohlednosti. Přistávací systémy musí v této kategorii zajistit automatické přiblížení letadla na přistání s klesáním až do bodu dosednutí letadla na RWY a vedení letadla po RWY a pojezděcích drahách. [3] [6]



Obrázek 5 - Kategorie letů s přesným přiblížením a přistáním

V situacích, kdy dráhová dohlednost a výška rozhodnutí nelze zařadit do jedné kategorie, musí se přesné přiblížení a přistání provést podle kritérií kategorie se striktnějšími požadavky (např. spadá-li výška rozhodnutí do rozmezí CAT III A, ale dráhová dohlednost splňuje požadavky CAT III B, musí být provoz uskutečněn v souladu CAT III B). Ve skutečném provozu se ukázalo, že stanovené kategorie provozních minim dle ICAO se staly jen vodítkem pro definování provozní způsobilosti přistávacích systémů. Jednotlivé letecké úřady navíc vydávají pro automatické přistání doplňující podmínky. V CAT III je podmínkou zahájit druhý okruh pro opakované přiblížení na přistání, v případě výskytu poruch

v některé záložních částí palubního systému pro automatické přistání nebo důležitého pozemního zařízení. K dodržení vysokých požadavků na bezpečnost je předepsána minimální dráhová dohlednost 50 m, při které musí být zajištěn vizuální kontakt pilota s dráhovými návěstidly a to nejen při přistání, ale i během pojezdu i pojíždění na odbavovací plochu. Ze stanovených parametrů a podmínek v CAT III vyplývá, že automatické přistávací systémy musí být vysoce spolehlivé a odolné vůči poruchám. [6]

5. Chyby ovlivňující GNSS

Chyba efemerid

Vlivem Slunce, Měsíce, planet a slunečního záření dochází k odchýlení polohy družic na orbitech od stanovených hodnot. Toto odchýlení se nazývá perturbace. Z tohoto důvodu jsou efemeridy družic kontrolovány každých 12 hodin a podle hodnoty odchýlení se v navigační zprávě upravují. Běžná hodnota chyby efemerid je 2,5 m. [22]

Chyba času

Čas udávaný družicí je kontrolován každých 12 hodin a do navigační zprávy se zapisují veškeré provedené změny času. Obvyklá hodnota chyby je 1,5 m. [22]

Chyba vlivem ionosféry

Vliv ionosféry je výrazná, zpomaluje rychlost šíření a mění směr šíření elektromagnetických vln v prostoru. Proto je nezbytné nepřetržitě sledovat stav ionosféry a upravovat navigační zprávu každých 12 hodin. Jedná se o nejvýznamnější chybu GNSS, která způsobuje chybu 5 m i více. [22]

Chyba vlivem troposféry

Způsobena změnou atmosférických podmínek v troposféře (tlak, teplota, hustota a vlhkost vzduchu). Tyto změny ovlivňují rychlost šíření elektromagnetických vln v prostoru. Průměrná hodnota chyby je 0,5 m. [22]

Chyba vlivem šumů přijímače

Šumy obvodů přijímače mají za následek chybného měření času o hodnotě okolo 0,3 m. [22]

Chyba vlivem vícecestného šíření (Multipath)

Signály vysílané družicí přicházejí k přijímači uživatele několika možnostmi: přímou cestou, odrazy od povrchu Země a předmětů v blízkosti přijímače. Tento negativní vliv lze omezit volbou umístění přijímače, konstrukcí antény přijímače a vhodným způsobem zpracování signálů. Obvyklá hodnota chyby je 0,6 m. [22]

Chyba vlivem geometrie rozmístění družic

Geometrii orbit lze snížit vhodným rozmístěním družic na orbitech a volbou těch družic, které uživatel právě sleduje. Nejideálnějším rozmístěním družic na orbitech je jedna družice nad uživatelem a zbylé tři v blízkosti horizontu s odstupem 120° . K určení vlivů geometrie rozmístění družic na přijímač v okamžiku měření se používá několik ukazatelů DOP (Dilution of Precision). Jejich minimální vliv je tehdy, kdy hodnota ukazatele je rovna jedné. [22]

Ukazatel DOP se dělí na:

- HDOP (Horizontal DOP) – chyba v horizontálním směru
- VDOP (Vertical DOP) – chyba ve vertikálním směru
- GDOP (Geometric DOP) – chyba způsobena geometrií
- PDOP (Position DOP) – chyba v prostorové poloze
- TDOP (Time DOP) – chyba v měření času

Chyba vlivem manévru letadla

Při manévru letadla dochází k zastínění antény přijímače vzhledem k družici trupem letadla, které může způsobit výpadky v měření a následnou chybnou signalizaci navigačních dat. Tento vliv se dá omezit instalováním více antén na letadlo (paralelně), vhodným umístěním antény, přijímání navigačních dat během manévru blokovat, nebo nesprávné výsledky během manévru tolerovat. [22]

Vliv refrakce v atmosféře

Jak už bylo výše zmíněno o ionosféře jako o nejvýznamnějším faktoru ovlivňující přesnost měření družic, tak si v této části zaměříme na vznik tohoto vlivu. Představíme si model, ve kterém elektromagnetické vlny dopadají na ionizovanou oblast obsahující elektrony a kladné ionty. Tyto kladné ionty jsou vzhledem ke své mnohem větší hmotnosti méně pohyblivé než elektrony. Elektromagnetická vlna vyvolá sílu působící na kladné ionizované částice, které uvedou elektrony do pohybu. Některé pohybující se elektrony se srážejí s molekulami plynů, tím se část energie elektronů přenáší na těžší molekuly. Zbývající kinetická energie je uvolněna opětovným vyzářením elektromagnetické vlny, nyní však narušené. Tak je část energie pronikající elektromagnetické vlny absorbována a zároveň dochází ke změně směru šíření dopadající vlny.

Pokud bychom vysílali z družice signály o dvou nebo více kmitočtech, byly bychom schopny určit hodnotu indexu lomu odpovídající v daném okamžiku měření polohy uživatele. Tím bychom mohli výsledek měření polohy opravit o hodnotu refrakce. Index lomu udává poměr rychlosti šíření vlny ve vakuu k rychlosti vlny v existujícím prostředí. Skutečná rychlost šíření vlny v prostoru je značně odlišná od rychlosti světla a mění se v různých oblastech podél dráhy mezi družicí a uživatelem. [6]

6. GNSS rozšíření

V současné době je pouze jeden družicový navigační systém, který je v plném provozu, a to americký GPS. V částečném provozu je zatím ruský GLONAS, který momentálně funguje v konstelaci 29 družic (k dubnu 2013 je 24 družic v provozu, 3 družice jako záložní, jeden ve stavu opravy a jeden ve fázi testování). Ostatní systémy jako Galileo, EGNOS (oba Evropa), Compass (Čína), GAGAN (Indie), MSAS (Japonsko) a CWAAS (Kanada) jsou stále ještě ve stádiu vývoje. Přestože je dnes GPS v úplném provozuschopném stavu, není přijat jako hlavní navigační systém. Důvodem je, že se uživatel nemůže s jistotou spolehnout na správnost navigačních údajů. Tuto nedůvěru k systému lze eliminovat několika způsoby. Jednou z nich spočívá v ověřování spolehlivosti jednotlivých segmentů. Řídící a kosmický segment se ověřuje pomocí metody SBAS a uživatelský segment pomocí metody ABAS. Spolehlivost

systému je možné ještě ověřovat přes dodatečná pozemní zařízení, neboli rozšíření GBAS. [1]
[33]

6.1 Rozšíření ABAS

ABAS (Aircraft Based Augmentation System) je systém palubního rozšíření, který umožňuje rozšířit a integrovat (nebo obojí) informace přijaté z GNSS prvků s informacemi dostupnými na palubě letadla. ABAS přispívá k podpoře dostupnosti a spojitosti pro řešení polohy pomocí informací získaných z alternativních zdrojů (např.: externí hodiny, barometrický výškoměr, inerciální navigační systém,...). Poskytuje především monitorování integrity určení polohy, které zahrnuje dvě funkce: detekce chyby FD (Fault Detection) a vyloučení chyby FDE (Fault Detection & Exclusion). FD zjišťuje chybu v určování polohy a následně po detekci chyby se určí a vyloučí zdroj chyby (FDE). Tímto schématem monitorování je umožněno pokračování v navigaci pomocí GNSS bez přerušení. [2] [35] [36]

Toto palubní rozšíření zahrnuje dvě metody monitorování integrity:

- **RAIM** (Receiver Autonomous Integrity Monitoring)

Jedná se o autonomní monitorování integrity přijímačem, který zvyšuje spolehlivost a přesnost měření přijímače pomocí GPS signálů. RAIM plní funkci kontroly vnitřních funkcí přijímače a současně vyhledává viditelné družice, které umožňují minimalizovat hodnotu DOP. Většinou sleduje přijímač šest dostupných družic, proto musejí být palubní přijímače vícekanálové. Čtyři družice jsou potřeba pro měření 3D polohy uživatele, pátou družici sleduje pro případ výskytu poruchy na některých z původních čtyř družic, šestou družici sleduje, aby se zajistilo okamžité nahrazení porušené družice v okamžiku přechodu na pátou družici. Budoucí RAIM budou využívat ještě větší počet kanálů (dvanácti i více) ke zvýšení současných výkonů přijímače, a také mají potenciál poskytnout vertikální integritu po celém světě. V současné době je kolem 70% evropských letů provedeno letadly vybavenými GPS a RAIM.

- **AAIM** (Aircraft Autonomous Integrity Monitoring)
Autonomní monitorování integrity letadlem využívá informace z jiných navigačních snímačů (např. inerciální navigační systém), díky kterým se provádí kontrola integrity během nedostupnosti RAIM.

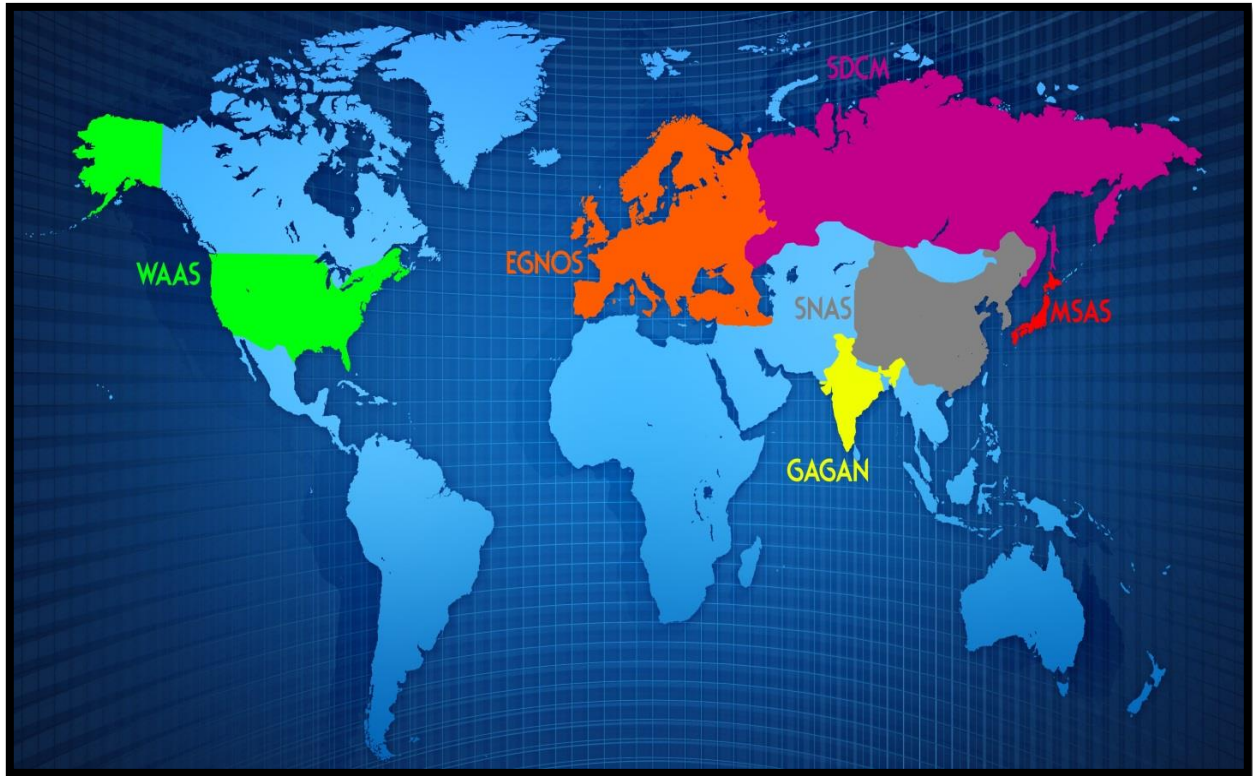
6.2 Rozšíření SBAS

SBAS (Satellite Based Augmentation System) je velkoplošná síť pozemních monitorovacích stanic, které poskytují uživatelům správné korekce navigačních dat. Pozemní infrastruktura SBAS v reálném čase měří pseudovzdálenost a poskytuje korekce pro chyby efemerid, chyby času a ionosférické chyby. Tyto získané údaje slouží jako výchozí data k určení integrity a zvýšení přesnosti měření polohy. Pozemní sledovací stanice přijímají signály z družic SBAS, obvykle z družic, které jsou pevně spojené s oběžnou dráhou nad rovníkem, jedná se o tzv. geostacionární oběžnou dráhu Země (GEO). V obsluhované oblasti SBAS poskytuje podporu operací, které vychází z několika nebo všech funkcí SBAS:

- Funkce: Určování vzdálenosti
Operace: SBAS jako zdroj pro určování vzdálenosti pro další rozšíření (ABAS, GBAS, ostatní SBAS).
- Funkce: Základní diferenční korekce a status družice
Operace: SBAS jako poskytovatel služby pro let po trati, konečné a nepřesné přiblížení, nebo v některých oblastech je schopen podporovat provoz s navigací založenou na výkonnosti.
- Funkce: Přesné diferenční korekce
Operace: SBAS zabezpečující fázi přesného přiblížení a službu APV (Approach Procedures with Vertical guidance). Vždy záleží na obsluhované oblasti, protože v každé oblasti podporuje různé operace (přesné přiblížení, APV-I, APV-II).

Přestože lze využít SBAS pro přesné přiblížení, není považován za primární systém pro přesné přiblížení na přistání pomocí GNSS. V současnosti je několik SBAS systému, které mají operační schopnost, je to např. WAAS ve Spojených státech, EGNOS v Evropě a MSAS

v Japonsku. Dále existují SBAS systémy, které jsou v rámci vývoje: SDCM v Rusku, GAGAN v Indii a SNAS v Číně. [1] [2] [36]



Obrázek 6- SBAS systém jednotlivých států

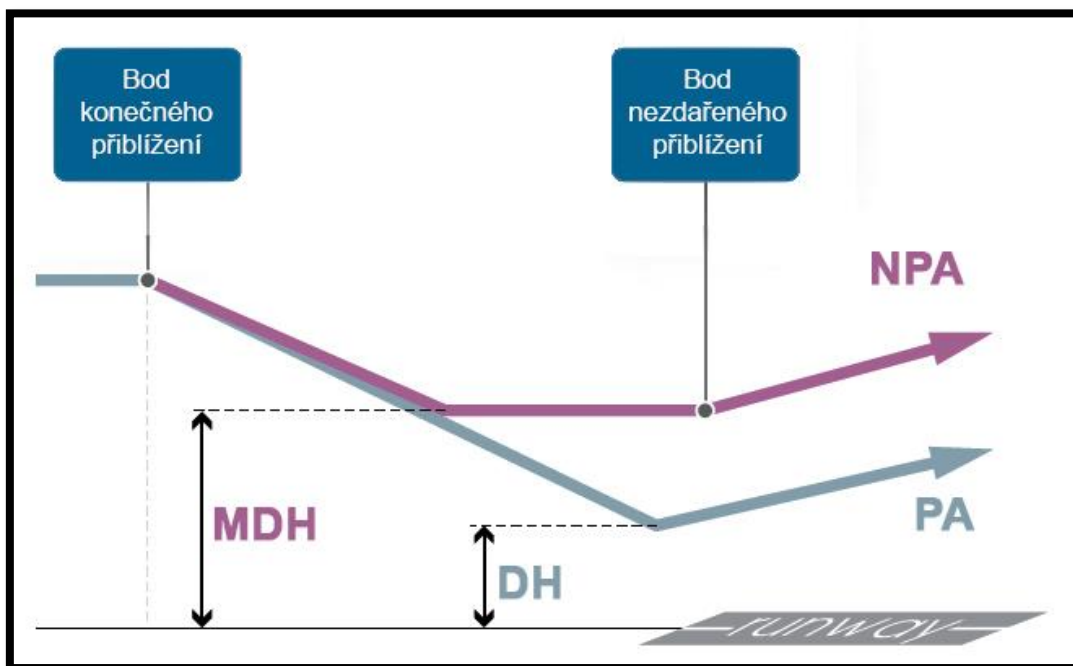
6.3 Rozšíření GBAS

GBAS (Ground Based Augmentation System) je systém s pozemním rozšířením monitorující integritu prostřednictvím dat získaných z pozemního vysílače v lokalitě letišť. Díky tomuto rozšíření bylo dosaženo výrazného zvýšení přesnosti satelitní navigace, jež umožnila aplikovat GNSS ve fázi přesného přiblížení na přistání. V současné době GBAS stanice podporují provoz v CAT I, avšak díky modernizaci bude schopna poskytovat provoz CAT II a III. Jelikož GBAS představuje budoucnost v oblasti přesného přiblížení na přistání pomocí GNSS, bude v této práci tomuto rozšíření věnována veškerá pozornost, a proto bude podrobněji popsána v následujících kapitolách. [2]

7. Možnosti vedení

Tato kapitola je zaměřená na studii možnosti přesného přiblížení na přistání za využití jiných rozšíření GNSS než GBAS. Následující řádky tedy budou především spočívat v porovnání systému GBAS se zbývajícím rozšířením GNSS ABAS a SBAS.

