



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Marek Musil

Zavedení přiblížení GLS do postupů společnosti
Smartwings, a.s.

Bakalářská práce

2022



K614..... Ústav aplikované informatiky v dopravě

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Marek Musil

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – ITS – Inteligentní dopravní systémy

Název tématu (česky): **Zavedení přiblížení GLS do postupů společnosti Smartwings, a.s.**

Název tématu (anglicky): **Implementation of GLS Approach into Smartwings, a.s. Procedures**

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Přiblížení s využitím GNSS
- GBAS Approach - GLS
- Boeing B737-8 MAX
- Návrh provozních postupů
- Návrh výcvikového programu



- Rozsah grafických prací: určí vedoucí závěrečné práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Performance Based Navigation, ISBN: 978-1-909600-58-4
Boeing 737 MAX Flight Crew Operations Manual
Boeing 737 MAX Flight Crew Training Manual
Boeing 737 MAX Airplane Flight Manual

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ota Hajzler**

Datum zadání bakalářské práce: **8. října 2021**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **8. srpna 2022**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia


doc. Ing. Vít Fábera, Ph.D.
vedoucí
Ústavu aplikované informatiky v dopravě




doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.


Marek Musil
jméno a podpis studenta

V Praze dne 8. října 2021

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji Ing. Otovi Hajzlerovi za konzultování mého postupu a dále Andreasovi Lippovi z organizace EUROCONTROL a Ing. Tomášovi Dukovi ze společnosti ŘLP ČR, s.p. za umožnění přístupu k mnoha důležitým informacím a materiálům. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat svým rodičům, své přítelkyni, bratrovi a blízkým za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

Prohlášení

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

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

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

V Praze dne 1.8.2022



podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta Dopravní

ZAVEDENÍ PŘIBLIŽENÍ GLS DO POSTUPŮ SPOLEČNOSTI SMARTWINGS, A.S.

bakalářská práce
srpen 2022
Marek Musil

ABSTRAKT

Hlavním tématem této práce je GBAS Landing System (GLS), a to především jeho implementace do provozních postupů B737 MAX u tuzemského největšího leteckého dopravce. Aby mohla být pochopena důležitost tohoto systému, je nezbytné vysvětlit princip jeho fungování a zasadit jej do kontextu ostatních přiblížení založených na principu GNSS, především pak postupů RNP APCH. Vedlejším cílem je zjistit stav implementačních plánů po pandemii COVID-19. V praktické části jsou navrženy provozní postupy v souladu s platnými dokumenty a výcvikový program pro možné posouzení a následné nasazení do provozu u letecké společnosti Smartwings.

ABSTRACT

This thesis mainly focuses on the GBAS Landing System (GLS), more precisely its implementation into B737 MAX standard operational procedures of the Czech biggest airline. To be able to fully understand the significance of this system, it is necessary to explain the principle of its operation and to put it into context with other GNSS based approaches with RNP APCH being the most significant. The side goal is to find out the status of implementation plans after the COVID-19 pandemic. In the practical part, the procedures and training curriculum for both ground and flight training are designed in compliance with legislative and operational documents and it might be passed onto Smartwings for further evaluation and subsequent deployment into use.

Klíčová slova

GNSS, GPS, GLS, GBAS, xLS, Přistávací systém, PBN, SOP, Přiblížení, Přistání, Postupy, Výcvik, Boeing 737 MAX, B737

Keywords

GNSS, GPS, GLS, GBAS, xLS, Landing System, PBN, SOP, Approach, Landing, Procedures, Training, Boeing 737 MAX, B737

Obsah

Seznam použitých zkratk	8
1. Úvod	10
2. GNSS	12
2.1. Princip	12
2.2. Trilaterace	13
2.3. GPS	14
2.4. DGPS	16
3. Performance-Based Navigation (PBN)	19
3.1. RNAV	19
3.2. RNP	21
3.3. RNP (AR) APCH	23
3.4. Typy minim	25
3.5. RNP APCH do LNAV/VNAV minim	26
3.6. RNP APCH do LPV minim	27
4. GBAS Landing System (GLS)	28
4.1. Legislativa	29
4.2. Architektura GLS	30
4.3. Palubní vybavení	31
4.4. Zobrazení posádce	34
4.5. Výhody / nevýhody	37
4.6. Stupeň implementace	39
4.7. Porovnání s ostatními typy přiblížení založenými na GNSS	42
5. Implementace do postupů	46
5.1. Výcvik	46
5.1.1. Teoretický výcvik	46
5.1.2. Praktický výcvik	48
5.2. Postupy	49
5.2.1. Předletová příprava a provozní specifika	49
5.2.2. Approach briefing	49
5.2.3. Landing Procedure – GLS CAT I	50
5.2.4. Nestandardní situace	52
6. Závěr	54
7. Literatura a použité zdroje	56
8. Seznam obrázků	60
9. Seznam příloh	61

Seznam použitých zkratk

AAIM	Aircraft Autonomous Integrity Monitoring
ABAS	Airborne-based Augmentation System
AFCS	Automatic Flight Control System
AFM	Airplane Flight Manual
AGL	Above Ground Level
AMSL	Above Mean Sea Level
APCH	Approach
APV	Approach with Vertical Guidance
CDU	Control Display Unit
DA	Decision Altitude
DGPS	Differential GPS
EASA	European Union Aviation Safety Agency
EK	Evropská komise
FAF	Final Approach Fix
FAP	Final Approach Point
FAS DB	Final Approach Segment Data Block
FIR	Flight Information Region
FMC	Flight Management Computer
FMS	Flight Management System
GA	General Aviation
GAST	GBAS Approach Service Type
GBAS	Ground Based Augmentation System
GLS	GBAS Landing System
GNSS	Global Navigation Satellite System
HUD	Head-up Display
IFR	Instrument Flight Rules
ILS	Instrument Landing System
LNAV	Lateral Navigation
LP	Localiser Performance
LPV	Localiser Performance with Vertical Guidance
MCP	Mode Control Panel
MDA	Minimum Descent Altitude
MEL	Minimum Equipment List
MLS	Microwave Landing System
MMR	Multi-Mode Receiver
NAV MSG	Navigation Message
ND	Navigation Display
NM	Nautical Mile
NPA	Non-Precision Approach
PA	Precision Approach
PBN	Performance Based Navigation

PFD	Primary Flight Display
PPS	Precise Positioning Service
PRC	Pseudo-Random Noise Code
PRN	Pseudo-Random Noise
RAIM	Receiver Autonomous Integrity Monitoring
RNAV	Area Navigation
RNP	Required Navigation Performance
RNP AR	Required Navigation Performance Authorisation Required
RWY	Runway
SBAS	Satellite-based Augmentation System
SID	Standard Instrument Departure
STAR	Standard Terminal Arrival Route
TOT	Time of Transmission
UTC	Coordinated Universal Time
VNAV	Vertical Navigation
VPD	Vzletová a Přistávací Dráha

1. Úvod

Smyslem této práce je popsat systém GLS, zjistit aktuálnost implementačních plánů, zasadit toto přiblížení na principu GNSS do kontextu jeho alternativ a následný návrh výcvikové osnovy a provozních postupů k využití u společnosti Smartwings, a.s. (dále jen Smartwings) na letounech B737 MAX.

Boeing 737 MAX se postupně stává páteřním strojem společnosti Smartwings a doplňuje tak doposud převládající flotilu Boeingů 737-700, 737-800 a 737-900ER. Tento typ byl po dvou nehodách, které se odehrály krátce po sobě v roce 2018 a 2019 celosvětově uzemněn, EASA jeho provoz nad územím Evropy zakázala v březnu 2019. Od 27. ledna 2021 je s jistými omezeními provoz těchto strojů povolen, konkrétní opatření jsou popsána v dokumentu Boeing 737 MAX Return to Service Report vydaném EASA a implementována do EASA AFM.

Požadavek na využívání GLS vychází z mnoha výhod, které systém přináší pro provozovatele letišť a zároveň jeho zavedení nezpůsobí zvýšenou zátěž posádkám z důvodu velké podobnosti s provozním užíváním systému ILS. Mezi hlavní výhody GLS oproti ILS patří například to, že GLS výrazně netrpí rušením od pozemních překážek nebo pojezdějících letadel a není tak potřeba mít rozsáhlou chráněnou oblast okolo RWY, z principu umožňuje zavést přesné přiblížení i na letištích, kde ILS nebo MLS nemohlo být vybudováno nebo potřeba pouze jedné pozemní stanice GBAS pro obsluhu několika VPD a přiblížení současně. Tyto benefity GLS potenciálně předurčují k širokému nasazení na letištích, kde doposud ILS nebylo možné vybudovat kvůli nevhodnému terénu, případně kde by toto nebylo rentabilní, protože obecně zavedení GLS vyžaduje nižší vstupní i provozní náklady na straně infrastruktury. Jedním z důvodů, proč přesné přiblížení pomocí GBAS, navzdory svým nesporným výhodám, zatím tolik rozšířeno není je především dosavadní nedostatek dopravních letadel vybavených palubní jednotkou, která by s GBAS pozemní stanicí uměla komunikovat, byť mnoho moderních strojů již má ve svém vybavení MMR, který toto umožňuje. Dalším souvisejícím problémem je dosavadní certifikace pouze do úrovně GAST-C, která odpovídá ILS CAT I, pro CAT II/III je nutné využít GAST-D, na jejímž zavedení se teprve pracuje.

Nejdříve se budu zabývat využitím GNSS v letecké dopravě, především systémem GPS. Popíšu jeho výhody a omezení a zasadím ho do kontextu aktuálního uplatnění. Dále se budu zabývat problematikou PBN, což je důležitý pojem pro IFR létání a v jistém smyslu alternativa k přesnému přiblížení GLS. Jedna celá kapitola bude věnována principu fungování GLS, podporující legislativě, palubnímu a infrastrukturnímu vybavení. Výstupem bude návrh provozních postupů GLS a vymezení požadavků na výcvik pro uplatnění ve společnosti Smartwings.

Téma jsem si vybral z důvodu toho, že v běžném životě využíváme služby GNSS, ať už GPS, GLONASS nebo jiných dennodenně a spoléháme se na ně jako na důležitý zdroj polohové reference. V malém létání je taktéž poměrně běžné spoléhat se na jejich přesnost a spolehlivost. V dopravním letectví je ale situace jiná, systém musí být mnohonásobně robustnější, a požadavky kladené na přesnost, integritu, spojitost a dostupnost těchto systémů musí být předimenzované, aby nedošlo k výpadku signálu nebo poruše v kritické části letu u dopravního prostředku, který typicky nelze uvést do bezpečného stavu tak, jak je to u ostatních druhů dopravy. Zároveň je pro mě fascinující, že v technicky tak vyspělém oboru jako je letectví stále používáme víceméně výhradně systém ILS založený na principu směrového radiového signálu, který je sice z funkčního hlediska stále víceméně bezkonkurenční, ale v prvních verzích vznikl už ve 40. letech minulého století. GLS více zapadá do pohledu vnímání jako moderní systém a jsem zvědav na jeho postupné zavádění na světových letištích.

2. GNSS

Pod touto zkratkou se skrývá Globální družicový polohový systém nebo jinak také satelitní navigace, jmenovitě se pak nejčastěji asociuje pojem GPS. Příchod GNSS do letectví znamenal revoluci v podobě nezávislosti na pozemních radionavigačních zařízeních za poměrně dobré přesnosti. Kromě USA a programu GPS má své družice okolo Země také například Rusko s programem GLONASS, Čínská lidová republika s BeiDou nebo EU s programem GALILEO.

2.1. Princip

Zkratkovitě se jedná o systém, jehož hlavní částí je soustava satelitů pohybujících se ve výšce cca. 20 000 km nad zemským povrchem. Každý satelit se pohybuje po vlastní oběžné dráze a jeho pohyb je umožněn pohonem napájeným solární energií. Oběžné dráhy těchto družic jsou nastaveny tak, aby ideálně v libovolném okamžiku na každé místo na planetě měly nerušený výhled alespoň čtyři družice. Ty vysílají signál obsahující polohový údaj a časové razítko. Na Zemském povrchu musí dojít k příjmu signálu pomocí pasivního přijímače, který porovná časové razítko odeslání informace ze satelitu s aktuálním časem, rozdílem získá dobu, kterou přenos signálu zabral, a protože rychlost přenosu radiových vln je známá (odpovídá rychlosti šíření světla), je možné dopočítat uraženou dráhu. Pokud získám tato data z vícero satelitů, je možné pomocí trilaterace určit konkrétní polohu přijímače. Je zřejmé, že při takto vysoké rychlosti přenosu by sebemenší časová nepřesnost určení polohy velmi narušila, proto jsou v satelitu umístěné 3 až 4 atomové hodiny, které pracují s velmi vysokou přesností, v případě GPS až na jednu nanosekundu, což při vynásobení rychlostí světla odpovídá maximální teoretické přesnosti na 0,3 m. Přesto jsou přítomny chyby, které se průběžně korigují, nejvýznamnější jsou ty způsobené odchylkami od vypočtených oběžných drah v důsledku působení gravitace a slunečních větrů (tzv. efemérické chyby) a především pak zpoždění přenosu signálu skrze ionosféru, jejíž výskyt a intenzita se v čase velmi výrazně mění. Eliminaci jednotlivých typů chyb je vhodné věnovat zvýšenou pozornost, protože přesnost zaměření výrazně ovlivňují. Řádové hodnoty chyb jsou patrné z Tabulka 1. [1]

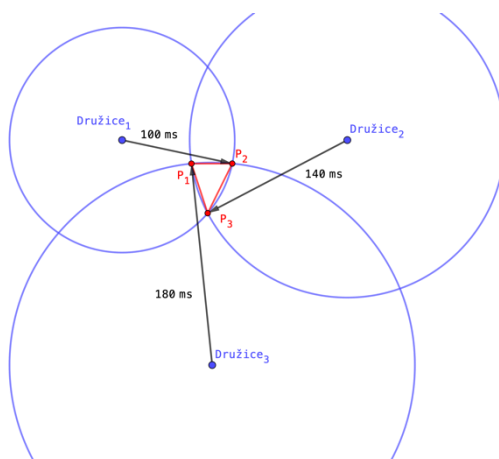
Tabulka 1: Chyby systému GNSS, zdroj: <https://novatel.com/an-introduction-to-gnss/chapter-4-gnsserror-sources>

Contributing Source	Error Range
Satellite Clocks	±2 m
Orbit Errors	±2.5 m
Inospheric Delays	±5 m
Tropospheric Delays	±0.5 m
Receiver Noise	±0.3 m
Multipath	±1 m

Z pojmu trilaterace vyplývá, že by mělo stačit k zaměření pozice přijímače pouze třech vysílačů, nicméně kvalita zaměření je především ovlivněna na straně přijímače, protože nedosahuje takové přesnosti jako atomové hodiny v satelitech. Přijímač pak počítá vzdálenosti z času, který není stoprocentně korektní, a proto těmto vzdálenostem říkáme pseudo-vzdálenosti. Aby pseudo-vzdálenosti mohly být korigovány, respektive časová chyba, která je způsobuje, je nutné přijímat signál ještě alespoň z jednoho satelitu, který pomůže ke zpřesnění zaměření. Byť 4 satelity jsou minimum, z nastavení oběžných drah by měla být viditelnost alespoň těchto 4 satelitů zajištěna a situace, že by byly v zákrytu se Zemí (vůči přijímači) by neměla nastat. Za normálních podmínek přijímač získává signál z 5 až 8 satelitů. [1]

2.2. Trilaterace

Trilaterace nebo také dálkoměrná metoda je postup využívaný k určení vzdálenosti na základě průniku geometrických těles. V případě GNSS systému se jedná o průnik koulí, respektive sfér. Družice zvládne pokrýt své okolí do určité vzdálenosti, tuto oblast si lze představit jako sféru. Pokud budou družice dvě, jejich sféry se v určitém místě protnou a vytvoří kruhovou polohovou čáru. Když se k tomu přidá třetí sféra, průsečíkem s kruhovou polohovou čarou budou dva konkrétní body. Jeden typicky na odvrácené straně od Země, druhý o mnoho námořních mil blíže k Zemi. Bod bližší k Zemi lze považovat za hledaný bod, druhý bod se zavrhuje. Pokud si tuto situaci představím v průmětu, pak můžu hovořit o průniku kruhů. Princip této metody je k vidění na Obrázek 1, který jsem vytvořil v programu Geogebra. (Pozn.: Uvedené časy neodpovídají reálným hodnotám a slouží pouze k zachycení principu.)