Nejdříve budou popsány hlavní charakteristiky přesného přiblížení (PA – Precision Approach) a nepřesné přiblížení (NPA – Non-Precision Approach). Hlavním rozdílem mezi NPA a PA je, že NPA nemá vertikální vedení na přistání. Další výraznější odlišností je, že každé přiblížení definuje jinou minimální výšku, pod kterou nesmí pilot klesnout při nezdařeném přiblížení (viz. *Obrázek 7*). V případě PA se jedná o výšku rozhodnutí DH (Decision Height) a v NPA o minimální výšku klesání MDH (Minimum Descent Height). U PA je vyžadována poměrně vysoká horizontální přesnost, než je tomu u NPA. PA k vedení využívá navigační systému jako ILS, MLS (v běžném provozu se téměř nepoužívá) a GBAS, a k vedení při NPA slouží systémy jako VOR/DME, NDB a základní GNSS (bez rozšíření).[8][19]



Obrázek 7 - Min. výšky na přiblížení pro PA a NPA

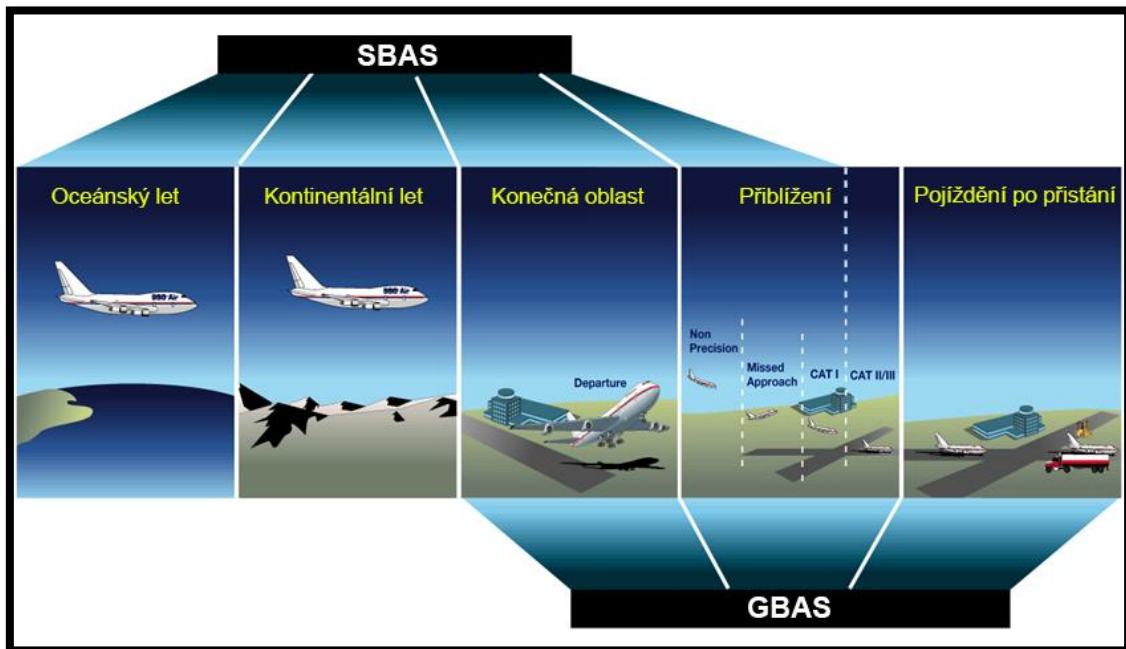
7.1 Vedení se systémem ABAS

Hlavním úkolem rozšíření ABAS je sledování integrity systému GNSS. K zajištění sledování integrity využívá ABAS dvě metody: RAIM s pomocí vnitřních palubních algoritmů a současně pomocí palubního sledování družic, a AAIM za pomoci přístrojů na palubě letadla. Obě tyto metody nejen sledují integritu GNSS, ale nabízí také i přesnější a spolehlivější určování polohy. Ne však do takové výkonnosti, aby bylo možné tento rozšiřující systém využít při přesném přiblížení na přistání. Systém ABAS je tedy vhodný pro použití při navigaci letadla po trati, neboť RAIM splňuje předepsanou navigační výkonnost RNP (Required Navigation Performance) pro fázi letu Oceanic (oceánský let) a En-route (traťový let). Pro PA nesplňuje požadovanou výkonnost, tudíž jako alternativní metodu za GBAS pro přesné přiblížení není systém ABAS přijatelný. Přesto si myslím, že s nepřetržitým vývojem systému RAIM by se ABAS mohl v budoucnu zařadit mezi systémy podporující přesné přiblížení. Na rozdíl od GBAS by poskytoval jednu podstatnou výhodu, která spočívá v možnosti přesného přiblížení bez potřebných instalací na letišti. [16]

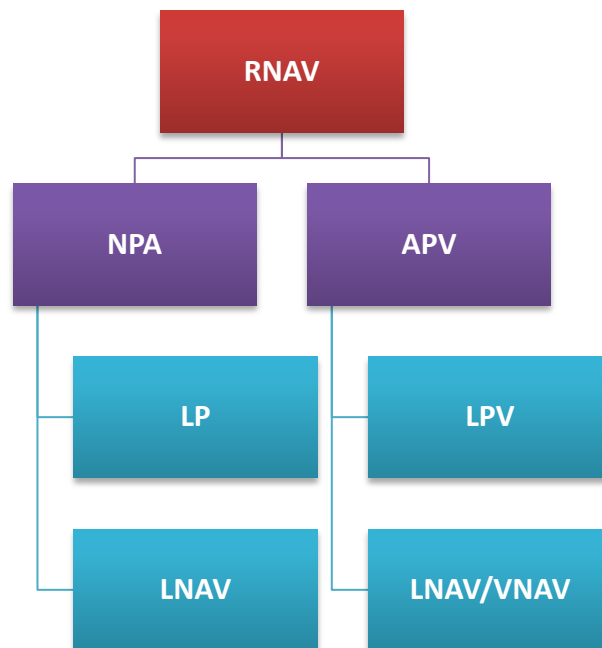
7.2 Vedení se systémem SBAS

Systém SBAS s funkcí přesné diferenční korekce (tj. oprava chyb efemerid, času a chyb způsobené ionosférou) je schopen zabezpečit přesné přiblížení na přistání a přistání APV (Approach Procedures with Vertical guidance). SBAS zprávy zajišťují integritu, zlepšení dostupnosti, a tak mohou poskytovat potřebný výkon pro přiblížení APV. Se zbylými funkcemi (viz. kap. GNSS rozšíření) je systém SBAS schopen podporovat pouze NPA. Svou výkonností je možno využít SBAS (WAAS) pro celou fázi letu: oceánský let, kontinentální let, let v koncové oblasti a přiblížení na přistání (viz. *Obrázek 8*).

SBAS poskytuje hned několik způsobů RNAV (Area Navigation) přiblížení, které je zobrazeno na schématu níže (*Obrázek 9*). RNAV přiblížení funguje na základě kombinace vysoce výkonného systému RNAV na palubě letadla a družic GNSS. V palubní navigační databázi jsou uloženy traťové body, letové úseky, rychlostní a výšková omezení, tyto data sloužící pro definování RNAV přiblížení.



Obrázek 8 - Oblasti podpory SBAS a GBAS



Obrázek 9 - RNAV přiblížení

- LNAV (Lateral Navigation) – jedná se o nepřesné přiblížení s bočním vedením poskytovaný systémy GPS a ABAS RAIM.
- LP (Localizer Performance) – jedná se o stejné přiblížení jako LNAV, ale poskytovaný systémy GPS a SBAS.
- LNAV/VNAV (Lateral Navigation / Vertical Navigation) – LNAV je podporován stejně jako LNAV v NPA. VNAV používá barometrický výškoměr, proto je také označován jako APV/Baro.
- LPV (Localizer Performance with Vertical Guidance) – je přiblížení s bočním a vertikálním vedením podporovaný GPS a SBAS

Přiblížení LPV je někdy označován také jako Localizer Precision Vertical, neboli přesné vertikální přiblížení. Dojde-li k poklesu integrity GPS během přiblížení LPV, systém RNAV automaticky přejde na vedení LNAV a zruší sestupovou rovinu (podobnou jakou používá ILS). Postup přiblížení LPV je podobný jako u ILS, neboť tvar přiblížovací dráhy a sestupové roviny se postupně zužují stejně jako u paprsku ILS, což zvyšuje přesnost a citlivost v poslední části přiblížení. Evropský kontinent plánuje na příští rok zavedení LPV 200 (DH = 200 ft), který bude splňovat výkonnost ILS CAT I. LPV 200 je již zaveden v USA a je zajištěn pomocí WAAS. Současný LPV má definovanou výšku rozhodnutí DH v rozmezí 250 až 300 ft. SBAS tedy poskytuje podporu přesného přiblížení v CAT I bez nutných specifických přistávacích pozemních rozšíření. Tato metoda přiblížení LPV lze brát jako možnou alternativu za GBAS, ale pouze v CAT I. Dle mého názoru však z hlediska dlouhodobého využívání pro přesné přiblížení není tato metoda dostačující, neboť vývoj GBAS již brzy umožní provoz až do CAT III s automatickým přistáním. Provoz v CAT I (v Evropě) s SBAS bude teprve zahájen, což bude současně s prvními plánovanými provozními lety v CAT III s GBAS. Než vývoj SBAS dosáhne provozu v CAT III (LPV 50), nabídne systém GBAS pro uživatele a provozovatele mnohem větší účinnost a bezpečnost provozu. Nicméně by tato metoda přiblížení mohla být použita v případech, kdy sestupová dráha ILS nebyla funkční.

[8][9][12][16][18][32]

8. Přechod na GLS

Z předchozí kapitoly o možnostech přesného přiblížení v CAT II a III nebyla zjištěná žádná adekvátní alternativa za systém GBAS, tudíž se dále tato práce podrobněji zaměří na tento systém, konkrétně na GLS (GBAS Landing System). Na začátek bude zodpovězena základní otázka, proč je potřeba přejít z ILS na GLS. ILS jakožto současný primární přistávací systém má několik omezení, která již nejsou pro zvyšující se leteckou přepravu přijatelná. Pro využívání systému ILS je nezbytné zavedení ochranných zón na letišti, neboť systém může být rušen FM vysíláním nebo objekty pohybující se po letišti. Dalším omezením je jeho neschopnost pracovat ve zvlněném terénu. Avšak mezi největší nedostatky jsou jeho vysoké provozní náklady a nutnost instalace systému na každou přistávací dráhu, což má za následek i vysoké pořizovací náklady. ILS má mimoto také podstatné provozní omezení, zejména jedná-li se o propustnosti na letišti při zhoršených podmínkách dohlednosti.

Přechodem z ILS na GLS bude dosaženo několik následujících výhod:

- zvýší se kapacita letiště při zhoršené dohlednosti,
- sníží se náklady na instalace (např. pouze jeden GBAS systém na letišti),
- sníží se náklady na údržbu,
- umožní se využití alternativních přibližovacích cest a posunutých prahových hodnot,
- nabídne nákladově efektivní využití na letištích se složitým dráhovým systémem,
- poskytne větší svobodu pohybů objektů na letišti (odstranění rušení od pohybujících se objektů),
- podporuje přiblížení po zakřivené a segmentové dráze.

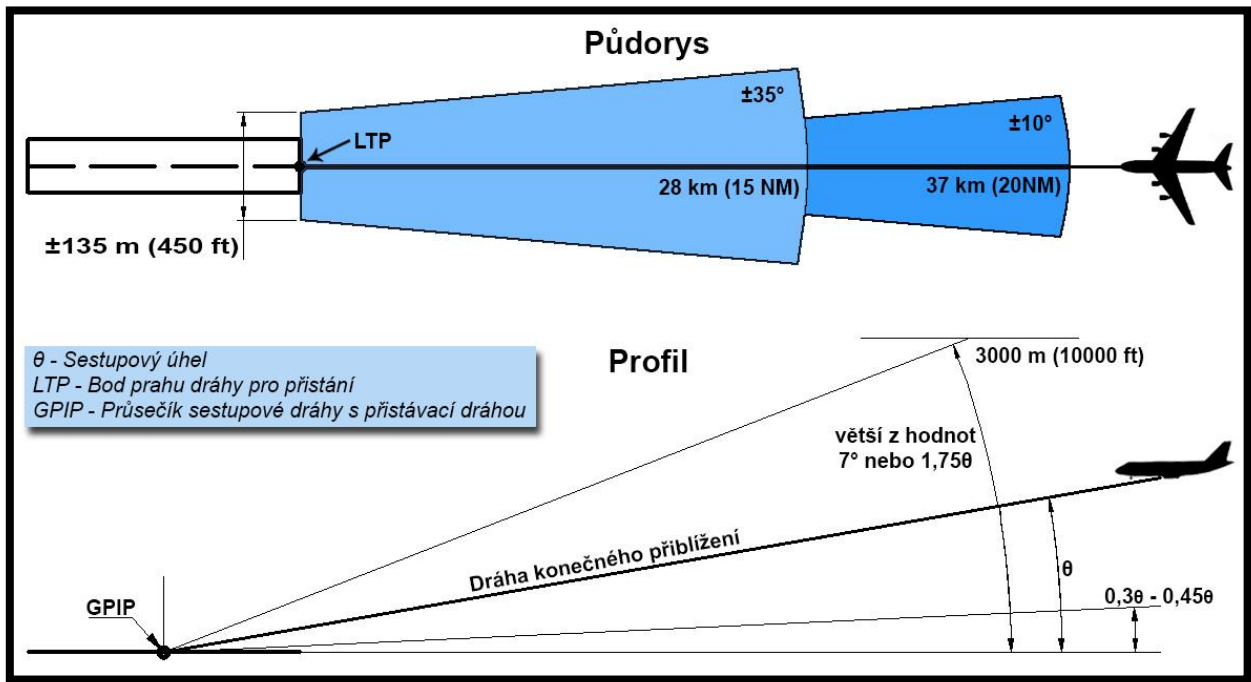
Navíc za použití GPS, Galilea a potenciálně i dalších GNSS systémů lze dosáhnout toho, že takto vzniklý navigační signál by byl dostupný pro všechny fáze letu, tím by se docílilo úspor v nákladech palubních přístrojů. Oblast pokrytí GLS by měla být podle FAA (Federal Aviation Administration) nejméně 40 km od středu umístění vysílače. GLS musí poskytnout srovnatelnou nebo lepší službu navigace než současný ILS, včetně: vertikálního

vedení na přiblížení alespoň do 100 ft HAT (Height Above Threshold - výška nad prahem dráhy) a odpovídajícího vedení pro vzlet, přistání a dojezd.[21]

8.1 Charakteristika GBAS

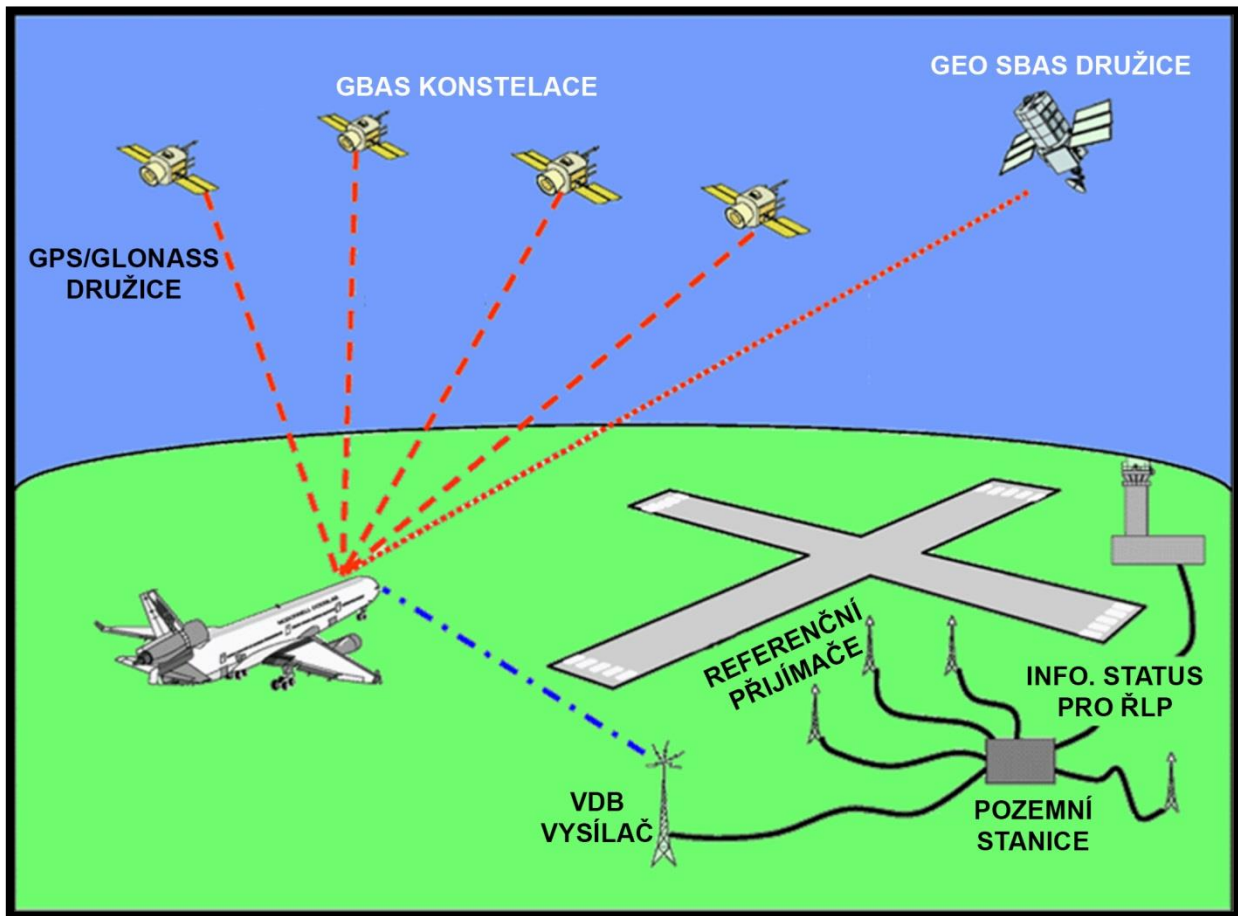
Hlavním přistávacím GNSS systémem je považován systém s pozemním rozšířením GBAS, který je tvořen ze tří elementů: satelitní konstelací, pozemní stanicí a letadlovými prvky. Pozemní stanice se skládá z jednoho aktivního vysílače VDB (je možné i více VDB vysílačů, v tom případě musejí mít všechny vysílače stejnou identifikaci, kmitočet a vysílat totožná data), vysílacích antén, několik referenčních přijímačů a zpracovávajících jednotek (viz. *Obrázek 8*). GBAS zatím monitoruje pouze signály družic GPS a/nebo GLONASS, ale očekává se spojení i s dalšími GNSS systémy. Letadla mohou být vybavena buď to GBAS přijímačem nebo přijímačem MMR (Multi-Mode Receiver). Dle ANNEX 10 by měla všechna mezinárodní letadla podporující APV ukládat svá data o přiblížení v databázi na palubě letadla.