Obrázek 1: Princip metody trilaterace, zdroj: zpracováno autorem za použití SW Geogebra

Na obrázku jsou vidět 3 družice, každá je od zaměřovaného bodu v jiné vzdálenosti. Protože přesnost hodin v přijímači není absolutní, vzniká časová chyba, v jejímž důsledku dojde k vypočtení pseudo-vzdálenosti. Zobrazené časy jsou tedy vůči reálnému stavu chybné. Pokud bych uvažoval

chybu přijímače 10 ms, znamená to rozdíl ve vypočtené vzdálenosti přibližně 3000 km, což lze jednoduše dopočítat:

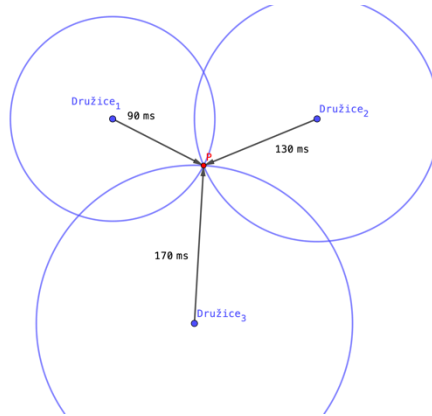
$$\Delta l = t_{er} \cdot c,$$

Kde Δl je rozdíl skutečné vzdálenosti a vypočtené pseudo-vzdálenosti, t_{er} je časová chyba přijímače a $c = 299\,792\,458 \frac{m}{s}$ je tabulková hodnota rychlosti světla, kterou se přibližně šíří radiové vlny. Po dosazení:

$$\Delta l = 0,01 s \cdot 299\,792\,458 \frac{m}{s} \doteq 3\,000\,000 m$$

Pokud je vzdálenost větší, kružnice se neprotínají v jednom bodě, ale vytvoří trojúhelník, kterému se říká cocked-hat. V této oblasti se zaměřovaný objekt může nacházet. Proto se získávají ještě údaje ze čtvrté družice, jejíž ideální umístění je přímo nad přijímačem. Eliminace časové chyby lze dosáhnout pomocí iterativních matematických postupů řešení 4 rovnic o 4 neznámých (souřadnice a časové razítko). [1]

Výpočtem lze dojít k velmi konkrétní hodnotě časové chyby, za pomoci níž není obtížné pseudo-vzdálenosti přepočítat na vzdálenosti reálné. Na průsečíku třech kružnic leží hledaný bod s teoretickou přesností až na 0,3 m (u GPS). Nalezení bodu pomocí opravených vzdáleností je patrné z Obrázek 2.



Obrázek 2: Princip metody trilaterace, zdroj: zpracováno autorem za použití SW Geogebra

2.3. GPS

Zvláštní pozornost věnuji systému NAVSTAR/GPS, jehož využití v našich končinách stále převládá, byť evropský systém GALILEO by měl být v nejbližší době dokončen. GPS je provozován Letectvem Spojených států amerických v součinnosti s NASA. Tyto entity mají nad systémem kontrolu a mohou teoreticky ovlivňovat jeho přesnost a dostupnost civilním uživatelům, což je také jeden z důvodů, proč je GNSS systémů v provozu více. Do doby, než bude GALILEO plně funkční je to také jedna z hlavních nevýhod využití systémů založených na GNSS nad územím EU, protože v případě jakýchkoliv konfliktů jsou velmi zranitelné. Vzhledem ke všem chybám, ať už na straně vysílače,

přijímače, přenosu nebo třeba i nevhodného umístění antény GPS se uvažuje s běžnou přesností 2,5 m v horizontální rovině a 4,7 m vertikálně. Větší přesnosti dosahuje NAVSTAR v režimu PPS, nicméně ten je k využití pouze k vojenským účelům složkám armády USA. Všechny satelitní poziční systémy pracují s podobným schématem, ale konkrétně GPS obsahuje následující složky [1]:

- Kosmický segment
- Kontrolní segment
- Uživatelský segment

Kosmický segment sestává v době psaní této práce ze 31 satelitů, jejichž počet se může v čase nepatrně měnit. V platnosti ovšem zůstává, že minimálně 24 z nich musí být neustále funkčních. Jedině tak lze dosáhnout podmínky, že alespoň 4 satelity jsou v každou chvíli z každého místa viditelné – nejsou v zákrytu se Zemí. Satelity obíhají Zemi ve výšce 20 200 km a za 24 hodin ji stihnou obkroužit dvakrát.

Kontrolní segment slouží ke kontrole správné funkce satelitů pomocí antén a monitorujících stanic. Stanice monitorují všechny dostupné satelity a sbírají od nich data, která přeposílají do centrálního kontrolního stanoviště, kde dojde k výpočtu korekčních dat. Skrze antény s možností uplinku jsou pak korekce přenášeny do satelitů. Korekce mimo jiné obsahují aktualizovanou navigační zprávu. [2] Celý kontrolní segment tedy zahrnuje centrální kontrolní stanoviště v Coloradu, záložní kontrolní stanoviště v Kalifornii a několik antén a stanic sloužících k monitorování rozmístěných po celém světě. [1]

Uživatelský segment obsahuje velké množství více či méně kvalitních zařízení, která mohou sloužit k různým účelům. Mnoho zařízení je určeno speciálně pro letecký provoz, ta ovšem musí splňovat definovaná kritéria pro získání certifikace. Přijímače existují několika typů, v letectví se ovšem využívají především vícekanálové přijímače, které umožňují na každém kanálu přijímat data z jednoho satelitu, což nejen, že umožňuje vypočítávat polohu v reálném čase i při velmi vysokých rychlostech, nýbrž i volit ty 4 satelity, které jsou zrovna z těch v dohledu v nejpříznivější poloze, a tím zpřesňovat zaměření. [1] [3]

Satelity z kosmického segmentu vysílají na frekvenci 1575,42 MHz, toto spojení se nazývá L1. PPS využívá spojení L2, které funguje na frekvenci 1227,6 Mhz a které se liší modulací přenášeného kódu (u PPS je navíc šifrován). Obě ale obsahují tutéž sadu informací [1]:

- Kód Pseudo-náhodného šumu (PRC)
- Čas vysílání (TOT)
- Navigační zprávu (NAV MSG)

Pseudo-náhodný šum je sekvence binárních dat sloužící k identifikaci jednotlivých satelitů. Přijímač v sobě uchovává informace o hodnotě PRN pro každý satelit a je tedy schopen poznat, od

kterého data přijímá. Zároveň je z něj možné určit čas, kdy se signál objevil v přijímači a tím i pseudo-vzdálenost.