Do pozemní stanice se přes tři nebo čtyři referenční přijímače získávají navigační data z družic. Následně se zpracují a pomocí aktivního vysílače VDB je umožněno posádce letadla v oblasti působnosti přijímačem získávat navigační data o přiblížení, korekce pseudovzdálenosti a informace o integritě družic. Vysílač VDB vysílá tyto údaje v pásmu VHF 108 až 117,975 MHz do nominální vzdálenosti 37 km (20 NM). Na schématu níže (*Obrázek 10*) je definována oblast minimálního pokrytí GBAS vzhledem k dráze konečného přiblížení, ve které jsou splněny minimální požadavky na přesnost, integritu, kontinuitu a dostupnost. Umístění VDB vysílače je nezávislá na dráhové konfiguraci, ale vyžaduje se pečlivé vyhodnocení místních zdrojů rušení, zablokování či odrazů signálu. Instalace antény by tedy měla zajistit takovou oblast pokrytí, ve které musí být služba na přiblížení dostačující pro zamýšlené činnosti. GBAS infrastruktura zahrnuje elektronická zařízení, antény pro vysílání dat a přijímače satelitních signálů, které mohou být instalovány na jakoukoliv vhodnou letištní budovu nebo na samostatnou budovu určenou pouze pro GBAS. Složitost infrastruktury pozemní stanice závisí na poskytované službě.



Obrázek 10 - Minimální pokrytí GBAS

V oblasti pokrytí GBAS (20NM) jsou poskytnuty dvě služby: služba přiblížení a služba určování polohy. V současné době služba přiblížení poskytuje navádění a korekce pro dráhu v úseku konečného přiblížení při APV, NPA a přesném přiblížení CAT I. Druhá služba poskytuje informace o horizontální poloze pro prostorovou navigaci RNAV v oblasti konečného přiblížení. GBAS zpravidla poskytuje korekce, které umožňují přiblížení na více vzletových a přistávacích drah na jednom letišti. Ve výjimečných případech mohou být tyto korekce použity pro blízká letiště a heliporty, kde by bylo možné nabídnout s omezením služby přiblížení. Jediná GBAS pozemní stanice může poskytnout vodítko až pro 49 přesných přiblížení v oblasti pokrytí VDB antény. Pokud je v poli působnosti k dispozici i signál ze systému SBAS, může GBAS využít také oprav z družic SBAS GEO (viz. *Obrázek 11*).[1][2][16] [28][36]



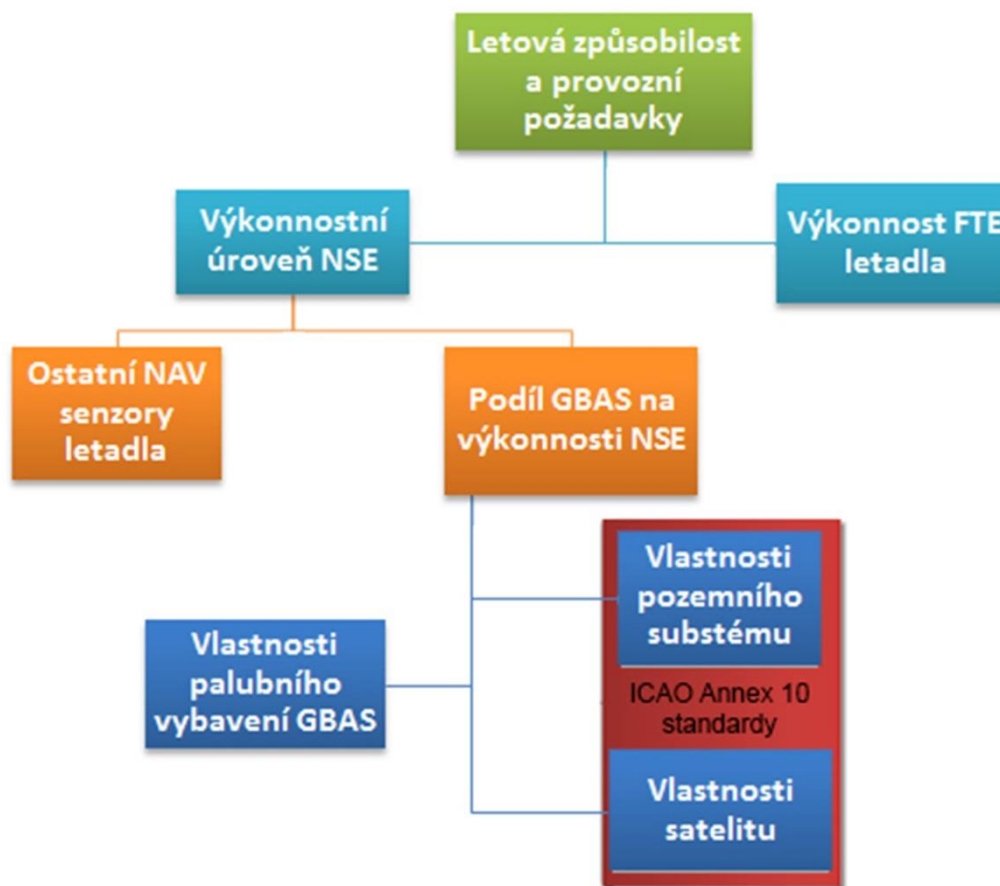
Obrázek 11 - Jednotlivé prvky systému GBAS

9. GBAS standardy

Současné normy vymezené pro GBAS v ANNEX 10 jsou definovány z hlediska výkonu, které lze spatřit na výstupu palubního přijímače. Tyto požadavky byly přijaty z několika důvodů, jednou z nich je zjednodušení schvalovacího procesu pro palubní zařízení a jejich instalaci. Během realizace byly odhaleny omezení a obtíže, se kterými se původně neuvažovalo. Navíc bylo zjištěno, že je potřeba dalších prostředků pro zmírnění ionosférických chyb. Rozšíření norem na podporu náročnějších požadavků (např. při použití jedné GPS frekvence) vyžaduje novou strategii a koncepty. Již nově vytvořené koncepty zahrnují: požadavky, které vycházejí ze stávajících GBAS norem s přílohou definující

výkonnosti „tradičnějších“ přibližovacích pozemních subsystémů, zavedení různých typů služeb, které mohou být podporovány palubním a pozemním vybavením, a klasifikační systémy pro palubní a pozemní zařízení.

Koncepce přidělování GBAS požadavků na podporu provozu při nízké dohlednosti je základem pro navrhované změny SARPS pro GBAS. Celá strategie definování požadavků podle této koncepce je zobrazeno na schématu níže (Obrázek 12). Tyto požadavky se týkají způsobilosti a provozních požadavků, které jsou stanoveny jednotlivými státy. [7]



Obrázek 12 - GBAS koncepce pro podporu CAT III

Mimo požadavky letové způsobilosti a provozních požadavků musí být také splněny požadavky: za normální výkonnosti letadla, výkonnosti se závadou a limitních případů. Ačkoliv tyto požadavky nejsou aplikovány u ILS, jsou použity v GBAS koncepci, kde

poskytují kritéria pro bezpečné přistání. Hlavním měřítkem výkonnosti této koncepce je celková systémová chyba letounu během fáze přistání (TSE - Total System Error). TSE je definován jako rozdíl mezi polohou letadla, kde se ve skutečnosti nachází a plánovanou polohou. TSE se skládá ze dvou prvků: z navigační systémové chyby (NSE - Navigation System Error), která ukazuje, jak dobře systém „ví“ o své reálné poloze, a z letové technické chyby (FTE - Flight Technical Error), která znázorňuje, jak dobře dokáže systém udržet letadlo na plánované trati. FTE může být ovlivněna několika faktory: výkonností motorů, charakteristikou draku letadla, povětrnostními podmínky, vlastnostmi řídicích systémů a aerodynamikou letu. NSE je závislá na navigačním systému, který se může skládat výhradně z rádiového navigačního systému nebo z rádiového navigačního systému obsahující další palubní senzory. Provoz v CAT III je obvykle proveden kombinací rádio-navigačního přijímače, radarovým výškoměrem a inerčním navigačním systémem.

Vývoj CAT II a CAT III je založen na původním vývoji GBAS CAT I. Ve vývoji byla zavedena koncepce služeb (Service Types), ve které jsou porovnávány výkonnostní a funkční požadavky palubních a pozemních vybavení. V předchozí kapitole již byly popsány dvě základní služby GBASu: služba přiblížení a služba určování polohy. Služba přiblížení se dále rozděluje do více typů označované jako GAST (GBAS Approach Service Types). GAST je definována jako sada porovnaných palubních a pozemních výkonnostních a funkčních požadavků, které jsou určeny k poskytnutí přesného přiblížení s určitou výkonností. Jsou zavedeny čtyři typy služeb přiblížení: GAST A, GAST B, GAST C, a GAST D, který je v současné době ve fázi návrhu. V aktuálním SARPS jsou obsaženy požadavky GAST A, GAST B, GAST C. Požadavky těchto služeb odpovídají provozním podmínkám APV I (GAST A), APV II (GAST B) a CAT I (GAST C). Požadavky určené k podpoře CAT II/III s GPS/L1 jsou zahrnuty jako součást GAST D. O GAST D lze uvažovat jako o rozšíření GAST C, protože pozemní systém GAST D musí nezbytně splňovat všechny požadavky určené na podporu GAST C.

GAST C a GAST D požadavky jsou nyní podrobněji charakterizovány o vlivy všech poruch a jejich pravděpodobnosti nastoupení. Tyto dodatečné požadavky zahrnují výkonnostní požadavky pro kontrolu chyb pseudovzdálenosti. Rovněž jsou zahrnuty monitorovací požadavky pro palubní vybavení při řešení některých možných zdrojů chyb. Všechny tyto dodatečné požadavky slouží pro navrhované změny klasifikačního systému v SARPS.

V důsledku toho vznikli následující klasifikační třídy: GASTs (GBAS Approach Service Types), GFC (GBAS Facility Classification), AFD (Approach Facility Designation) a GAEC (GBAS Airborne Equipment Classifications). Klasifikace GFC pro pozemní systémy je označována jako FAST (Facility Approach Service Type) a AAST (Airborne Approach Service Type) je naopak část GFC určená palubnímu vybavení.

Příklad klasifikace: je-li pozemní systém klasifikován jako FAST C, tím pádem pozemní systém splňuje výkonnostní a provozní požadavky na podporu služeb GAST C. Je-li označen jako FAST D, může podporovat GAST D, ale stejně tak i GAST C. Všechny koncepce služeb popsané v této kapitole jasně vymezují odpovědnost mezi vzdušným a pozemním systémem. [7]

9.1 Výkonnostní požadavky GAST D

Pozemní stanice musí být klasifikována jako GFC D, jedině tak může splňovat požadavky na výkonost FAST C a FAST D. FAST D zahrnuje nejen základní požadavky signálu v prostoru, ale také požadavky určování polohy a požadavky monitoringu na podporu automatického přistání v CAT II a CAT III. Tyto požadavky jsou shodné s požadavky FAST C, tedy se stejnými bezpečnostními podmínky (např. pravděpodobnost pro úplnou ztrátu integrity je 2×10^{-7}). Palubní systémy získali nové funkce vykonávající zmírnění chyb způsobené vlivem poruch a povětrnostních podmínek, které negativně působily na zamýšlené provozní funkce. Takto jsou přímo v palubním přijímači opraveny chyby způsobené troposférou. V průběhu ověřování způsobilosti systému pro postupy CAT III v oblasti podpory pod 200 ft musí systém FAST/GAST D umožnit splnění požadavků na kvalitu signálu v prostoru pro přiblížení CAT III. Proto bude-li systém splňovat požadavky CAT III, musí též dodržet výkonnostní požadavky kladené pro fázi přiblížení nad 200 ft HAT.

Výkonnostní požadavky jsou založené na analýze chyb NSE a FTE. Výsledkem analýzy je definování požadavků pozemního systému pro chyby obsažené v korekci pseudovzdálenosti. Model NSE a FTE pouze napomáhá při posuzování, zda letadlo je schopno splnění požadavků určování vzdálenosti. I v případě splnění požadavků způsobilosti a provozních požadavků je tento model příliš jednoduchý na to, aby mohl být použit ke skutečnému schvalování. Výrobci letadel proto musejí vycházet z vysoce věrohodných

modelů NSE a FTE, které musí minimálně vyhovět požadavkům stávajících postupů pro schvalování letadel používající ILS. Schvalovací model pro ILS využívá nelineární, šesti stupňové modely a simulace dynamiky letadla, které zahrnují podrobné ověřování motorů, draku, naváděcích a řídicí systémů, hmotnosti a vyvážení. Dodatečné dokumenty, jako jsou poradní oběžníky AC (Advisory Circular), TSO (Technical Standard Order) min. výkonnostní standardy pro civilní letadla vydávané FAA, a specifikace pozemního vybavení od výrobce by měly obsahovat shodné informace, které mohou ANSP (Air Navigation Service Providers - poskytovatelé letových navigačních služeb) použít pro lepší porozumění pozemního systému. Také mohou být zdrojem informací pro výrobce letadel k získání schválení o provozu GBAS za nízké dohlednosti.

V nové koncepci pro FAST D byla definována doba do výstrahy TTA (Time-to-alert), která je pro integritu a monitoring identická. Pozemní systém provádí pouze 1,5 sekundovou detekci chyby v 30 sekundové korekci pseudovzdálenosti, a následně provede, buď to vyloučení zdroje pro určování vzdálenosti, nebo označí daný zdroj za nedostačující. Tato doba detekce a vysílání není ekvivalentní s funkcí pozemního systému, neboť vyloučení jednoho zdroje určování vzdálenosti nemusí nutně vést k obdržení nesprávných naváděcích informací. [7]

9.2 Současné Annex 10 požadavky

Annex 10 definoval několik následujících funkcí pozemního systému GBAS, díky kterým jsou na palubu letadla poskytovány navigační údaje s požadovanou výkonností (přesnost, kontinuita, integrita a dostupnost) na podporu zamýšlených letových úkonů.

- Poskytuje relevantní korekce pseudovzdálenosti,
- poskytuje údaje týkající se GBAS,
- poskytuje data pro konečné přiblížení při podpoře přesného přiblížení,
- poskytuje data a dostupnost předpokládaných zdrojů určování vzdálenosti,
- poskytuje monitorování integrity zdrojů určování vzdálenosti.

Je-li podporováno více služeb (service types), je zapotřebí poskytovat ještě dodatečné informace pro odlišení jednotlivých pozemních systémů a jakou nejvyšší službu GAST podporují, a pro kterou dráhu danou službu podporují. Obě přibližovací služby GAST C a D

vykonávají výše uvedené funkce a vyžadují vysílání korekcí a informace o integritě, které splňují určité standardizované požadavky na výkon. Právě tyto požadavky na výkon umožňují systému s GAST D provádět v CAT III přesné přiblížení s následným automatickým přistáním.

V ANNEX 10 jsou požadavky na výkon definované především z hlediska pozemního systému, proto je třeba v nové koncepci posunout některé odpovědnosti na palubní systém. Z toho důvodu monitorování integrity zdrojů chyb určování vzdálenosti je požadavek určený palubnímu systému. Výrobci letadel musí tedy během prokázání letové způsobilosti dokázat, že tento požadavek na výkon pro provoz CAT III palubní vybavení splňuje. Palubní vybavení s klasifikací GAEC D monitoruje a detekuje chyby vzniklé ionosférou. K eliminaci této chyby Annex 10 definoval vysílací korekci s 30 sekundovým vyhlazením. Pozemní systém musí tento vyhlazovací čas vygenerovat a odeslat na palubu letadla jako součást funkce poskytování korekce pseudovzdálenosti. V současném standardu je pozemní systém odpovědný za poskytnutí dostačující integrity při určování polohy přes bezporuchový palubní přijímač. Naopak v nové koncepci pozemní systém zodpovídá za monitorování signálů satelitů pro určení pseudovzdálenosti, a palubní systém za rozhodnutí zda výsledná výkonnost je dostačující. V navrhovaných změnách ANNEXu 10 je obsaženo dostatečné množství podrobností k vypracování důvěryhodného NSE modelů pro GAST D. Tyto modely budou následně využívány při certifikaci pro posuzování zbylých NSE vlivů na celkovou bezpečnost přistání. Nová koncepce rovněž stanovuje novou palubní odpovědnost, která vyžaduje sledování stavu, kdy chyba jediného referenčního přijímače nebude dostatečně velká, aby porušila kritéria provozní způsobilosti. Do ANNEX 10 již byly zahrnuty nové FAST D požadavky týkající se přijatelných limitů poruch referenčního přijímače, takže jej mohou výrobci letadel využít během hodnocení způsobilosti svých systémů. [7]

10. Porovnání koncepcí

Navrhované změny SARPs definují řadu norem pro pozemní systém GBAS z nové perspektivy. V této kapitole jsou porovnány základní požadavky stávajících norem ANNEX

10 pro podporu CAT I s navrhovanými změnami SARPs k podpoře CAT II až CAT III. Toto porovnání popisuje pouze klíčové rozdíly mezi oběma koncepcemi, konkrétně mezi FAST C a FAST D. Obě koncepce jsou porovnávány dle pěti parametrů: přesnost, integrita, kontinuita, dostupnost a VDB vysílání. Pozemní stanice, sloužící pro činnosti v CAT III, musí být schopny splnit nejen požadavky pro danou kategorií přiblížení, ale i všechny požadavky FAST C k podpoře služeb v CAT I. K pochopení celkového provozního rizika představující ztrátu kontinuity, nesmí být při posuzování uvažováno s bezchybným palubním přijímačem. Proto nové FAST D požadavky vymezují minimální přijatelnou výkonnost na základě výkonnosti pozemního systému a palubního vybavení. Je zapotřebí také definovat vzájemnou souvislost mezi nevysílanými parametry a parametry vysílacích zpráv, tzv. vysílací protokoly, podle kterých je požadováno plnění činností přesného přiblížení. Berou se v úvahu parametry, které nejsou vysílány, ale jsou používány v neletadlovém a/nebo v letadlovém prvku. Tyto parametry stanovují podmínky, podle kterých jsou řešeny činnosti navigace a jejich integrita.

[7]

Vysílací protokoly	Neletadlové parametry	Letadlové parametry
Vyhlazená pseudovzdálenost	Přesnost	Přesnost palubního přijímače
Korekce pseudovzdálenosti	Integrita	Výkonnost VDB přijímače
Troposférické zpoždění	Kontinuita	Podmínky pro použití dat
Zbytkové ionosférické chyby	Umíst'ovací kritéria	Integrita
Úroveň ochrany	Požadavky vysílání dat	Použití dat efemerid
Limity varování	Korekce pseudovzdálenosti	Ztráta zprávy
Chyba efemerid	GBAS data	Palubní měření pseudovzdálenosti
Číslo kanálu	Data konečného přiblížení	
	Data předpokládající dostupnost zdroje určování vzdálenosti	
	RF sledování	
	Sledování dat	
	Integrita sledování GNSS zdrojů určování vzdálenosti	
	Sledování ionosférického gradientu	
	Požadavky pozemního systému k podpoře ověřování	

Tabulka 7 - Seznam vysílacích a nevysílacích parametrů

Integrita

FAST C Požadavky na podporu CAT I

Stanovení rizika integrity bezporuchového palubního přijímače zpracovávající vysílací protokoly

Vysílání parametrů integrity pro použití v letadle

Monitorování integrity signálů satelitu k odhalení nesprávné funkce diferenčního zpracování pro bezporuchový přijímač v souladu s podmínkami sledování signálu

FAST D Požadavky na podporu CAT II až CAT II

Všechny požadavky FAST C

Zavedení výkonnostních požadavků pro sledování pseudovzdálenosti

Zavedení výkonnostních požadavků pro sledování vlivů ionosférických anomálií

Požadavky pro omezení chyb neidentifikující z pozemního nebo vzdušného sledování

Výkonnostní požadavky pro hodnoty σ_{vert} a σ_{lat}

Stanovení pravděpodobnosti pro případ selhání komponentů pozemního systému (hardware i software), které by mohly mít katastrofální dopady

Poznámka: σ_{vert} a σ_{lat} patří mezi základní vysílací parametry pro službu GAST D. Hodnota σ_{vert} se používá při výpočtu vertikální úrovně ochrany (VPL) a σ_{lat} pro stanovení postranní úrovně ochrany (LPL).

Dostupnost

FAST C Požadavky na podporu CAT I

Dostupnost je definována jako výstup na každém bezporuchovém přijímači uvádějící hodnoty polohy. To umožňuje ANSP využívat jako prostředek pro odhad minimální provozní dostupnosti

FAST D Požadavky na podporu CAT II až CAT II

Žádné nové požadavky

ANSP je především zodpovědný za zajištění dostupnosti systému

Přesnost

FAST C Požadavky na podporu CAT I

Zajištění přesnosti horizontální a vertikální polohy

Zajištění přesnosti pseudovzdálenosti vysílané z pozemního systému

FAST D Požadavky na podporu CAT II až CAT II

Všechny požadavky FAST C

Vyšší přesnost všech konfigurací

Kontinuita

FAST C Požadavky na podporu CAT I

Stanovení rizika kontinuity bezporuchového palubního přijímače zpracovávající vysílací protokoly

Kontinuita služeb je definována jako funkce přenosu dat v toleranci, dodržování VDB vysílání v poli působnosti, a dodržení přijatelných chyb polohy letadla stanovené pro každý bezporuchový přijímač zpracovávající vysílací protokoly

FAST D Požadavky na podporu CAT II až CAT II

Všechny požadavky FAST C

Požadavky na rizika kontinuity jsou definovány pouze jako selhání pozemního systému nebo získání falešných výstrah (např. chybný VDB přenos, selhání referenčního přijímače, selhání procesoru, falešné výstrahy pro parametry zpráv)

Požadavky pro bezporuchovou detekci chyb při sledování zdrojů určování pseudovzdálenosti

VDB vysílání

FAST C Požadavky na podporu CAT I

RF přenosové charakteristiky, fyzické vrstvy a aplikace vrstev definované dle současného SARPs

FAST D Požadavky na podporu CAT II až CAT II

Současné SARPs požadavky s doplňky několika novými vysílacími informacemi

11. Provozní výkonnost GAST D

11.1 Integrita pozemního systému

Dojde-li k selhání integrity, mohou mít veškeré sledování a další funkce pozemního systému, které podporují fázi přesného přiblížení v CAT II a III (automatické přistání nebo dojíždění po přistání) katastrofické následky. Takové selhání musí být velmi nepravděpodobné, proto bezpečnostním cílem je dosáhnout hodnoty menší než 1×10^{-9} , což znamená, že pravděpodobnost výskytu každé příčiny analyzované během procesu ověřování způsobilosti musí být menší než 1×10^{-9} . Riziko integrity signálu v prostoru je podobný CAT I a APV požadavkům s tou výjimkou, že nejsou zahrnuty rizika způsobená ionosférickou anomálií. ANNEX 10 stanovuje riziko integrity signálu v prostoru pro činnosti spojené s přesným přiblížením pro CAT I na hodnotu 2×10^{-7} na jedno přiblížení. Systém zpřesňování polohy, který podporuje další činnosti v koncové oblasti řízení letového provozu, musí taktéž splňovat požadavky na riziko porušení integrity signálu v prostoru, což je definováno na 1×10^{-7} /hodinu. Z toho důvodu je nutné přijmout dodatečná opatření na podporu těchto přísnějších požadavků na služby zpřesňování polohy. Riziko integrity signálu v prostoru je charakterizováno ze dvou prvků: z rizika integrity pozemního systému a z rizika integrity úrovně pokrytí. Riziko integrity pozemního systému obsahuje selhání pozemního systému a družic (např. chybné efemeridy, špatná kvalita signálu). Ojedinelá rizika bezchybného výkonu

a selhání jednoho referenčního přijímače jsou zahrnuty v riziku integrity úrovně pokrytí. Tato úroveň ochrany proti poruše integrity v obou případech bere v úvahu vliv družicové geometrie využívané přijímačem v letadle. Úroveň ochrany GAST C platí stejně tak, jak pro FAST C, tak i pro FAST D. Pouze jejich algoritmy a vysílací parametry použité ve vysílacích protokolech se liší. [2] [7]

11.2 Kontinuita služeb

Skupina AWOHWG (The All Weather Operations Harmonization Working Group) v současné době projednává, jak nejlépe řešit ztrátu kontinuity GBAS při přistání a následném dojíždění po přistání za povětrnostních podmínek CAT III. Primárním účelem skupiny AWOHWG je zavedení kritérií FAA a EASA, která budou sloužit k certifikaci letové způsobilosti a zachování nebo získání schválení pro provoz v CAT II a III. Tato kritéria zahrnují přijatelnou kontinuitu služeb GBAS pro letadlo. Kromě toho musí poskytovatel služby posoudit vliv nebezpečí ztráty kontinuity na provoz v řízené koncové oblasti a na provoz na trati. Služba řízení letového provozu (ŘLP) se také zabývá možným nebezpečím ztráty kontinuity, proto předpokládá, že dostatečně vybavené letadlo s vycvičenou posádkou může bezpečně dokončit přistání nebo provést průlet při ztrátě služeb GAST D pod 50 ft.

Pro GAST D není vhodné definovat pouze jednotný požadavek kontinuity služeb, jako je stanovena v současném ANNEXU 10 pro CAT I ($1-8 \times 10^{-6}$ za 15 sekund), protože kvalita signálu v prostoru pro GAST D je závislá na výkonnosti pozemního a palubního systému, proto v novém návrhu ANNEX 10 bude zahrnuta maximální pravděpodobnost nebezpečí výpadku služeb způsobené pozemním systémem. Následně tato pravděpodobnost musí být začleněna do analýzy prováděné na palubě letadla pro stanovení celkového provozního rizika. [2] [7]

11.3 Zmírnění ionosférických chyb

V posledních letech byla zpozorována existence velkých anomálií a gradientů v ionosféře, především během výskytu ionosférické bouře. Prudký gradient v ionosféře může mít následky těžko odstranitelných chyb při určování polohy. Anomálie vytvářejí podmínky, které ANSP považuje za nevhodné pro běžnou výkonnost GBAS. GAST D dosahuje

dostatečného zmírnění ionosférických chyb za pomoci sledování pozemním systémem, monitorování palubním vybavením, použití 30 sekundové vyhlazovací opravy a několika umíst'ovacím omezení v pozemním systému. Detekce a zmírnění těchto nepravidelných jevů je předmětem intenzivního výzkumu, proto v RTCA LAAS MASPS vytvořili několik požadavků určené k vyřešení těchto problému pro provoz v CAT II a CAT III. Nicméně tyto požadavky nejsou dostačující a pokračující výzkum by měl přinést výsledky s efektivnějšími způsoby, jak tuto problematiku řešit.

Čím kratší je doba vyhlazovací konstanty, tím činí systém být méně náchylný na zpožděné zjištění chyb. Z tohoto důvodu byla zavedena 30 sekundová vyhlazovací korekce vysílaná z pozemního systému. Navíc při současném použití 30 sekundové a 100 sekundové vyhlazení je umožněno palubnímu vybavení monitorovat výskyt ionosférického gradientu. Kromě toho monitorování z palubního vybavení s klasifikací GAEC D probíhá po celou dobu letu (označované jako AAST D), aby bylo možné odhalit ionosférický gradient dlouho předtím, než letadlo vstoupí do pole působnosti pozemního systému, nebo než začne aplikovat diferenční korekci. I přes nové schopnosti palubního vybavení, existují případy, kdy pozemní systém dokáže detekovat ionosférický gradient a palubní vybavení ne. Proto je vyžadováno, aby pozemní systém v některých případech dokázal ionosférické riziko zcela eliminovat. Nové požadavky pozemního systému obsahují také poziční omezení, které stanovuje maximální vzdálenost pět kilometrů mezi těžištěm pozemního systému a prahem každé dráhy. Přijatelná výkonnost sledování pozemního a vzdušného systému ve spojení s pozičním omezením byla stanovena pro standardní hrozby v prostoru, které jsou popsány v dokumentu Guidance Material. Návrh na zmírnění dopadů ionosférických anomálií tedy spoléhá na kombinaci těchto prvků: [7]

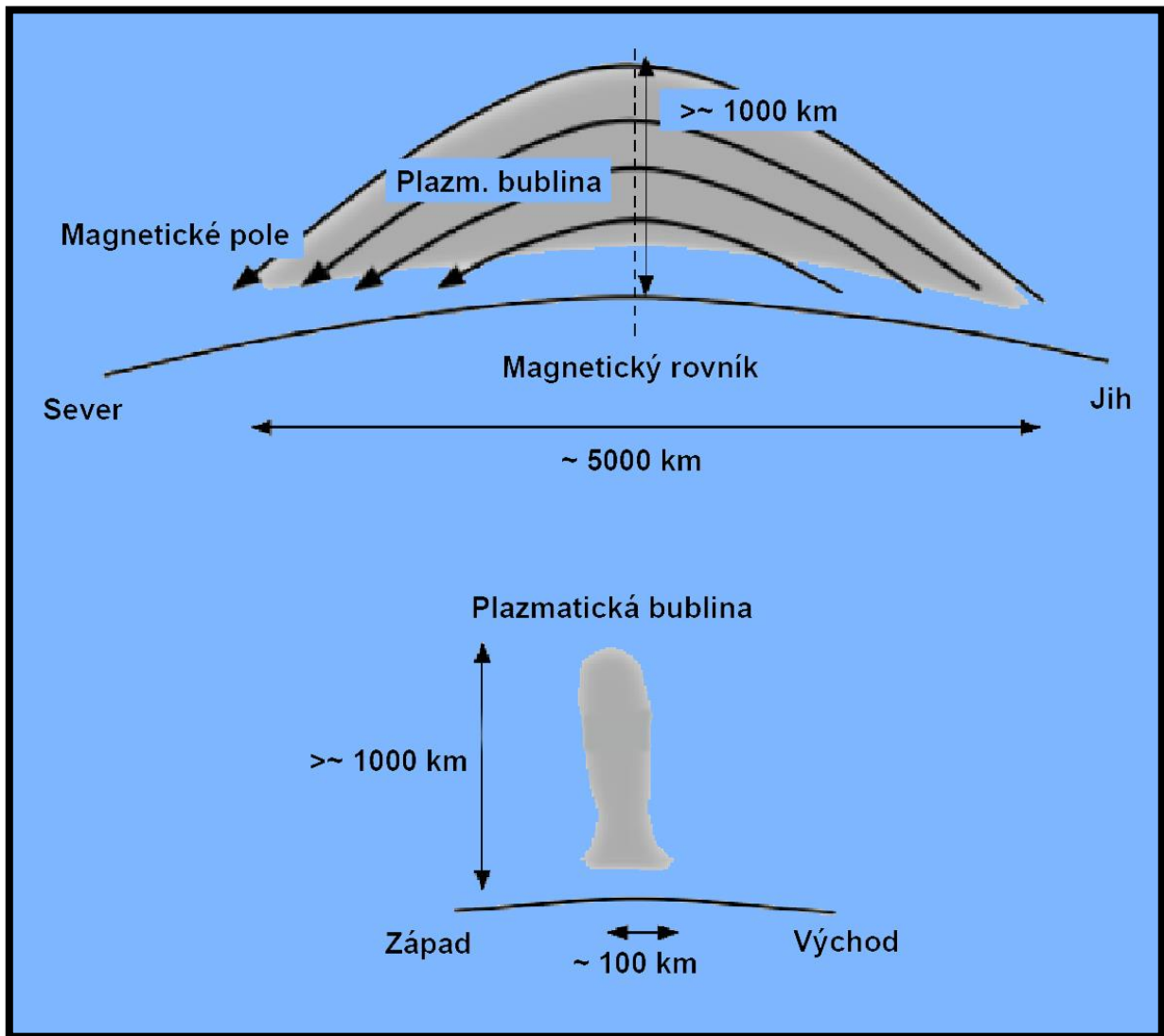
- sledování pozemním systémem,
- monitorování palubním vybavením,
- umíst'ovacím omezením pozemního segmentu,
- stanovené standardní hrozby, kterými bude uživatel vystaven.

Jednou ze standardních hrozeb je anomálie zvaná jako „plazmová bublina“, která se projevuje v regionech geomagnetického rovníku. Jelikož je znám výskyt této anomálie,

využívá se k simulaci výkonnosti sledování. Vlastnosti plazmové bubliny mohou dosáhnout úrovně srovnatelné s ionosférickou bouří nebo se zvýšenou hustotou ionosférické vrstvy. Mohou se také vyskytovat více plazmových bublin tvořící uskupení s několika set kilometrovými vzdálenostmi, nebo se velmi často vyskytují při vysoké sluneční aktivitě. Výskyt několik plazmových bublin může způsobit to, že mohou být ovlivněny více satelitů ve stejnou dobu.