Čas vysílání je informace, kdy byl signál ze satelitu vyslán. Přijímač nemůže přímo tento čas porovnávat s UTC časem, byť GPS jinak tento čas využívá, protože atomové hodiny v satelitech jsou nastaveny tak, aby ukazovaly čas od týdne 0, tedy 6. ledna 1980 00:00:00 UTC. [1] Kromě toho dochází každých 1024 týdnů k tzv. week rolloveru, kdy je za nový nulový týden označen aktuální týden a to z kapacitních důvodů – informace o času vysílání je vysílána jako 10-bitová a 1023 je maximální hodnota týdne, kterou dokáže přenést. Je pak na straně přijímače, aby uchovával informaci o předcházejících rolloverech. [4]

Navigační zpráva obsahuje další informace nezbytné k správnému určení polohy, především časové údaje zahrnující vliv korekcí, které umožňují uskutečnit přepočítání mezi týdny a UTC časem, informaci o tom, jestli satelit funguje bezchybně a je použitelný, ionosférické údaje, almanach obsahující přibližnou polohu každého ze satelitů pro následujících 24 hodin a v neposlední řadě také efemérická data, která umožňují dopočítat přesné souřadnice satelitu, který zprávu vyslal. [1]

2.4. DGPS

Výše zmíněné přesnosti 2,5 m horizontálně a 4,7 metrů vertikálně v praxi lze dosáhnout, nicméně pro použití v letecké dopravě je nezbytné, aby přesnost byla v čase co nejvíce konzistentní a odchylky nebyly tak výrazné. V rámci ICAO Annexu 10^[5] jsou stanovené průměrné provozní odchylky, které odpovídají 95 % času, a které tak běžně nejsou překračovány viz Tabulka 2. Hodnoty „Global average“ jsou použitelné pro traťovou část letu i pro nepřesná přiblížení, nicméně pro přesná přiblížení nemusí být dostačující. Hodnoty „Worst site“ odpovídají oblastem s nejvyššími odchylkami a zde již pro využití v letecké dopravě musí dojít ke zlepšení parametrů, nejčastěji aplikací augmentačních systémů. [1] [2]

Tabulka 2: Požadovaná přesnost GPS, zdroj: ICAO Annex 10^[5]

	Global average 95% of the time	Worst site 95% of the time
Horizontal position error	9 m (30 ft)	17 m (56 ft)
Vertical position error	15 m (49 ft)	37 m (121 ft)

Kromě přesnosti navigačního systému se sledují a vyhodnocují ještě jiné veličiny, které spolu tvoří základní parametry navigačního systému [6]:

- Přesnost (Accuracy)
- Integrita (Integrity)
- Spojitost (Continuity)
- Dostupnost (Availability)

Přesnost vyjadřuje jak dobře se odhad nebo měření shoduje s realitou.

Integrita je schopnost systému včasné varovat před použitím chybných informací, které by mohly mít negativní vliv na bezpečnost.

Spojitosť vypovídá o vlastnosti systému fungovat bez závad ovlivňujících provoz.

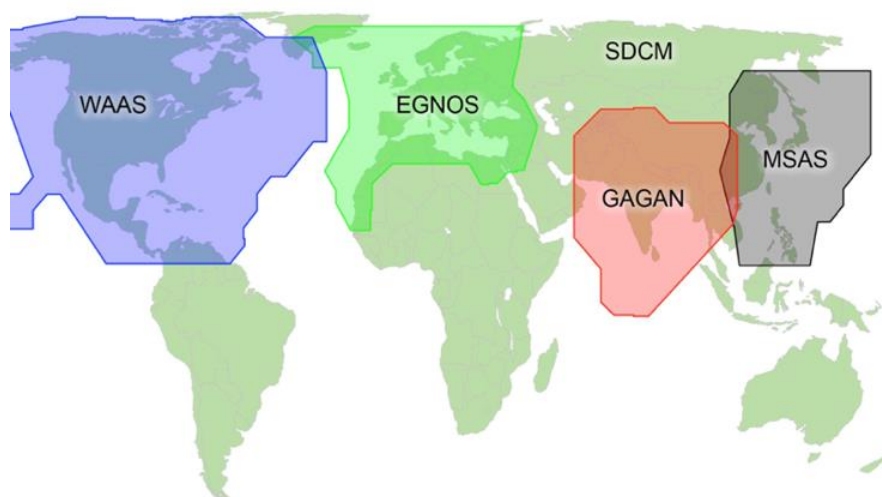
Dostupnost je procentuální vyjádření doby, po kterou jsou za provozu splněny podmínky na přesnost, integritu a spojitost.

Zlepšení těchto parametrů a především pak přesnosti a integrity lze dosáhnout pomocí tzv. diferenciální GPS. Možná uspořádání jsou [1]:

- Airborne-based Augmentation System (ABAS)
- Satellite-based Augmentation System (SBAS)
- Ground-based Augmentation System (GBAS)

ABAS se využívá především ke zvýšení integrity. Může být realizován na dvou úrovních a to jako RAIM a Enhanced RAIM. Obě úrovně využívají k určení 3D polohy standardně čtyř satelitů, nicméně to není z pohledu zajištění integrity dostatečné. Proto je potřeba ještě jeden další satelit v případě RAIM a ještě dva satelity v případě Enhanced RAIM, které správnost pomůžou ověřit. U RAIM je tedy typicky pět satelitů rozděleno do skupin, kdy v rámci každé skupiny jsou vždy satelity čtyři a počet skupin bude takový, aby pokryl všechny možné kombinace, pro pět satelitů by to tedy bylo pět skupin. Pokud se polohy určené z každé této kombinace odchyľují jen nepatrně, je možné říct, že data splňují požadavky na integritu. V opačném případě by došlo k signalizaci posádce. Víceméně analogicky funguje také systém Enhanced RAIM, pouze skupin o čtyřech satelitech je více, tudíž systém může v prvním běhu vyřadit ten satelit, který polohu zkresľuje nejvíce a dále pokračovat jako klasický RAIM. V moderních letounech určených ke komerčnímu provozu je požadavek na funkční RAIM při využití GNSS jako hlavní polohové reference. Často funguje v součinnosti s AAIM, což je systém hlídající integritu pomocí palubního navigačního systému letounu, který je schopný porovnávat GPS data s jinými vstupy, například z inerciálního referenčního systému a tím vyhodnotit jejich správnost. [1] [7]

SBAS zajišťuje zvýšení přesnosti a spolehlivosti určování polohy, potencionálně i na poměrně velkém území (na rozdíl od GBAS). Zjednodušeně se jedná o systém, který sestává z pozemních stanic, u nichž známe naprosto přesně jejich polohu. Tato poloha je v centrální řídicím středisku porovnávána s výstupy z pozičního systému a korigovaná informace je skrze satelity přeposľána do přijímače. Po světě je spuštěno několik systémů, které tuto službu nabízejí, což je patrné z Obrázek 3, v Evropě se používá systém EGNOS. Výhodou těchto systémů je, že dokážou zpřesnit zaměření ve vertikální i horizontální rovině na tolik, že splňují požadovanou přesnost a můžou tak dosáhnout až hodnot DA odpovídajícím CAT I přiblížení, stejně tak jako ILS, GLS nebo MLS. Tento postup spadá pod RNP (AR) APCH do LPV minim, více viz kapitola 3.4. [1] [3] [8]



Obrázek 3: Satelitní augmentační systémy, zdroj: Padpilot: Performance Based Navigation, 2018^[1]

GBAS funguje podobně jako SBAS, ovšem účel použití se mírně liší. Hlavní myšlenkou je zajištění maximální přesnosti na malém území. V principu opět obsahuje pozemní stanici, která má velmi přesně zaměřenou neměnnou polohu a slouží jako referenční bod. Tato stanice přijímá signál ze satelitů a porovnává naměřenou polohu s tou skutečnou, jejich odchylka je chyba, kterou má systém za úkol eliminovat. Tato chyba je v pozemní řídicí stanici zpracována a dojde k výpočtu celkové korekce. Korekce jsou přenášeny pomocí VHF vln přímo do přijímače na palubě letounu, kde jsou zapracovány do navigačního systému, což je také největší rozdílem od systému SBAS. Ve větším detailu se GBAS systémem zabývám v kapitole 4 této práce. [1]