Jak je vidět na schématu níže (viz. *Obrázek 13*), plazmová bublina se rozvíjí vzhůru nad magnetickým rovníkem a vzhledem k zeměpisné délce je úzký, k zeměpisné šířce protáhlý a na východ a západ tvoří jakousi „strmou stěnu“. Maximální svislá nebo vodorovná chyba polohy vyvolaná ionosférickou anomálií, která bude přetrvávat s pravděpodobností vyšší než 10^{-9} , bude zmírněna. Takto přetrvávající chyba může být omezena na méně než 10 metrů. Je prokázáno, že s chybou v řádech 10 metrů nebo méně je letadlo schopno bezpečně přistát. Plazmová bublina je charakterizována následujícími parametry: [7] [17]

- Počet plazmových bublin
- Pozice na magnetickém rovníku
- Maximální úbytek hladiny
- Oblastní šířka
- Oblastní rychlost proudění
- Délka hranic plazmové bubliny



Obrázek 13 - Plazmatická bublina

Osvědčování způsobilosti systémů je závislé na účinnosti standardních hrozeb. Proto jsou-li v prostoru osvědčujícího státu vážnější ionosférické podmínky než standardní modely uvažované k osvědčování, pak může poskytovatel služeb přiblížení rozhodnout zda:

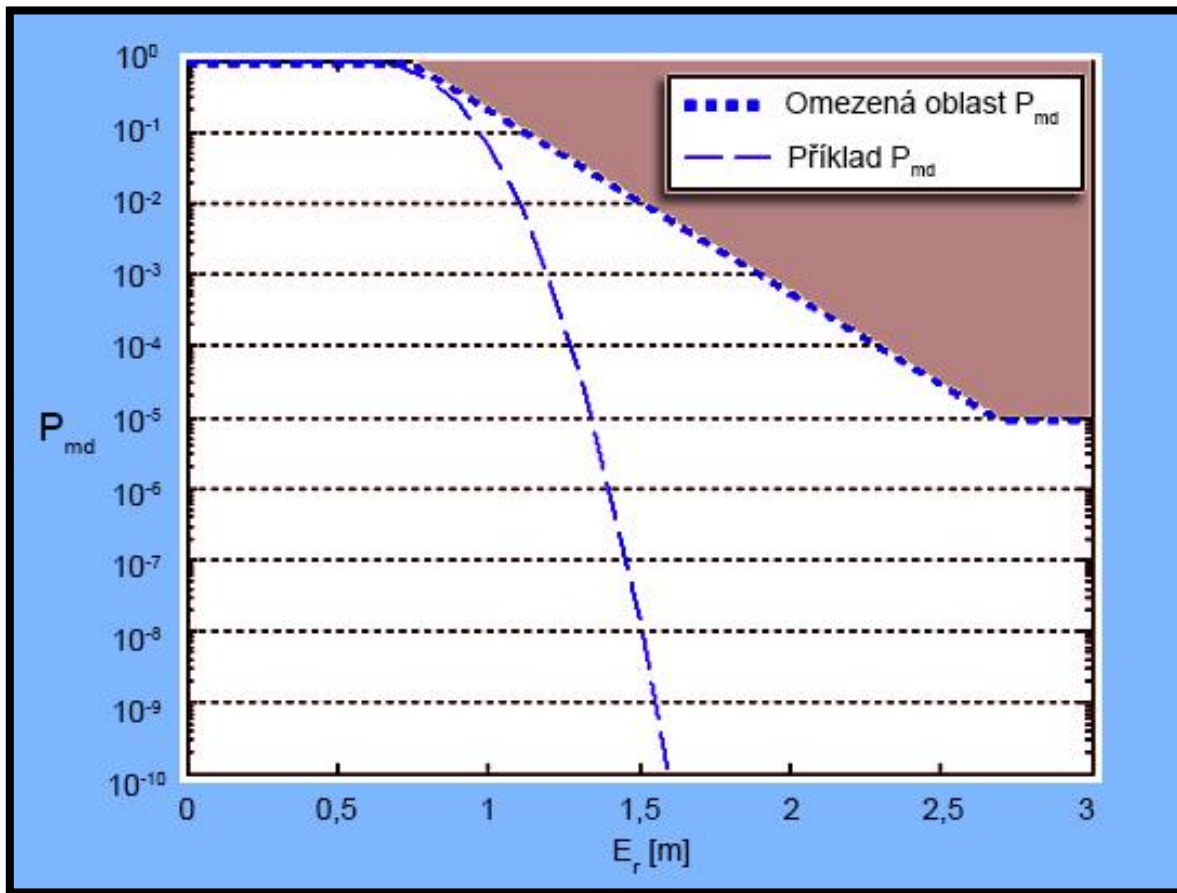
- změni vlastnosti svých pozemních systémů, a/nebo
- zavede další sledování (interní nebo externí GBAS), a/nebo
- zavede dodatečná provozní omezení, které brání uživatele vystavením se extrémních ionosférických podmínek.

Změny vlastností pozemního systému, které by mohly snížit toto riziko, zahrnují přísnější umístovací omezení a vylepšené sledovací výkony. Další možností je sledování počasí vně systému GBAS ve spojení s provozními omezeními během období vysoké ionosférické aktivity. Dokument Guidance Material popisuje tyto možnosti snížení rizik ionosféry, které jsou součástí návrhu SARPS.

Pozemní systém bude i nadále sledovat ionosférické chyby, ale odpovědnost za odpovídající zmírnění neobvyklých podmínek ionosféry je přidělena letadlu. GAEC D vybavení bude nyní také sledovat podmínky životního prostředí a provádět kontroly během určitých fází letu, aby se minimalizovala pravděpodobnost vytvoření nebezpečných informací. Při ověřování způsobilosti systémů pro provoz CAT III musí být prokázáno, že každá ionosférická chyba bude detekována jak pozemním, tak i palubním systémem. Aby bylo možné využít kombinaci pozemních a palubních monitorovacích funkcí, musí být zavedeno dodatečné omezení. V tomto případě se jedná o poziční omezení, které je v současném navrhovaném standardu definováno na pět kilometrů. Toto poziční omezení pozemního systému bylo stanoveno také na základě odlišnosti účinků ionosférické chyby mezi vzdálenostmi referenčního bodu pozemního systému a polohou letadla. [7] [17]

11.4 Přesnost určování vzdálenosti

GAST D koncepce navrhuje dva nové požadavky pro minimální výkonnost sledování zdroje určování vzdálenosti. V obou požadavcích je definována pro GAEC D vybavení 30 sekundová diferenční korekce pro opravu polohy při odchýleném přiblížování. První požadavek stanovuje závislost nepřesnosti pseudovzdálenosti (E_r) na pravděpodobnosti chybné detekce (P_{md} - Probability of Missed Detection). Také vymezuje oblast výkonnosti zdroje určování vzdálenosti, ale bez ohledu na pravděpodobnost selhání zdroje. Na následujícím schématu (*Obrázek 14*) je tato oblast znázorněna a v tabulce (*Tabulka 8*) jsou definované její hodnoty jako minimální P_{md} , při kterých pozemní systém zajišťuje podmínky pro určování vzdálenosti s určitou chybou. [7]

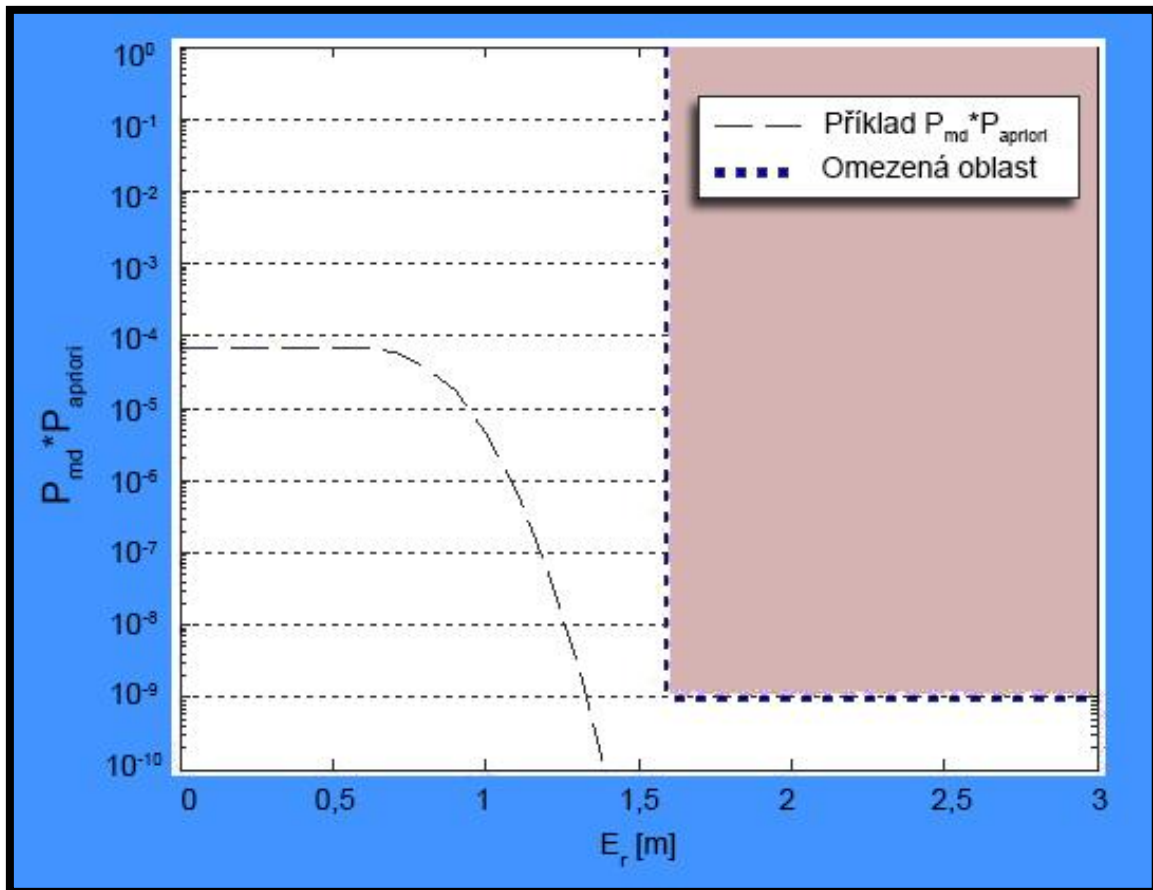


Obrázek 14 – Příklad závislosti P_{md} na E_r

Pravděpodobnost chybné detekce P_{md}	Chyba pseudovzdálenosti E_r [m]
$P_{md} \leq 1$	$0 \leq E_r < 0,75$
$P_{md} \leq 10^{(-2,56* E_r +1,92)}$	$0,75 \leq E_r < 2,7$
$P_{md} \leq 10^{-5}$	$2,7 \leq E_r < \infty$

Tabulka 8 - Hodnoty chyb pseudovzdálenosti

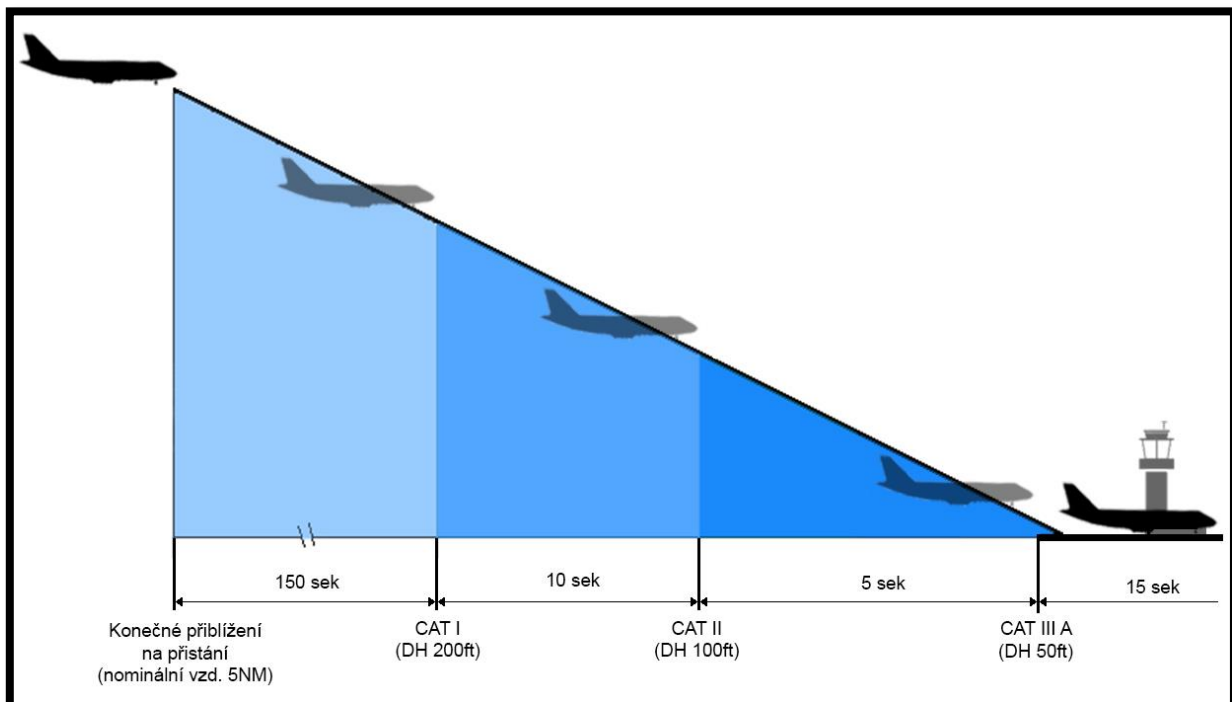
Druhý požadavek již uvažuje s pravděpodobností selhání konkrétního zdroje určování vzdálenosti (P_{apriori}). Tudíž vymezená oblast výkonnosti P_{md} je vázaná s podmíněnou pravděpodobností selhání zdroje ($P_{\text{md}} * P_{\text{apriori}}$). Tato výkonnostní oblast je zobrazena na schématu níže (Obrázek 15). Podmíněná pravděpodobnost selhání zdroje se používá pro vyhodnocení splnění podmínek, proto by tento druhý požadavek měl být využíván v analýze při prokázání vyhovění hraničních požadavků FAST C a D. [7]



Obrázek 15 - Příklad závislosti $P_{\text{md}} * P_{\text{apriori}}$ na E_r

12. Provozní návrh pro GAST D

Následující kapitola popisuje koncept provozu GAST D s přihlédnutím na navrhované požadavky integrity systému a kontinuity služeb. Doba vystavení integrity a kontinuity služby GAST D může být v provozu minimálně 15 sekund pro každé přistání (v závislosti na čase mezi výškou letu 200 ft a 50 ft). Pokud bude přiblížení na přistání prováděno bočním vedením, měla by být doba vystavení nejméně 30 sekund. V bodě (přibližně ve vzdálenosti 5NM) vyznačující počátek fáze konečného přiblížení na přistání je vhodná doba vystavení 150 sekund před dosažením výšky rozhodnutí 200 ft. Navrhované výkonnostní a funkční požadavky GAST D jsou určeny k podpoře přiblížení na přistání za podmínek nízké dohlednosti CAT III B. Tyto požadavky byly odvozeny z přijatelných výkonů, které jsou v souladu s aktuálními požadavky osvědčování letové způsobilosti letadla s možností automatického přistání. To znamená, že provozní schválení bude určovat, jaké letové výkony mohou být povoleny pro dané letadlo. [7]



Obrázek 16 - Provozní koncept GAST D

13. Palubní Avionika

Palubní vybavení určený pro příjem služeb GBAS se skládá z GNSS přijímače, který přijímá a dekóduje signály z družic, a z VDB přijímače sloužící k příjmu a dekódování navigačních zpráv vysílaných z pozemního systému GBAS. Hlavními funkcemi palubního systému jsou:

- příjem a dekódování satelitních a GBAS (VDB) signálů,
- vyhodnocování dostupnosti služeb,
- určování pozice a jeho integrity.

13.1 Nová palubní koncepce

Požadavky na avioniku GBAS jsou standardizovány v ANNEX 10/I a v MOPS RTCA/DO-253C. Ve standardu MOPS (Minimum Operational Performance Standards) je popsán, jakým způsobem je možno dosáhnout ladění signálu z pozemního systému, ze kterého je poskytováno několik služeb přesného přiblížení. Nebude-li využívána diferenční korekce z pozemní stanice GBAS, musí být funkce palubního přijímače v souladu s RTCA/DO-229C (pokud je SBAS k dispozici) nebo s FAA TSO-C129A třídy B1 nebo C1. Při procesu ověřování způsobilosti palubní avioniky se vychází z požadavků několika dokumentů, např.: AC 120-28D, AC 120-29D, CS AWO Subpart 1. Většina dodatečných požadavků nebudou vloženy do SARPS, ale budou součástí poradenských materiálů, které budou sloužit jako podklady pro vývoj letadel a schvalování provozních kritérií. Například pro dosažení požadované přesnosti a integrity na provoz v CAT III, bude nutné zavést přísnější ověřování geometrie družic. Do návrhu změn SARPS jsou však začleněny metody pro zmírnění možných chyb způsobené ionosférickými anomáliemi. Tyto metody zmírnění zahrnují kombinaci sledování palubního a pozemního zařízení s novými níže uvedenými požadavky:

- nové požadavky na dodatečné informace z pozemního systému,
- nové požadavky týkající se vysílacích protokolů,
- nové požadavky pro sledování ionosférického gradientu pozemním systémem,



- nové umístovací požadavky pozemního systému k omezení chyb, které by mohli být nezjistitelné mezi pozemním nebo palubním sledováním.

Aktuální návrh pro GAST D vychází z dostatečných informací o výkonnosti jednotlivých služeb, které umožňují posuzování celkového výkonu palubního systému během osvědčování způsobilosti. Dle tohoto návrhu je možné celkovou systémovou chybu (TSE) palubního zařízení odvodit z funkce ověřování parametrů geometrie družic, z palubního monitorování (např. ionosférické anomálie, porucha referenčního přijímače) a z pozemního sledování (např. určování zdrojů chyb).

V současné době se také pracuje na návrhu změn ANNEX 10. Nejvýraznější změnou je výrazné snížení množství ANNEX 10 materiálů týkající se podrobných definicí bezchybného přijímače. Druhou větší změnou je vložení kompletní kvalifikace požadavků na výkonnost (přesnost, integrita, kontinuita a dostupnost) do poradenských materiálů, místo do hlavního obsahu nebo technických příloh ICAO standardů. Nová koncepce palubních standardů je rozdělena na standardní a nestandardní požadavky. Standardní požadavky popsané níže jsou platné pro všechny výkonnostní parametry (přesnost, integrita, kontinuita, dostupnost) a VDB zprávy. Nové normy pro GBAS avioniku jsou vyvíjeny tak, aby byly co nejvíce podobné normám avioniky ILS. Je to z důvodu začlenění GBAS avioniky do letadlových systémů s cílem minimalizovat dopad instalace do stávající avioniky (např. měřítko displeje a výstupy odchylek budou totožné jako u ILS). Všechna avionika, která bude poskytovat vodící kurz konečné přiblížení a sestupovou rovinu pro provoz GLS, musí být kompatibilní se všemi konfiguracemi pozemních stanic.[7][16]

Nové standardní palubní požadavky:

- zachování stávajících požadavků včetně parametrů GAEC D zařízení, které neposkytují vymezení chyb NSE,
- nové požadavky týkající se nových vysílacích parametrů ve zprávách MT 2 a MT 11,
- výkonnost GAST D signálu v prostoru na bezporuchovém přijímači je ekvivalentní s GAST C standardy,
- dodatečné požadavky sledování anomálií ionosféry pro palubní zařízení,

- umíst'ovací omezení pozemního systému k omezení nezjistitelných chyb mezi sledování palubního a pozemního systému.

Nové nestandardní palubní požadavky:

- dodatečný požadavek na ověřování geometrie družic ke stanovení TSE pro schválení provozu v CAT III,
- dodatečné požadavky sledování poruch referenčního přijímače,
- výsledná dostupnost vedení musí být v souladu s provozním využitím systému,

13.2 Avionika GBAS

Palubní vybavení GBAS při přiblížení na přistání automaticky vybírá nejvyšší službu podporované oběma segmenty, palubním a pozemním. Pokud požadovaná služba není k dispozici, palubní zařízení vybere nižší dostupnou službu a prohlásí jí za provozuschopnou. V průběhu provozu GBAS je možné nastavit dva palubní režimy: zvolený typ služby (SST) a aktivní typ služby (AST). SST je režim, kdy palubní zařízení má přednastavenou službu, kterou zvolí, je-li k dispozici. Při AST palubní zařízení využívá aktuální službu v určitém čase. Obdobně jako u ILS a MLS, bude avionika GBAS poskytovat boční a vertikální vedení k definovanému kurzu konečného přiblížení a ovšem také sestupovou rovinu.

Palubní přijímač aplikuje obdrženou pseudovzdálenost a opravy vysílané ze země, a následně vypočítá polohu, rychlost a čas (PVT – Position, Velocity, Time), které jsou důležité k vedení letadla na přistání. Současně s PVT jsou vypočítávány hranice chyb a monitorovány možné hrozby v prostoru. Všechny tyto údaje z palubního přijímače jsou vysílány přes TCP/IP do grafického palubního GBAS zařízení (palubní displej). Toto jsou však základní výstupní údaje, které jsou pro přísnější požadavky na provoz s GAST D nedostačující. Z toho důvodu je zapotřebí implementovat dodatečné monitorovací systémy a nové palubní algoritmy pro sledování integrity. V současné době jsou tyto dodatečné palubní implementace ve stádiu dalšího vývoje a testování. Na schématu níže (*Obrázek 17*) je znázorněna zjednodušená palubní soustava pro GBAS služby.

Pro palubní vybavení schopné provozu GAST D, tj. GAEC D, existuje několik požadavků, které musí být za všech okolností splněny, a to i v případě, že služba GAST D

vyžadující na přiblížení není v daném okamžiku vybrán (tj. není vybrán nebo služba není aktivní). Například sledování pro provedení zmírnění ionosférické chyby je vyžadováno předtím, než letadlo uskuteční konečné přiblížení na přistání. Jelikož GAST D lze zvolit kdykoliv během fáze přiblížení, musí palubní přijímač vykonávat sledování služby GAST D po celou dobu očekávání na zvolení.

Vývoj avioniky pro GLS přistání je rozděleno na mezinárodní leteckou dopravu, regionální/business dopravu a všeobecné letectví. Mezi nejdůležitější výrobce avioniky pro přesné přiblížení patří Honeywell, Thales a firma Rockwell Collins. Jelikož popsat veškerou avioniku těchto výrobců by bylo nad rámec této práce, bude v následujících řádcích věnována pozornost pouze přístrojům firmy Honeywell. Firma Honeywell v současné době pracuje na vývoji těchto palubních přístrojů:

Mezinárodní letecká doprava	Regionální/business doprava	Všeobecné letectví
INR (Integrated Navigation Receiver)	VIDL-G (VOR/ILS Data Link with GPS)	KSN-770
MMR-755 (Multi-Mode Receiver)		

Tabulka 9 - Avionika firmy Honeywell

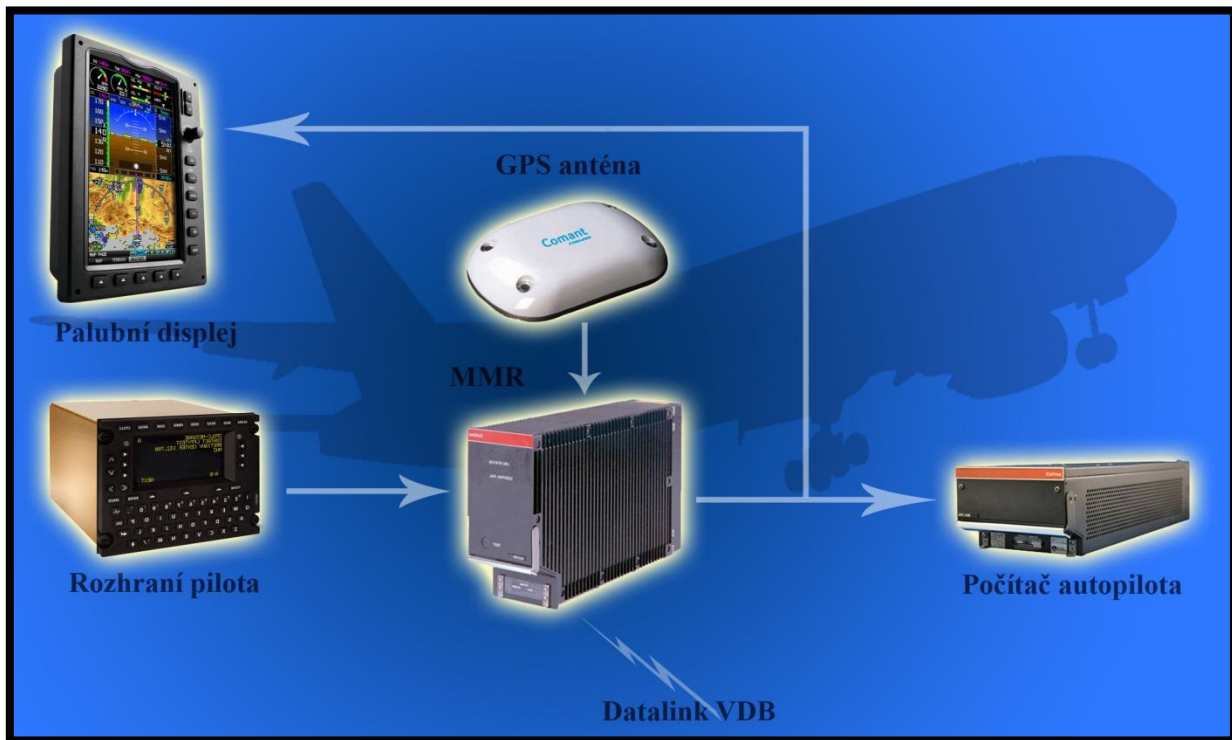
Přijímač INR je navržen speciálně pro Boeing 747. Kromě GPS-GBAS podporuje také VOR navigaci a přistání s ILS. Přiblížení na přistání pomocí GBAS je momentálně jen do CAT I. V budoucnu bude tento přijímač zpracovávat signály i z ostatních družicových konstelací (Galileo, GLONASS a další). Vývoj se především zaměřuje na dosažení podpory GLS v CAT II a III, samozřejmě s automatickým přistáním. Tento INR přijímač je základem pro více režimový přijímač MMR-755. Přijímač MMR-755 na podporu GLS v CAT II a III je v současné době ve fázi provozních zkoušek. Hlavní navigační funkcí přístroje VIDL-G je VOR navigace a přistání s ILS, dále je rozšířen o příjem GPS signálů. Oproti INR je schopný podpory nejen služeb GBAS, ale i SBAS. Avšak stejně jako přijímač INR zatím podporuje GLS jen do CAT I. Je schopný splnění požadavků RNP-0,1 a v budoucnu také přesné přiblížení na přistání GBAS za nízké dohlednosti. KSN-770 je plnohodnotný navigační palubní přístroj s možností plánování letů. Slouží především k navigaci po trati pomocí VOR.

Obsahuje senzor k přijímání GBAS VDB, takže je schopno GLS (LAAS). Navíc má zabudovaný GRAS systém. [7][11] [23]

13.3 MMR (Multi-mode receiver)

V souladu s ICAO standardů a doporučených postupů pro zavedení nevizuálních přístrojů, které umožňují příjem více služeb poskytující přesné přiblížení na přistání, byl leteckým průmyslem vyvinut více režimový přijímač MMR. Tento přijímač je schopen podpory služeb přesného přiblížení ILS, MLS a GNSS (GBAS a případně SBAS). Přesné přiblížení pomocí GBAS je současnosti dosaženo pouze do CAT I. Avšak již probíhají zkušební lety s MMR přijímači splňující podmínky GLS v CAT II až III. Přijímač MMR se rychle stal v obchodní letecké dopravě preferovaným zařízením pro integraci GBAS funkcí. Přispívá k tomu především snadná instalace GBAS komponentů do současných ILS zařízení. Navíc také MMR může použít již nainstalovanou ILS a/nebo VOR anténu k příjmu data linku VDB, čímž se odstraňuje potřeba instalace další antény.

MMR přijímač vypočítává PVT výstupy, které následně poskytuje systému FMS (Flight Management System - systém řízení letu). Systém FMS je pak zodpovědný za řízení multisenzorového navigačního systému. Je-li GLS aktivní, může MMR současně podporovat jak funkci přesného přiblížení na přistání, tak pouze funkci výpočtu základních navigačních parametrů (PVT výstupy). Pozemní systém GBAS musí tedy poskytnout podporu pro obě funkce najednou, ale palubní přijímač může použít navigační data z GBAS jen pro funkci přiblížení a na výpočet PVT výstupů využít družice GPS. To znamená, že palubní přijímač uživatele musí být schopný vytvářet dvě různá řešení najednou. [16][23]



Obrázek 17 - Palubní soustava pro GBAS služby

13.4 Avionika SBAS

Současná palubní avionika pro systém SBAS využívá především přijímače GPS, neboť provoz RNAV je zejména poskytován službou WAAS na území USA. Mezi výrobce palubní avioniky pro WAAS/SBAS patří: Garmin, AVIDYNE & Bendix-King, Universal Avionics, Rockwell Collins, CMC Electronics a Honeywell. Firma Garmin je ze všech výrobců nejúspěšnější, protože již prodala více jak 64 000 zařízení podporující WAAS LPV.[12]

14. Zavedení GBAS

14.1 Současný vývoj GBAS

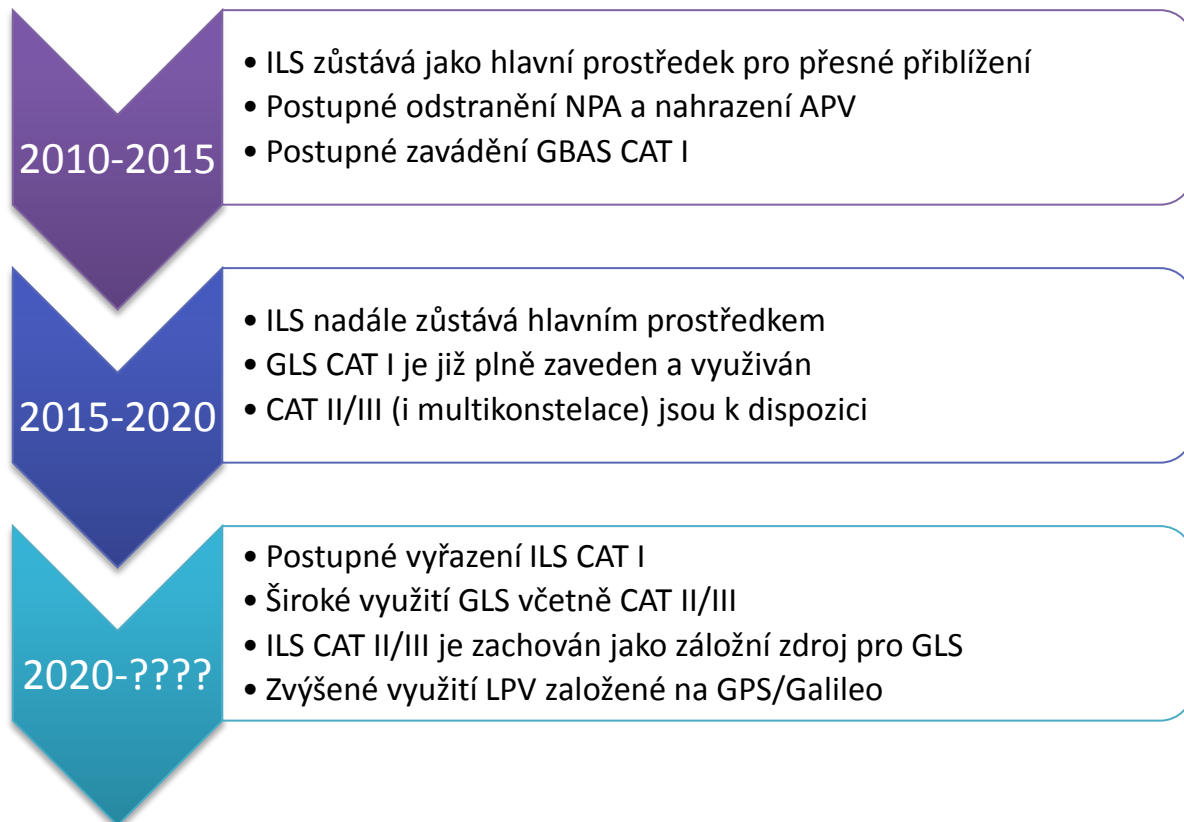
Vývoj a realizace GBAS není v současné době snadným úkolem, jelikož je třeba vyřešit několik základních otázek, díky kterým bude zajištěno správné nasazení do funkce.

- Některé evropské státy znepokojuje aktuální schopnost družicové navigace při provozu s nízkou dohledností, zejména v závislosti s možným rizikem rušení způsobené činností sluneční erupce.
- Snížení nákladů na nové palubní zařízení a s nimi související renovační náklady.
- Je potřeba vyvíjet vhodná dostupná opatření pro případy výpadků systému.
- Je nutné potvrzení, že GLS s rozšířením GBAS může skutečně přinést spolehlivější a bezpečnější provoz pro všechny letové úkony, až do CAT III.

Výkonnost a omezení ILS jsou dobře známy, proto ceny palubního a pozemního vybavení jsou relativně nízké, kdežto GBAS systém má v současné době nízkou úroveň výroby, tudíž jsou jeho náklady na výrobu vyšší. Jednou z možností, jak zajistit přesné přiblížení na přistání v době výpadku systému GBAS je zachování systému ILS, který by poskytl podporu alespoň pro provoz s naváděním pomocí ILS. Tato varianta je uvažována i v závislosti během přechodu na systém GBAS, než bude dosažen celosvětový přechod. V případě období s vysokou sluneční aktivitou je zachování systému ILS také jednou z možností, jak zajistit provoz během neschopnosti družicové navigace.

Letecký průmysl přijal systém GBAS, jelikož se vyznačuje mnoha výhodami, které se již začali projevovat při nasazení GBAS na podporu CAT I. Již první zkoušky prokázaly, že GBAS určený pro provoz CAT I poskytuje lepší úroveň služeb. Dokazuje se tak, že služby GLS jsou schopny podpořit přiblížení až do CAT III. Začátkem roku 2010 bylo dohodnuto vytvoření norem pro ověřování GBAS CAT III. První GLS přistání s určitými omezeními proběhlo na letišti v Sydney v červnu roku 2011. O rok později v únoru bylo na letišti v Brémách v Německu provedeno první plně provozní GLS přistání v CAT I. V probíhajícím roce jsou prováděny na letišti v Atlantic City letové zkoušky s prototypem avioniky (Honeywell INR) a pozemním zařízením SLS-4000 pro provoz v CAT II a III. První provozní

činnosti systémů pro CAT III je naplánováno na období tohoto roku až do roku 2015 (v USA). Další realizační plány pro Evropský kontinent jsou znázorněny na schématu níže (*Obrázek 18*). Na realizačním plánu je patrné, že ILS v oblasti přesného přiblížení bude mít na dobu nejméně 15 let stále významnou roli.