3. Performance-Based Navigation (PBN)

Navigace založená na výkonnosti je přístup, který v sobě zahrnuje pojem RNAV a obohacuje ho o RNP. Jinými slovy prostorová navigace obsahující kontrolu přesnosti ve formě navigační výkonnosti, jejíž systémy jsou schopné posádce indikovat případné odchylky od zamýšlené trasy. Samotné RNAV nedisponuje prostředky na monitorování výkonnosti navigačního systému a posádka v případě poklesu výkonnosti nebude upozorněna. Na principu PBN funguje už velké množství evropských RNAV cest a především pak koncová non-precision přiblížení, u kterých se požadavky zvyšují a přechází se na RNP. V roce 2016 byla PBN doložka zanesena do evropské legislativy v rámci Nařízení EK č. 2016/539^[9] jakožto nedílná součást IFR kvalifikace, konkrétně se tím zabývá článek 4a:

„Piloti s přístrojovou kvalifikací bez práv pro PBN mohou provozovat lety a přiblížení na trasách, kde se nepožadují práva pro PBN a kde se pro obnovu jejich přístrojové kvalifikace nepožaduje žádný z prvků PBN, pouze do 25. srpna 2020. Po uplynutí tohoto data musí být práva pro PBN součástí každé přístrojové kvalifikace.“

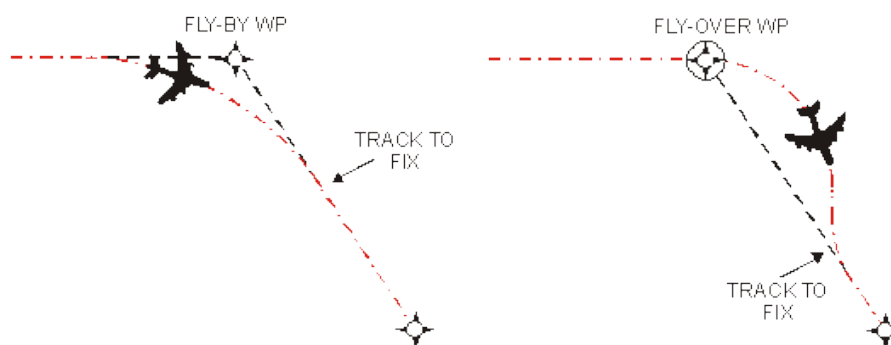
3.1. RNAV

Dříve převládající způsob organizace letového provozu po tratích, které byly tvořeny především radionavigačními zařízeními byl upozaděn s příchodem RNAV. Prostorová navigace umožnila oproštění se od konkrétních fyzických bodů a přinesla možnost jak se efektivně pohybovat od jednoho bodu k druhému. Tyto body mohou být dány pozemními radionavigačními zařízeními, ale typicky se jedná o virtuální body dané zeměpisnými souřadnicemi, případně ještě výškou a rychlostním omezením. To, že letadlo skutečně letí po zamýšlené trase je hlídáno a ověřováno jak pomocí radionavigačních zařízení jako jsou například majáky VOR nebo NDB, tak pomocí GNSS nebo inerciálních navigačních systémů, nejčastěji jejich kombinací. Navigační body se nazývají waypoints a v moderním pojetí RNAV si je lze představit jako body v navigační databázi letounu, mezi kterými je možné se pohybovat především díky polohové referenci ze systému GNSS. Vyšší flexibilita tohoto systému umožnila zkrátit letové tratě, protože už nejsou vázané na pozemní navigační body s omezenou kapacitou, zavedla vzniku nových přiblížovacích a odletových tratí vytížených letišť a otevřela dveře certifikaci přístrojovým přiblížením bez nutnosti mít u letiště radionavigační zařízení. Základními komponentami RNAV jsou:

- LNAV
- VNAV

LNAV je zkratka pro Lateral Navigation a umožňuje navigaci v horizontálním směru. RNAV trať je dána waypointy, které jsou uloženy v navigační databázi letadla. Waypointy se dělí na fly-by a fly-over a umísťují se nejčastěji do zamýšlené trasy tam, kde je potřeba změnit směr letu. U fly-by

waypointu se tento bod nepřelétává, ale už při přiblížení k němu je nutné začít zatáčet do kýženého směru, zatáčka se tak začíná před dosažením tohoto bodu a uletěná vzdálenost se nepatrně zmenší. U fly-over je nutné waypoint přeletět, tzn. proletět místem se stejnými zeměpisnými souřadnicemi a až pak začít zatáčku. Uletěná vzdálenost se nepatrně prodlouží. Rozdíly mezi jednotlivými waypointy a také jejich značení je patrné z Obrázek 4. Kromě fly-by a fly-over waypointu existují také tzv. hlásné body, v angličtině compulsory waypoints, jejichž přelet je nezbytné nahlásit relevantnímu stanovišti ATC. [1]



Obrázek 4: Fly-by vs. Fly-over waypoint, zdroj: https://fsims.faa.gov/wdocs/orders/8260_44a_chg2.htm

LNAV se netýká pouze traťové části letu, ale často pokrývá také přílety a odlety. Standardní přístrojová příletová trasa neboli STAR jsou publikované postupy pro dané letiště a dráhu, které stanovují příletovou trasu, určují výškové a rychlostní limity a případně mohou pilotům usnadnit přílet v podobě předepsaných povolení, která mohou s velkou pravděpodobností očekávat. Alternativou může být radarové vektorování v dikci řídicího letového provozu. [10] To samé platí pro přechod od vzletu k traťové části letu, k tomu slouží standardní přístrojová odletová trasa, která se nazývá SID. [1]

VNAV je zkratka pro vertikální navigaci a pomocí různých výškových omezení stanovuje trať také pro klesání a stoupání. Nejčastěji se vyskytuje v rámci příletových a odletových tras STAR a SID. Je opět navázána na waypointy a na rozdíl od LNAV není samostatně použitelná, pro její funkčnost je nutné mít LNAV aktivní. Zároveň je dobré si uvědomit, že zatímco úkol horizontální navigace je víceméně jen hlídat a korigovat odchylky od zamýšlené trasy, komponenty systému vertikální navigace musí být schopny přesně spočítat a naplánovat sestupovou rovinu, případně rovinu stoupání a to na základě parametrů atmosféry, výkonnostních a hmotnostních parametrů letounu a všech rychlostních a výškových omezení na dané trati nebo dle nastavení na MCP, který u Boeingu slouží jako jeden ze vstupů pro systém autopilota a jehož nastavení jsou více omezující. Za výpočty je zodpovědný systém FMS a výstupy jsou závislé také na fázi letu, ve které se zrovna letoun nachází. [1]

3.2. RNP

RNAV může efektivně fungovat jedině tehdy, když se všechna letadla participující na provozu budou pohybovat od předem stanovené trasy s určitou přesností, která na rozdíl od čistě radionavigačních bodů, pro které byly postupy přesně navrženy, u pohybu mezi virtuálními waypointy, z principu nemusí být zajištěna, protože důraz už není kladen na konkrétní radionavigační zařízení a dává posádce v tomto ohledu volnou ruku. Obzvláště důležité je to ve velmi vytížených koncových oblastech, kterými jsou typicky příletové a odletové tratě letišť, které jsou odjakživa považovány za úzká hrdla. Vlastnost dodržovat stanovenou trasu se nazývá navigační výkonnost. Navigační výkonnost vyjadřuje schopnost navigačního vybavení letounu zajistit, že letoun se po většinovou část letu bude pohybovat v určitém rozmezí vzdáleností od naplánované trasy, přičemž rozmezí je dáno v námořních mílech od fiktivní čáry spojující jednotlivé body. U klasického RNAV neexistoval požadavek na mechanismus, který by navigační výkonnost aktivně ověřoval a upozorňoval na její nedodržení nebo nejistotu posádku a zároveň nebylo možné ji ani vymáhat, byť trasy s předepsanou RNAV navigační výkonností existují. Z toho důvodu bylo zavedeno PBN s pojmem RNP, neboli požadovaná navigační výkonnost, který tento nedostatek ve stále se více zahušťujícím provozu adresuje. Specifikace RNP klade požadavky jak na to, aby letoun po dané trase letěl ve stanoveném pásmu daném maximální odchylkou, tak také na nutnost mít systémy se schopností tuto odchylku vyhodnocovat a v případě, že výkonnost není splněna nebo není jasné, jestli je splněna, musí posádku upozornit. Tímto požadavkem se také nepřímo zavedla povinnost mít na palubě GNSS systém, protože je jako jediný schopný navigační výkonnost monitorovat. U klasického RNAV tato povinnost odpadá, protože monitoring není vyžadován. Nejčastěji je možné se setkat s následujícími navigačními specifikacemi [1] [11]:

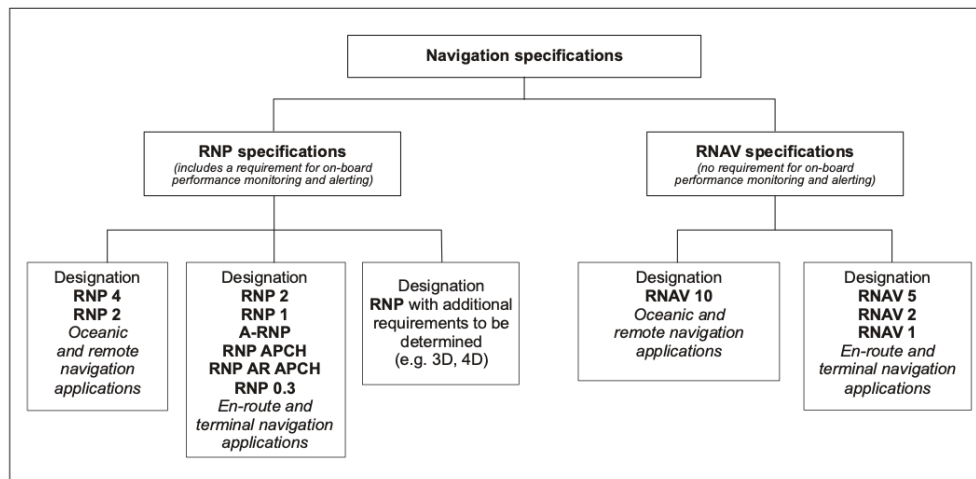
- RNAV 5
- RNAV 1 / RNP 1

RNAV 5 je benevolentnější a je nejčastěji k nalezení na cestách v traťové fázi letu, typicky pevninských. Požadavek je zde takový, že letadlo musí být po 95 % letového času v okruhu 5 NM od své zamýšlené polohy. V praxi to znamená, že se musí nacházet v pásmu 5 NM od trati, po které má letět. V Evropě je možné se také často setkat s pojmenováním B-RNAV pro RNAV 5, kde B značí obyčejné (basic).

RNAV 1 / RNP 1 se aplikuje především na SID a STAR a analogicky říká, že letadlo musí být po 95 % letového času okruhu 1 NM od své zamýšlené polohy. RNP 1 se využívá především v oblastech, kde je dohled řídicích nad provozem ztížen nebo znemožněn. V Evropě je možné se také často setkat s pojmenováním P-RNAV pro RNP 1, kde P značí přesné (precision).

Číslo vždy udává přesnost v NM a není omezeno pouze na tyto hodnoty. Nežádka se stává, že v různých fázích letu se posádka setká jak se specifikací RNAV, tak RNP. RNP v konečné fázi

přiblížení se vyčleňuje jako samostatná specifikace pod názvem RNP APCH, případně RNP AR APCH. Od klasického RNP se liší tím, že může stanovovat požadavek na vertikální vedení. Pod RNP APCH nespadá sice přesné přiblížení pomocí GLS, ale i tak je možné PBN k přesnému přiblížení využít viz kapitola 3.3. Rozdělení těchto navigačních specifikací je patrné z Obrázek 5, který pochází z ICAO PBN Manuálu^[12].



Obrázek 5: Navigační specifikace, zdroj: ICAO PBN Manual, 2013 ^[12]

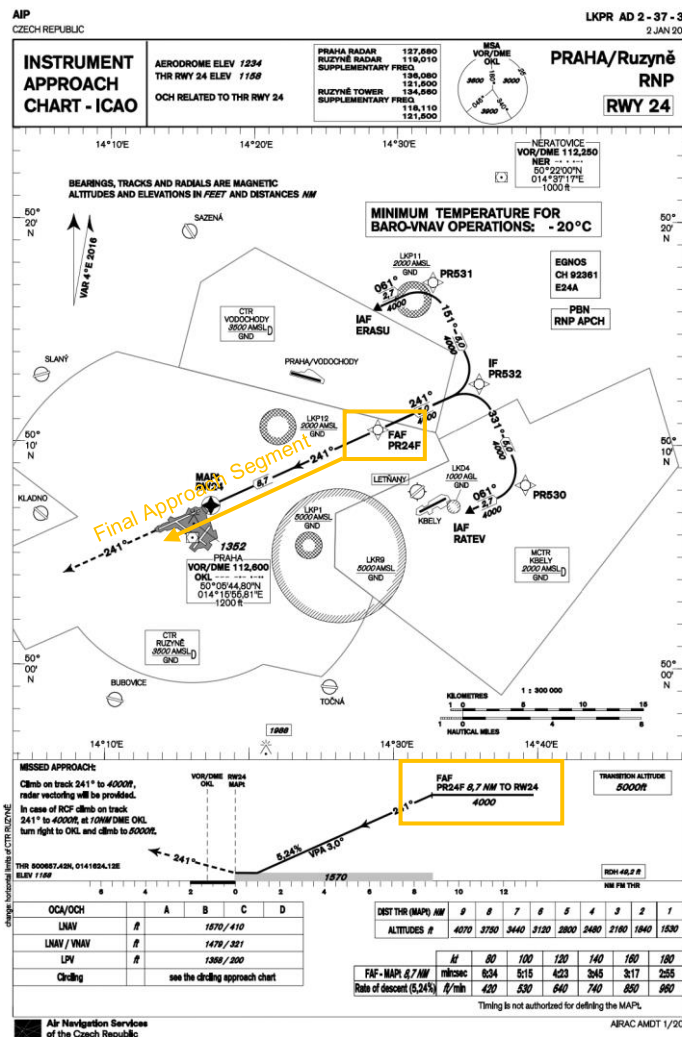
Každá navigační specifikace má jasně stanovené požadavky na vybavení letounu, výcvik posádek, navigační databázi a mnoho dalších. Zde je výčet všech požadavků, které jsou na specifikace kladeny. Podrobnosti ke každé z nich jsou dostupné v ICAO PBN Manuálu^[12] v Part B: Chapter 1:

- *Approval process (Schvalovací proces)*
- *Aircraft requirements (Požadavky na letadlovou techniku)*
- *Operating procedures (Provozní postupy)*
- *Pilot knowledge and training (Znalosti a výcvik letové posádky)*
- *Navigation database (Navigační databáze)*
- *Oversight of operators (Dohled nad provozovateli)*

V publikaci Performance Based Navigation^[11] je obsah jednotlivých bodů shrnut na stránce 180 přibližně následovně. *Není možné létat PBN, pokud k tomu letadlo není uzpůsobeno od výrobce a provozovatel nemá patřičná oprávnění. Posádka musí mít odpovídající výcvik. Letadlo může letět podle RNAV specifikace, pokud má systém RNP nebo RNAV, pro let podle RNP specifikace je možné použít pouze RNP systém. Do toho je potřeba brát v úvahu lokální specifika, kdy se požadavky na vybavení (MEL) pro různé země může měnit.*

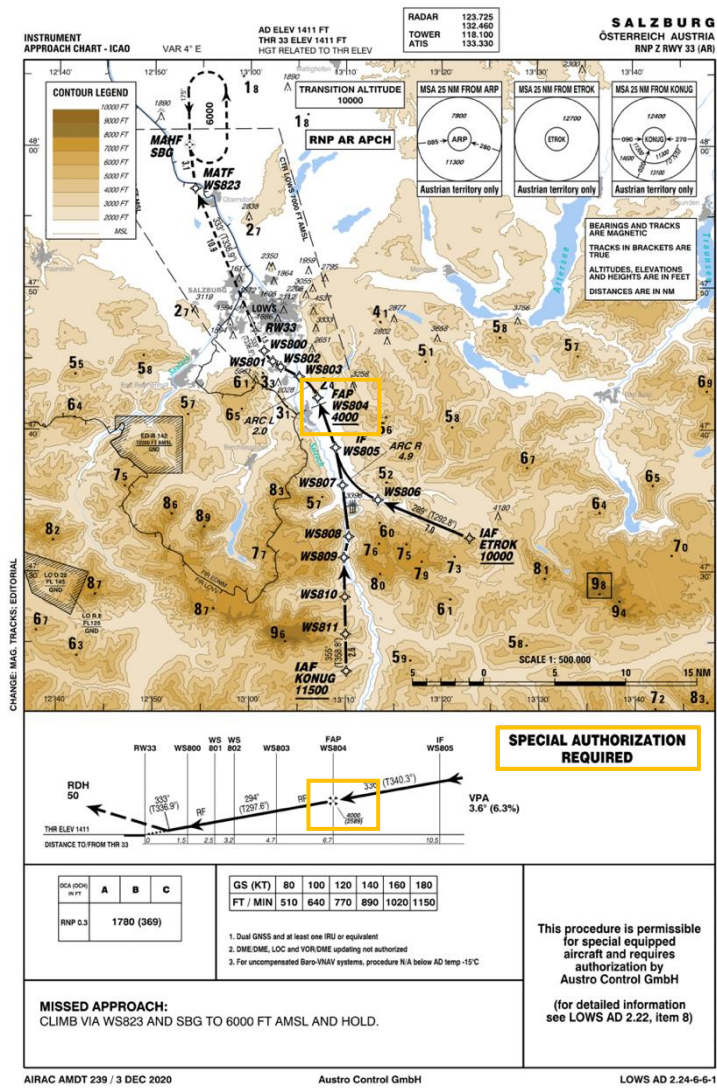
3.3. RNP (AR) APCH

Důvod, proč se touto specifikací zabývat samostatně je takový, že zahrnuje všechny druhy přístrojových přiblížení včetně jednoho přesného, což je jediná rovnocenná alternativa založená na GNSS ke GLS. Základními typy přístrojových přiblížení jsou NPA neboli nepřesná přiblížení, APV neboli přiblížení s vertikálním vedením a PA jsou pak přesná přiblížení. RNP APCH má zástupce v NPA, APV a rovněž v PA skrze SBAS CAT I přiblížení. Rozdíl mezi RNP APCH a RNP AR APCH je v tom, jakým způsobem je horizontálně vedená trať po dosažení Final Approach Fix (FAF), což je bod, který definuje počátek finálního segmentu na přiblížení. Standardně po jeho dosažení v určité nadmořské výšce dojde ke klesání po předem stanovené sestupové rovině, nejčastěji se sklonem 3°. Jak tento bod vypadá je patrné z RNP RWY 24 mapy přiblížení podle přístrojů na Letišti Václava Havla v Praze (LKPR), která je k vidění na Obrázek 6. Z názvu také vyplývá, že pro specifikaci AR je potřebné dodatečné povolení. [1] [11] [13]



Obrázek 6: Mapa přiblížení podle přístrojů RNP RWY 24 LKPR, zdroj: https://aim.rlp.cz/ais_data/aip/data/valid/a2-pr-rnp24.pdf

Toto je ukázka typického RNP APCH, kdy se po dosažení FAF pokračuje přímo na přistání. U RNP AR APCH finální segment nemusí být rovný, ale může mít tvar obecné křivky až do výšky 1000 AGL, pak už musí být také přímý, aby se letadlo před přistáním stihlo stabilizovat. Tato specifikace se může využít v oblasti s nepříznivým terénem. Jak takové přiblížení vypadá je vidět na Obrázek 7, který obsahuje mapu přiblížení podle přístrojů na Salcburské letišti W. A. Mozarta (LOWS), konkrétně RNP AR APCH na RWY 33.



Obrázek 7: Mapa přiblížení podle přístrojů RNP AR RWY 33 LOWS, zdroj: https://eaip.austrocontrol.at/lo/210226/ad_2_low.htm

V obrázku jsem vyznačil upozornění, že je vyžadována speciální autorizace. FAP je Final Approach Point a pro zjednodušení jej je možné považovat za obdobu FAF, byť se od sebe trochu liší. S FAP je častěji možné se setkat u přesných přiblížení, protože značí bod, odkud například začíná horizontální vedení na přistání pomocí ILS, jeho pozice může být dle podmínek proměnná. Naopak FAF, jak již název napovídá označuje fixní bod, jehož poloha je neměnná a po jehož dosažení začíná

finální přibližovací segment. Z mapy je patrné, že i po dosažení FAP finální segment není přímý a trajektorie se mění. Proto jsou také stanovena přísnější kritéria na navigační výkonnost. V levé dolní části mapy pro RNP APCH i RNP AP APCH jsou vypsaná minima, do kterých lze přiblížení vykonávat. U RNP APCH jsou povolena přiblížení do minim bez vertikálního vedení, s vertikálním vedením i LPV 200 (také SBAS CAT I). RNP zde odpovídá 1 NM až po dosažení FAF, poté je to 0,3 NM. RNP AR APCH povoluje pouze jediná minima a to pro RNP 0.3. Letadla a posádky využívající těchto přiblížení musí mít speciální povolení pro provádění těchto postupů.

3.4. Typy minim

V předchozím odstavci jsem zmínil několik druhů minim, která mohou být dle druhu přiblížení aplikována. Jedná se o minima ve smyslu výšky, kdy musí být navázán vizuální kontakt s RWY. Čím nižší hodnota minim je, o to méně času má posádka na provedení rozhodnutí a musí mít jistotu, že se na navigační data do té doby může spolehnout. Protože v rámci PBN hrají hlavní roli GNSS systémy, u nichž je přesnost zaměření ve vertikální rovině nižší než v horizontální, rozlišuje se na tzv. 2D a 3D přiblížení podle toho, jestli je během přiblížení poskytováno vedení pouze v horizontální rovině nebo i vertikální. [14] Výška navíc může být získávána buď pomocí družic GNSS, ovšem zde je nutné zmínit, že je udávána nad modelem, který má systém k dispozici, tudíž může být zkruslena nebo klasickým tlakovým výškoměrem, který funguje na principu porovnání aktuálního atmosférického tlaku vůči referenční hodnotě. Případně lze využít radiový výškoměr, který aktivně vysílá signál a počítá dobu mezi jeho vysláním a návratem a poskytuje tak přesnou hodnotu AGL výšky. Základními typy minim pro RNP APCH jsou [11]:

- LNAV
- LNAV/VNAV
- LP
- LPV

LNAV využívá pouze horizontální vedení a řadí se tak mezi 2D přiblížení. Číselnou hodnotu minima zde představuje tzv. MDA neboli Minimum Descent Altitude, pod kterou se letadlo při přiblížení bez vizuální reference s dráhou nesmí dostat. V praxi hodnota musí být o něco vyšší, než publikované minimum, protože jinak by došlo ke klesání pod hodnotu minima i v případě, že by nakonec k přistání z důvodu špatné viditelnosti nemohlo dojít. Tomuto minimu se říká odvozené MDA, případně DA a využívá se ve všech následujících typech přiblížení. Hodnota přírážky je závislá na typu letounu. [1]

LNAV/VNAV je obohaceno o vertikální vedení, což z něj dělá 3D přiblížení. Minimum je zde vyjádřeno tzv. DA neboli Decision Altitude. Na rozdíl od MDA, DA není minimální výška, ale konkrétní bod, kdy musí dojít k rozhodnutí, což je odlišný přístup vzhledem k tomu, že po dosažení

výšky rozhodnutí se musí finálně určit, jestli se bude pokračovat na přistání nebo jestli bude nutné přiblížení opakovat.