Obrázek 18 - Realizační plán dle ICAO pro Evropu

Na obrázku níže (*Obrázek 19*) je zobrazeno aktuální celosvětové rozmístění pozemních stanic GBAS (i jeho předchůdce SCAT-I). Pozemní stanice jsou budovány v počtu okolo deseti stanic za rok. Evropský kontinent realizuje implementaci CAT II a CAT III prostřednictvím závazku s SESAR (Single European Sky ATM Research). Ve spojených státech proběhli poslední pozemní instalace v Newarku a Houstonu, a některé pozemní stanice jsou již schopna podpory provozu CAT III. Největší výrobci letadel Boeing a Airbus mají

větší část své letadlové flotily již certifikovány pro provoz CAT I. Oba výrobci se aktivně podíleli na tvorbě požadavků certifikace a letové způsobilosti pro CAT III. [21] [28][30][31]

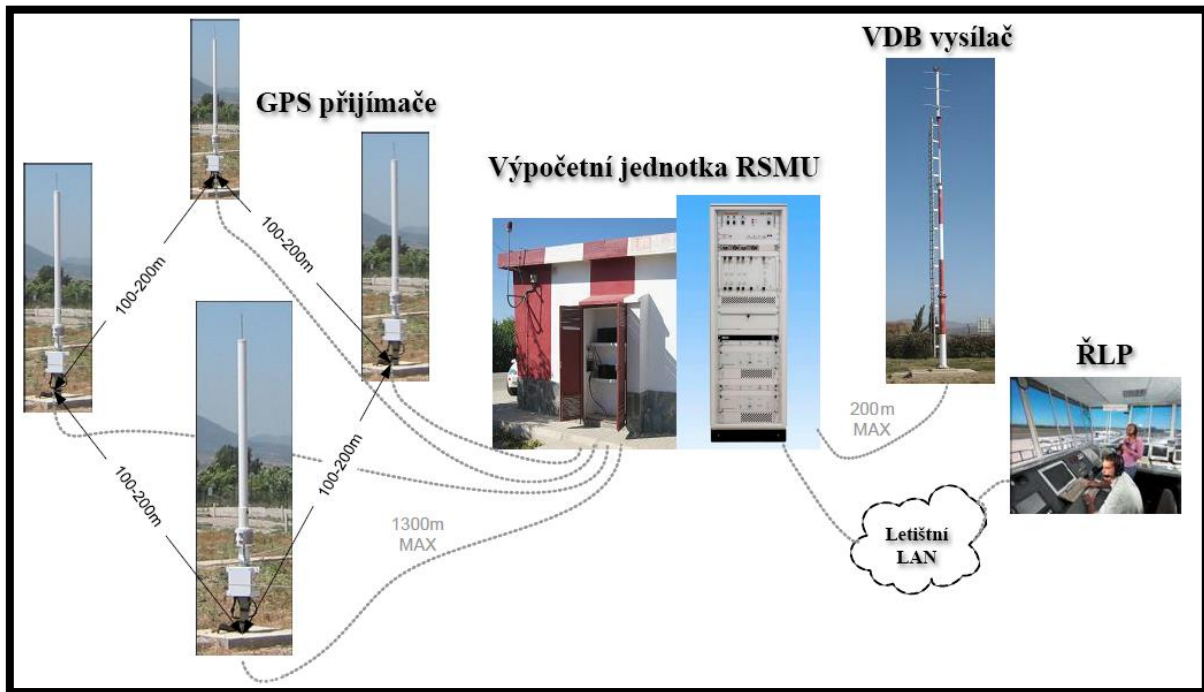


Obrázek 19 - Rozmístění pozemních stanic GBAS

14.2 Instalace pozemní stanice GBAS

Pozemní rozšíření GBAS zahrnuje výpočtovou jednotkou, několik referenčních přijímačů a VDB vysílač. Pro názorný popis instalace GBAS, budou tyto jednotlivé prvky popsány prostřednictvím zařízení od firmy Honeywell. Jako výpočtovou jednotku Honeywell používá RSMU (Remote Satellite Measurement Unit), který má 48 kanálový GPS přijímač a před instalací vyžaduje průzkum oblasti kvůli dodržení umístěvacím omezením. Tato výpočtová jednotka je napojena na VDB přijímač, který je umístěn v maximální vzdálenosti 200 m. Dále je propojený s řadou přijímačů signálu GPS, které jsou od sebe vzdáleny v rozmezí 100 až 200 m, a vzdálenost těchto přijímačů od RSMU je na nejvýše 1 300 m. Nutné je také zapojení do

letištní síť, přes kterou je kontrolován službou řízení letového provozu. Celý tento pozemní systém GBAS od Honeywell nese označení SLS-4000 (viz. *Obrázek 20*). Tento SLS-4000 získal v roce 2009 certifikaci od FAA pro provoz v CAT I a v současné době je nainstalován na letišti v Atlantic City, Olathe, Memphis, Minneapolis, Chicago, Newark, Guam, Sydney, Rio de Janeiro, Brémách a Malaze. [26] [27]



Obrázek 20 - Pozemní systém GBAS (SLS-4000)

14.3 Provozní výhody

Pozemní systém SLS-4000 poskytuje přiblížení s vodící dráhou, kterou Honeywell označil jako SmartPath. Tento SmartPath přináší pro uživatele mnoho výhod. Systém ILS umožňuje přistání jen v jedné vertikální rovině, která směřovala přistávající letadla do stejného bodu dotyku. GLS poskytuje proměnlivou geometrii přistávací dráhy, a tak umožňuje letadlům přistávat na více bodech na dráze. Je to dáno tím, že sestupová rovina ILS nelze přeprogramovat, proto letadla musí při každém přiblížení klesat pod stejným úhlem. GLS úhel klesání dokáže měnit, a tak díky tomu pomáhá se zmenšením vlivu turbulence v úplavu za letadly na přilehlých drahách. Jelikož GLS nemá kritické zóny jako ILS, umožňuje větší

svobodu pohybu letadel i vozidel po pohybových plochách. Dále nabízí přesné přiblížení na letištích, kde z důvodu složitosti terénu ILS nemohl. Díky přesnému bočnímu a vertikálnímu vedení je zajištěna vysoká úroveň bezpečnosti.

GLS s případnou kombinací RNAV/RNP může poskytnout opakovatelné zakřivené dráhy na konci každé RWY, zkrátit letovou dráhu na každém konci RWY a může přinést nové přibližovací dráhy. Zavedením nových efektivních drah se umožní menší spotřeba paliva. Mezi další budoucí povozní výhody patří: možnost přesné vedení odletů a přiblížení po zakřivené dráze pro letadla bez systému FMS. [14] [24] [25] [26] [27]

Výhody pro ANSP
Lepší dostupnost služeb než ILS
Kratší letové zkoušky
Nižší náklady na údržbu
Přenositelnost pozemní stanice
Každá pozemní stanice je schopna zvládnout 28 různých přiblížení
Omezení hluku díky kratším a efektivnějším přibližovacím drahám
Nízká pořizovací cena (jeden GLS slouží pro všechny dráhy)
Stabilita signálu (není rušen FM frekvencí a pohyby vozidel a letadel)
Zvýšení efektivity letiště (možnost více souběžných přiblížení)
Nové efektivnější trasy sníží emise
Snížení zpoždění letů

Tabulka 10 - Výhody pro ANSP

14.4 Realizace GBAS

Pro realizaci GBAS, především pro služby GAST D je důležité shrnout navrhované změny norem, které budou během zavedení systémů do provozu podstatné. Následující návrhy jsou obsaženy v novém návrhu SARPs a aktualizovaném MOPS RTCA/DO-253C.[7]

- Dodatečné výkonnostní požadavky sledování pro pozemní systém.

- Dodatečné monitorování ionosféry a použití 30 sekundové korekce v palubním zařízení s podporou dalších informací z pozemního systému.
- Doplňující požadavky sledování ionosféry pro pozemní systém.
- Dodatečné požadavky na umíst'ovací omezení pro pozemní systém.
- Zavedení B-value sledování v avionice pro řešení zbytkových rizik.
- Další palubní požadavky na ověřování geometrie družic.
- Doplňkové parametry úrovně ochrany pro palubní monitorování.
- Změny pozemních a palubních norem, které umožní podporu více typů služeb při zachování vzájemné spolupráce stávajících systémů.
- Dodatečné požadavky na riziko integrity pro pozemní systém.

Při zavedení GBAS do provozu je nutné brát v úvahu celou řadu ovlivňujících kritérií. Z tohoto důvodu jsem vypracoval provozní realizační proces, pomocí kterého by mohla být v praxi zaváděna služba GBAS. Pořadí segmentů Řízení letového provozu (ŘLP) a Letové informační služby (LIS) nemusí být prováděno tak, jak je uvedeno na schématu níže, neboť tyto organizace jsou spolu spojené a některé jejich činnosti jsou provázané.



Obrázek 21 - Provozní proces realizace GBAS

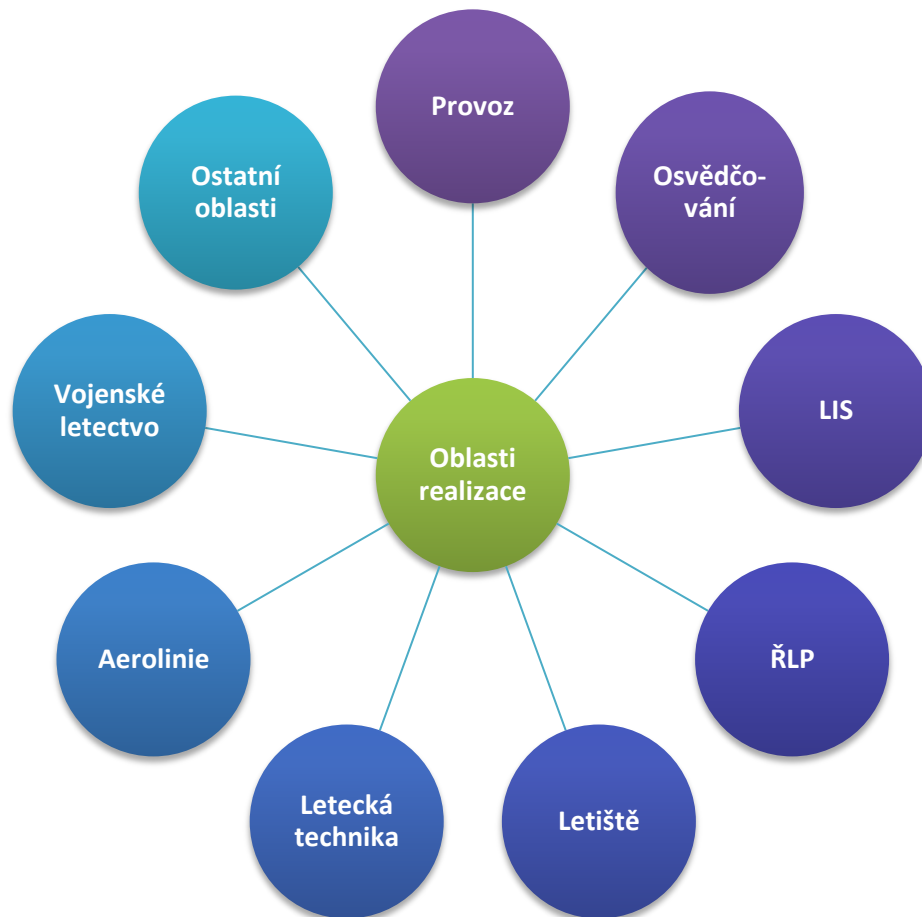
Plánování a organizace

Při plánování by se kromě technickoprovozních otázek měly řešit také ekonomické aspekty, které jsou důležité pro stanovení nejvíce nákladných realizačních oblastí. Různé organizace již publikovali řadu dokumentů, které mohou posloužit jako zdroje při plánování provozu z ekonomického hlediska. Mezi tyto dokumenty patří:

- EUROCONTROL XLS business case

- Cir 257 Economics of Satellite-based Air Navigation Services
- Doc 9161 Manual on Air Navigation Services Economics

Úspěšnost realizace závisí na společném úsilí všech subjektů, které tvoří zdroje zajišťující dokončení realizačního programu. Je nezbytné, aby uživatelé civilního i vojenského letectví byly zahrnuty do realizačního týmu, ve kterém mohou sdělit své specifické požadavky. Jedině tak může být zajištěna účinná a efektivní implementace služby GBAS. Realizační tým by měl být složen ze subjektů odpovídající za různé oblasti v letectví. Tyto oblasti jsou znázorněny na schématu níže.



Obrázek 22 - Oblasti provozní realizace GBAS

Osoby v oblasti provozu jsou odpovědní především za provozní schválení, výcvik personálu a sestavení letových, organizačních a provozních postupů. V oblasti osvědčování

způsobilosti má personál na starost schvalování způsobilosti nejen avioniky a systémů, ale také technického a provozního personálu. Letová informační služba se podílí na tvorbě a poskytování zpráv NOTAM (Notice To Airmen), leteckých databází a dalších důležitých informací pro zavedení a provoz služby GLS. Řízení letového provozu je odpovědné za vývoj postupů řízení letového provozu a za výcvik řídících. Úkolem provozovatele letiště je rozvoj letištní infrastruktury na podporu přesného přiblížení GBAS. Inženýři ze sekce letecké techniky jsou odpovědní za navrhování a údržbu systémů a zařízení. Realizační tým tvoří také zástupci z leteckých společností a vojenského letectva. Do realizační oblasti patří tak též zástupci obchodních a komerčních oddělení letectva, zeměměřiči, výrobci zařízení, přijímačů a systémů GBAS a různé odbory, které mohou používat GNSS. [16]

Výcvik

Přechod na GNSS představuje významnou změnu, a proto vyžaduje komplexní vzdělávací program pro všechny zúčastněné subjekty. Je velmi důležité, aby osoby s rozhodujícími pravomocemi měli širokou znalost systému GNSS a platné průkazy způsobilosti. Každá osoba, která má přístup k zařízení a vybavení systému GBAS nebo pouze využívá či provozuje službu GBAS, musí minimálně splnit požadavky na způsobilost leteckého personálu civilního letectví obsažené v ANNEX 1. Výcvik zaměstnanců pro služby GBAS by měl zahrnovat tyto následující základní školicí okruhy:

- základní teorie o GNSS,
- výkonnost a omezení GBAS,
- GBAS postupy,
- palubní avionika,
- současné předpisy,
- koncepce provozu,
- údržbové postupy,
- nouzové postupy,
- specifický výcvik pro plánování, rozvoj a provozování, a
- specifický výcvikový program pro piloty.

Ověřování

Pozemní systém GBAS nemá tolik provozních omezení jako současný ILS, ale i přesto je nutné provádět ověřovací zkoušky k eliminaci případných chyb. Tyto chyby se mohou na každém letišti lišit. Již během instalace zařízení pozemního systému GBAS je nutné dodržet požadavky na instalace (např. umístovací omezení 5 km pro GAST D). Ověřovací proces je velmi důležitý pro zajištění správné výkonnosti (přesnost, integrita, kontinuita a dostupnost) systému GBAS. Tyto činnosti ověřování se netýkají pouze systémů, ale také služeb, které odpovídají za poskytování podpory přesného přiblížení na přistání pomocí GBAS. Tento ověřovací proces je pro provozovatele velmi nákladnou položkou. Do této části realizačního procesu je zahrnuto:

- ověřování výkonnosti pozemního systému,
- ověřování navigačních a letových postupů,
- ověřování kvality signálu v prostoru,
- ověřování palubní avioniky,
- testování při nouzových situacích,
- ověřování negativních vlivů na provoz,
- ověřování koordinace mezi jednotlivými službami,
- a další ověřovací činnosti.

Řízení letového provozu

Zavedení GBAS přinese výhody v dopravním toku na letištích, neboť bude umožněno zmenšení rozestupů mezi přistávajícími letadly, a tím dojde ke zvýšení kapacity vzdušného prostoru. Především se zvýší počet přistávacích letadel za podmínek nízké dohlednosti, než je tomu nyní u ILS. Tyto výhody však přinášejí výrazné zvýšení pracovní vytíženosti na pracovníky služby řízení leteckého provozu. Což může během letové špičky na letišti způsobit zvýšení rizika nepřesnosti a ztráty orientace řídicího letového provozu. Systém GBAS nemá tolik provozních omezení jako ILS, především není rušeno pohybujícími se objekty na letišti, a proto se může „bezstarostně“ věnovat přistávajícím letadlům. Jelikož v počátcích zavádění GBAS přinese s sebou řadu zkoušek, měla by služba ŘLP vypracovat pracovní postupy pro

provoz během těchto testů a koordinační postupy s ostatními stanovišti na letišti. V pozdějších fázích, kdy systém GBAS již bude plně funkční, by se měly zavést navigační postupy pro případ, kdy během provozu nebude mít systém GBAS přijatelnou výkonnost vlivem nedostatečného družicového pokrytí či zvýšené sluneční aktivity (nebo ionosférické bouře). Ke zmírnění zvýšené pracovní zátěže na řídicího je nutné zavést kvalitnější výcvikové a školicí programy. Dále je zapotřebí vytvořit dodatečný výcvik pro seznámení se s navigačními postupy systému GBAS.

Letová informační služba

Úkolem LIS je poskytovat informace, které mohou prospět letadlům přistávající na dané letišti. Z tohoto důvodu vydává NOTAM (Notice To Airmen), ve kterém jsou zahrnuty informace o stavu letiště a s nimi související zařízení a služby, včetně informací o stavu pohybových ploch a o změnách provozuschopnosti navigačních zařízení. To znamená, že po zavedení systému GBAS musí být poskytovány informace o stavu tohoto zařízení v NOTAMu.[4]

Bezpečnost

Pro bezpečný provoz GBAS na daném letišti je nutné provést identifikaci, analýzu a následné zmírnění rizika, které by mohli způsobit katastrofální následky. Tento proces se musí provádět po celou dobu provozního života GBAS systému, proto je zapotřebí vytvořit speciální oddělení zabývající se bezpečným řízením rizik. Bezpečnost provozu GBAS musí být řízené podle předpisu ANNEX 11, který vyžaduje posouzení bezpečnosti před významnými změnami související se službou ŘLP. Dále je zapotřebí vytvořit bezpečnostní plán, který bude obsahovat bezpečnostní postupy, bezpečnostní kontroly, zpracování dat a další důležité bezpečnostní činnosti.

Provozní schválení

Poslední částí provozního realizačního procesu je osvědčování způsobilosti zavedeného systému GBAS pro získání provozního schválení. Jednotlivá osvědčení o způsobilosti pro pozemní zařízení a avioniku již bylo zmíněno v přechozích kapitolách.

14.5 Využití GBAS CAT I

Předběžné letové zkoušky prováděné v simulátoru A330 ukázaly, že stávající GBAS CAT I by mohl být využitelný pro přiblížení CAT II, avšak za podmínky, že chyby vzniklé ionosférickou anomálií během slunečné bouře, budou zmírněny (provozně nebo technicky). Díky tomuto dalšímu využití GBAS CAT I umožní zlepšené přiblížení za nízké dohlednosti letadlům leteckých společností, které již investovaly do systému GBAS CAT I. Testy v simulátoru A330 (úroveň D - plně pohyblivý simulátor) prováděl EUROCONTROL ve spolupráci s Technickou univerzitou v Berlíně. Účelem testu bylo zjistit, zda neodhalení nejhorších chyb během provozu v CAT I budou akceptovatelné i v CAT II. Tato zkouška byla prováděna i pro novou přibližovací kvalifikaci zvanou CAT II OTS (Other Than Standard), která umožňuje letadlu klesnout do DH 100 ft nad dráhou, na které nejsou splněny veškeré požadavky pro CAT II. Tato nová kvalifikace provozu je zavedena v EU OPS 1. CAT II OTS zmírňuje požadavky na přibližovací světelnou soustavu, ale za zvýšených požadavků RVR a vyšších požadavků na vedení (na automatické přistání). Nejhorší chybou GBAS CAT I je vertikální odchylka s hodnotou 10 m. Testy tedy prokázaly, že odchylka ± 10 metrů standardizovaného systému GBAS CAT I je stále přijatelná pro provoz v CAT II. Během zkoušek přistálo letadlo s automatickým přistáním vždy ve vymezeném přistávacím obdélníku. Dále se prováděli zkoušky v CAT I za podmínek ionosférických událostí, které způsobovaly vertikální vychýlení až 35 metrů. Předběžné zkoušky ukázaly, že s touto vertikální chybou piloti prováděli průlet při nezdařeném přiblížení ve velmi pozdních fázích letu. Proto má-li být CAT II OTS s výškou rozhodnutí ve 100 ft, musí být tato vertikální chyba zmírněna dalšími prostředky.

V průběhu zkoušek se také prokazovala shodnost požadavků na přistávací výkonnost, jakou jsou OFZ (Obstacle Free Zone) definovaný v ICAO ANNEX 14/I a TDZ (Touchdown



Zone) vymezený v FAA AC-120-28D a EASA CS AWO. Kromě výhod pro letecké společnosti nabízí toto další využití GBAS CAT I také zlepšení dopravního toku za snížené viditelnosti. Neboť současný systém ILS vyžaduje větší rozestupy mezi letadly blížící se do fáze konečného přiblížení v CAT II/III. Následující kroky ve vývoji směřují k vyhledání prostředků pro detekci a zmírnění chyb způsobené anomáliemi ionosféry. [10] [29]

15. Závěr

Současný systém GNSS nabízí tři možná rozšíření, ABAS, SBAS a GBAS. Prvně zmiňovaný systém ABAS v současném stádiu vývoje neposkytuje dostačující výkonnost pro využití při přesném přiblížení na přistání. Jak již bylo v obsahu této práce poznamenáno, potenciální využití ABAS pro přesné přiblížení je v závislosti na vývoji systému RAIM. Rozšíření SBAS nabízí výkonnost, která je přijatelná pro přesné vedení letadla, avšak pouze v CAT I. Posledním rozšířením je GBAS, který svou výkonností dosahuje takových výhod pro letecký provoz, že byla přijata mezinárodními organizacemi (ICAO, FAA, ECAC, EUROCONTROL, a další) jako primární systém pro přesné vedení letadla na přistání a také jako budoucí alternativu za současný systém ILS.

Stávající přistávací systém ILS se vyznačuje tolika omezeními, která jsou pro zvyšující se leteckou dopravou již provozně nepřijatelná, neboť výrazně ovlivňují úroveň efektivity provozu na letišti. GBAS, respektive GLS všechny provozní omezení ILS odstraňuje. Navíc přináší provozní výhody v podobě snížení nákladů na provoz a snížení dopadů na životní prostředí v okolí letišť. Podstatnou odlišností systému GLS oproti ILS spočívá v budoucím zavedení nových efektivních přiblížovacích drah s pomocí spojení GLS a RNAV/RNP. Díky těmto efektivnějším přiblížovacím drahám se sníží zpoždění letů, spotřeba paliva a hluk v okolí letiště. Především dojde k poklesu nutnosti přidělování vyčkávacích slotů pro přistávající letadla, což znamená zvýšení propustnosti vzdušného prostoru nad letištěm. Myslím si, že toto zvýšení propustnosti vzdušného prostoru způsobí změnu „slotové politiky“. Avšak není jisté, na jak dlouhou dobu bude tato zvýšená propustnost vzdušného prostoru k dispozici, neboť se zvyšujícím se zájmem o leteckou přepravu a snižováním nákladů letecké přepravy bude tento vzdušný prostor opět zaplněn.

Cílem mezinárodních organizací vytvářející standardy pro palubní avioniku je zajistit co možno nejmenší instalační zásahy do palubní soustavy. Proto se nová avionika GBAS podobá současným zařízením ILS, což obnáší výhodu během výcviku pilotů pro přechod ze systému ILS na GLS. Dle současných instalovaných pozemních zařízení GBAS lze vývoj palubní avioniky pro přesné přiblížení rozdělit do dvou oblastí. Jelikož jsou pozemní systémy GBAS zaváděny na větších letištích, tedy pro provoz velkých dopravních letadel, je první vývojová oblast zaměřena na tyto velká dopravní letadla, zejména na flotilu společnosti

Airbus a Boeing. Na menších a regionálních letištích v USA jsou poskytovány služby WAAS na podporu přesného přiblížení v CAT I (SBAS LPV 200). Tudiž druhá oblast vývoje palubní avioniky se soustřeďuje na menší, regionální a business letadla. Mimoto je patrné, jakým směrem je zaměřen implementační plán systému GBAS, tedy zavedení služby GLS na vnitrostátních a mezinárodních letištích. Toto je také dáno tím, že náklady na instalaci a údržbu systému GBAS jsou pro menší letiště nevýhodná, neboť přesné přiblížení pomocí SBAS nevyžaduje žádné speciální pozemní přibližovací zařízení.

Všechny výhody systému GBAS shrnuté v této práci budou dosaženy pouze za předpokladu úplného provozu GLS v CAT III a zavedení více frekvenčního přijímače pro získání navigačních informací z konstelací družic GPS, Galileo a dalších GNSS satelitních systémů. Mezinárodní organizace společně pracují na vytvoření nové koncepce požadavků pro provoz GBAS v CAT II a III, neboli GAST D standardy. Tyto nové standardy jsou téměř dokončené a již brzy dojde k jejímu schválení a budou tak začleněny do SARPů ANNEX 10. GAST D standardy jsou zaměřeny na podrobné řešení technickoprovozních otázek, zejména na parametry výkonnosti systému - integritu a kontinuitu, a zmírnění chyb způsobené vlivem ionosférických anomálií.

Cílem této diplomové práce je zpracovat studii na možná alternativa zabezpečení postupu přesného přiblížení s využitím GNSS do provozní úrovně CAT II/III. Z provedené studie vyplývá, že ze současných možností na podporu provozu v CAT II/III je uskutečnitelné pouze se systémem GBAS. Nicméně dle mého názoru až vývoj systému SBAS dosáhne podpory pro provoz v CAT III (LPV 50) může se stát možnou alternativou za systém GLS CAT II/III, avšak na menších letištích. Tato práce navíc zahrnuje návrh procesu zavedení systému GBAS do provozu. Dále obsahuje řešení, jaká případná využití mohou mít současné zařízení schopné provozu v CAT I. Bylo zjištěno, že stávající zařízení umožňují dosažení takové výkonnosti, která je dostačující pro provoz v CAT II.

16. Seznam zdrojů

- [1] Učebnice pilota vrtulníku PPL(H) část II, Ludvík Kulčák a kolektiv, CERM Akademické nakladatelství, Brno 2009, ISBN 978-80-7204-638-6
- [2] Letecký předpis L10/I - Civilní letecké telekomunikační služba – radionavigační prostředky, 2006, Ministerstvo dopravy ČR
- [3] Letecký předpis L6/I – Provoz letadel, 2012, Ministerstvo dopravy ČR
- [4] Air traffic management, Ludvík Kulčák a kolektiv, CERM Akademické nakladatelství, Brno 2002, ISBN 80-7204-229-7
- [5] Anglicko-letecký slovník, Ivan Řáda, Nakladatelství Leda, 2001, ISBN 80-85927-92-6
- [6] Základy leteckých navigačních zařízení II., Slavomír Vosecký a kol. Brno 1988, Vydavatelství Vojenské akademie Antonína Zápotockého
- [7] ICAO. GBAS CAT II/III Development Baseline SARPs and Conceptual Framework for the Proposal for GBAS to Support CAT III Operations. The NSP Working Group meeting, 17 – 28 May, 2010.
- [8] Overview of APV, Erwin Lassooij, ICAO Montreal
- [9] Vertical guidance GPS, Travis Holland, Flyer April 2011
- [10] CAT II/CAT OTS II operations using existing CAT I ground based augmentation system, Ferdinand Behrend, Oliver Lehmann, Technische Universität Berlin TUB, Berlin, Germany David De Smedt, Sylvie Grand-Perret, EUROCONTROL, Brussels, Belgium
- [11] GBAS and GLS Avionics, Dave Jensen, Honeywell, New Delhi 2010
- [12] FAA Global Navigation Satellite System Update, Deborah Lawrence, FAA 2011
- [13] Augmentation system principle and concept (GBAS), PildoLabs, ACAC 2011
- [14] GBAS: Quick Facts, FAA 2010
- [15] GBAS Tested and Demonstration Platform, DLR, German 2012
- [16] Doc 9849 AN/457 Global navigation satellite system (GNSS) manual, ICAO 2005
- [17] EN-042 Development of GBAS Ionosphere Anomaly Monitor Standards to Support Category III Operations, M. Harris, T. Murphy, S. Saito, Tokyo Japan 2010
- [18] LPV Implementation, Ken Ashton, NATS Stockholm 2012
- [19] RNAV approaches, EUROCONTROL

- [20] Úvod do GPS, Miroslav Čábelka, CITT Praha Akademie kosmických technologií oblast Galileo, GMES
- [21] Communications, navigation and surveillance, EUROCONTROL 2010
- [22] Zabezpečovací letecká technika, Slavomír Vosecký, Letecký Ústav, VUT v Brně 2012
- [23] Implementation and Operational Use of Ground-Based Augmentation Systems (GBASs)—A Component of the Future Air Traffic Management System, Tim Murphy, Thomas Imrich, ISBN 0018-9219
- [24] Ground Based Augmentation System, AirBerlin, Frankfurt 2010
- [25] Operational Benefits of Ground Based Augmentation Systems, Ron Renk, United, 2011
- [26] Performance-based Navigation Honeywell SmartPath™ Ground Based Augmentation System, Pacific Aviation, 2012
- [27] SmartPath™ GBAS “A New Era in Precision Navigation”, Pat Reines, Honeywell
- [28] Ground Based Augmentation System (GBAS) Quarterly Status Report, July 6, 2011
- [29] http://www.eurocontrol.int/eec/public/standard_page/ETN_2010_2_GBAS_Full.html
- [30] <http://flygls.net/>
- [31] <http://www.ecacnav.com/content.asp?CatID=270>
- [32] <http://www.caa.co.uk/default.aspx?catid=1340&pagetype=90&pageid=13338>
- [33] <http://www.glonass.cz/>
- [34] <http://www.gps.gov/>
- [35] <http://www.ecacnav.com/content.asp?CatID=277>
- [36] http://www.navipedia.net/index.php/Aviation_Applications#cite_note-5



17. Seznam zkratek

AAIM	Aircraft Autonomous Integrity Monitoring
AAST	Airborne Approach Service Type
ABAS	Aircraft Based Augmentation System
AC	Advisory Circular
AFD	Approach Facility Designation
AFSCN	Air Force Satellite Control Network
ANSP	Air Navigation Service Providers
APV	Approach with Vertical guidance
AST	Actual Service Type
AWOHWG	The All Weather Operations Harmonization Working Group
CAT	Category
CNS	Communication Navigation Surveillance
DH	Decision Height
DME	Distance Measuring Equipment
DOP	Dilution Of Precision
EASA	European Aviation Safety Agency
FAA	Federal Aviation Administration
FAST	Facility Approach Service Type
FD	Fault Detection
FDE	Fault Detection & Exclusion
FMS	Flight Management System
FTE	Flight Technical Error
GAEC	GBAS Airborne Equipment Classifications
GAST	GBAS Approach Service Types
GBAS	Ground Based Augmentation System
GEO	Geostationary
GFC	GBAS Facility Classification



GLS	GBAS Landing System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
HAT	Height Above Threshold
ICAO	International Civil Aviation Organization
ILS	Instrument Landing System
IMC	Instrument Meteorological Conditions
INR	Integrated Navigation Receiver
LAAS	Local Area Augmentation System
LIS	Letová Informační Služba
LNAV	Lateral Navigation
LNAV/VNAV	Lateral Navigation / Vertical Navigation
LP	Localizer Performance
LVP	Localizer Performance with Vertical Guidance
MASPS	Minimum Aviation System Performance. Standards
MDH	Minimum Decision Height
MLS	Microwave Landing System
MMR	Multi-Mode Receiver
MOPS	Minimum Operational Performance Standards
NGA	National Geospatial-intelligence Agency
NOTAM	Notice TO Airmen
NPA	Non-Precision Approach
NSE	Navigation System Error
OFZ	Obstacle Free Zone
OTS	Other Than Standard
PA	Precision Approach
PBN	Performance Based Navigation
PVT	Position Velocity Time
RAIM	Receiver Autonomous Integrity Monitoring



RNAV	Area Navigation
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics
RVR	Runway Visibility Range
ŘLP	Řízení Letového Provozu
SA	Selective Availability
SARPS	Standards And Recommended Practices
SBAS	Satellite Based Augmentation System
SESAR	Single European Sky ATM Research
SST	Selected Service Type
SVR	Slant Visibility Range
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TDZ	Touchdown Zone
TSE	Total System Error
TSO	Technical Standard Order
TTA	Time-To-Alert
VDB	VHF Data Broadcast
VHF	Very High Frequency
VIDL-G	VOR/ILS Data Link with GPS
VMC	Visual Meteorological Conditions
VOR	VHF Omnidirectional Radio
WAAS	Wide Area Augmentation System

18. Seznam obrázků

Obrázek 1 - Základní segmenty GNSS	4
[Vlastní tvorba]	
Obrázek 2 - Rozmístění stanic GPS	5
[Vlastní tvorba]	
Obrázek 3 - Družicová konstelace GPS	7
[Vlastní tvorba]	
Obrázek 4 - Uživatelský segment.....	7
[Vlastní tvorba]	
Obrázek 5 - Kategorie letů s přesným přiblížením a přistáním.....	17
[Vlastní tvorba]	
Obrázek 6 - SBAS systém jednotlivých států.....	23
[Vlastní tvorba]	
Obrázek 7 - Min. výšky na přiblížení pro PA a NPA.....	24
[19 Upraveno]	
Obrázek 8 - Oblasti podpory SBAS a GBAS.....	26
[GNSS Implementation, ICAO, Cairo Egypt 2006 Upraveno]	
Obrázek 9 - RNAV přiblížení.....	26
[32] Upraveno	
Obrázek 10 - Minimální pokrytí GBAS	30
[2] Upraveno	
Obrázek 11 - Jednotlivé prvky systému GBAS.....	31
[23] Upraveno	
Obrázek 12 - GBAS koncepce pro podporu CAT III.....	32
[Vlastní tvorba]	
Obrázek 13 - Plazmatická bublina.....	44
[17 Upraveno]	
Obrázek 14 – Příklad závislosti Pmd na Er	46
[7 Upraveno]	
Obrázek 15 - Příklad závislosti Pmd*Papriori na Er.....	47

[7 Upraveno]	
Obrázek 16 - Provozní koncept GAST D.....	48
[7 Upraveno]	
Obrázek 17 - Palubní soustava pro GBAS služby.....	54
[11 Upraveno]	
Obrázek 18 - Realizační plán dle ICAO pro Evropu.....	56
[13 Upraveno]	
Obrázek 19 - Rozmístění pozemních stanic GBAS	57
[30 Upraveno]	
Obrázek 20 - Pozemní systém GBAS (SLS-4000).....	58
[26 Upraveno]	
Obrázek 21 - Provozní proces realizace GBAS.....	60
[Vlastní tvorba]	
Obrázek 22 - Oblasti provozní realizac GBAS	61
[Vlastní tvorba]	



19. Seznam tabulek

Tabulka 1 - Min. požadavky na přesnost.....	9
Tabulka 2 - Min. požadavky na integritu a dobu do výstrahy	10
Tabulka 3 - Limity výstrahy	11
Tabulka 4 - Min. požadavky na kontinuitu	12
Tabulka 5 - Rozsah dostupnosti	14
Tabulka 6 - Hodnoty přistávacích provozních minim	16
Tabulka 7 - Seznam vysílacích a nevysílacích parametrů	37
Tabulka 8 - Hodnoty chyb pseudovzdálenosti	46
Tabulka 9 - Avionika firmy Honeywell	52