LP minima umožňují pouze 2D přiblížení a podmínkou je augmentační systém SBAS, bez kterého není možné přiblížení vykonat. Uplatňuje se odvozené MDA.

LPV minima umožňují 3D přiblížení s podmínkou aktivního SBAS systému, který umožňuje zpřesnění výškového zaměření pomocí GNSS. V určité konfiguraci se může jako jediný zástupce PBN APCH řadit mezi přesná přiblížení. Uplatňuje se odvozené DA. [11]

Dále se již budu zabývat pouze RNP APCH s LNAV/VNAV minimy a RNP APCH s LPV minimy, jelikož se aktuálně jedná o nepoužívanější alternativy k GLS.

3.5. RNP APCH do LNAV/VNAV minim

Jedná se o 3D nepřesné přiblížení, které k horizontální referenci využívá tlakový výškoměr a je tak tedy nezbytné, aby posádka měla aktuální a správnou hodnotu QNH. [12] Před dosažením DA posádka udělá rozhodnutí, jestli pokračuje na přistání, v opačném případě začne s postupy pro nezdařené přiblížení. Mezní hodnota výšky rozhodnutí je 250 ft AGL. Rozdíl mezi RNP APCH s LNAV a LNAV/VNAV minimy je shrnut přehledně na straně 42 příručky Airbus Flight Operations: Getting to grips with PBN^[11]:

„Pokud se letí v souladu s LNAV minimy, ochranná zóna před nárazem do pozemní překážky je po dosažení FAP/FAF zajištěna dodržováním minimálních výšek pro jednotlivé body přiblížení až do MDA. Pokud jsou stanovena LNAV/VNAV minima, ochrana před nárazem do pozemní překážky je zajištěna maximální vertikální odchylkou od stanovené sestupové roviny.“

Z toho vyplývá, že sestup s LNAV minimy je tvořen jakýmsi schody, kdy k určitému bodu dochází ke skokové změně minimální výšky. Na horizontální vedení nejsou kladeny žádné nároky kromě minimálních publikovaných výšek. Hodnota MDA musí být vyšší než DA, protože není zajištěna kontrola polohy letadla vůči sestupové rovině a je tedy potřeba více času pro identifikaci dráhy a případnou přípravu na přistání. U LNAV/VNAV toto neplatí a při letu po stanovené sestupové rovině dochází ke kontrole, že se od ní letadlo výrazně neodchyluje. Tato kontrola zajišťuje, že letadlo se při dosažení DA nachází v konkrétním bodě, který posádka očekává a může dojít k rozhodnutí v nižší výšce AGL. Kontrola 3D polohy letounu vůči virtuální sestupové rovině funguje správně, pakliže je k dispozici správná barometrická výška a 2D poloha získaná z GNSS. Tento princip může být problematický v případě, že se venkovní teplota výrazně odlišuje od hodnoty mezinárodní standardní atmosféry, ze které je QNH vypočítáváno. Kromě RNP tedy musí být splněny také požadavky na minimální venkovní teplotu, což je základním nedostatkem tohoto typu přiblížení. [1]

3.6. RNP APCH do LPV minim

Tento typ přiblížení má dvě základní varianty, a to LPV (APV 1) a LPV (CAT I), přičemž ta druhá z nich se vyznačuje hodnotou minim 200 ft AGL, čímž se dle nové klasifikace ICAO Annexu 6^[14] řadí mezi 3D přiblížení CAT I typu B. Nová klasifikace už se striktně nedrží použité technologie a tyto pojmy odděluje a jednotlivá přiblížení rozděluje pouze dle výšky rozhodnutí a dráhové dohlednosti. Pokud má využitá technologie dostatečnou výkonnost na to, aby se do jedné z kategorií zařadila, pak je zároveň dle ICAO PANS-OPS^[13] možné takové přiblížení považovat za PA, neboli přesné přiblížení. Za předpokladu, že je tedy dráhová dohlednost rovna nebo vyšší než 550 m, tak LPV-200 s výškou rozhodnutí 200 ft spadá pod přesná přiblížení. V dokumentu je rovněž v definici explicitně zmíněno, o které technologie se jedná a SBAS CAT I je mezi nimi. Kromě již zmíněných názvů pro toto přiblížení, tedy SBAS CAT I a LPV-200 se ještě lze setkat s APV SBAS. Na rozdíl od RNP APCH s LNAV/VNAV minimy, výšková reference zde není zajištěna pomocí tlakového výškoměru, nýbrž z GNSS systému v součinnosti s augmentačním systémem SBAS, jehož kanál musí být schopno letadlo naladit. Sestupová rovina je vytvořena na principu úhlového vedení a stává se tak přesnější a citlivější se zkracující se vzdáleností k RWY. [1] [11]

Vzhledem k obdobné klasifikaci s přiblížením ILS, MLS nebo GLS CAT I, musí se k němu také tak přistupovat z pohledu zajištění kontinuity, což Jakub Malík zmiňuje ve své bakalářské práci^[15] na straně 31:

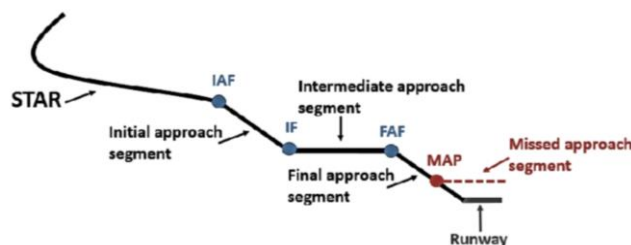
„Ztráta navigačních informací pro LPV se považuje za vážné selhání z hlediska kontinuity. Specifickým požadavkem u této varianty navigace je možnost volby a přepnutí zdroje navigačních informací, které jdou do FMS v případě, že jsou poskytovány hodnoty z konvenčních systémů a současně ze zabudovaných systémů. Na navigačních obrazovkách musí jasně být vidět, který systém poskytuje informace. V případě selhání vybavení, které poskytuje informace za pomoci SBAS, musí být letoun schopný pokračovat v přiblížení za využití jiných systémů např. ILS CAT I, ...“

4. GBAS Landing System (GLS)

Na úvod by bylo vhodné zmínit, že pojmy GLS a GBAS nejsou totožné. GBAS je augmentační systém, který umožňuje vylepšení parametrů GNSS, aby byly použitelné třeba pro přesná přiblížení. GLS je pak přistávací systém, který GBAS využívá jako svou hlavní komponentu. Aktuálně lze GLS využívat pouze na úrovni GAST-C, která svými minimy odpovídá CAT I přiblížením. V následujících letech se plánuje rozšíření na úroveň GAST-D, která už by měla naplňovat požadavky na CAT II/III přiblížení a GLS by se tak mohl stát plnohodnotným konkurentem k ILS. Pojem GAST umožňuje odlišit jednotlivé typy implementace dle poskytovaného výkonu při přiblížení. Jednotlivé skupiny se odlišují přísností požadavků, které musí splňovat a to jak na zařízeních v letadle, tak pozemní infrastrukturu. Ekvivalentem ke skupinám GAST A, B a C jsou APV a CAT I přiblížení. Přiblížení odpovídající CAT II a III budou spadat do typu GAST-D, který bude pokrývat obě kategorie, proto se v souvislosti s GBAS uvádí pojem přesné přiblížení CAT II/III, tedy jakožto jednotný postup. Jedním z důvodů, proč GLS zatím není tolik rozšířený je právě nemožnost realizace přesných přiblížení s nižšími minimy, protože RNP (AR) APCH s LPV minimy lze využít taktéž do DA 200 ft AGL a to víceméně bez jakýchkoliv investic do infrastruktury na straně provozovatele letiště. Podpůrná tvrzení k této domněnce předkládám v kapitole 4.6.

Jak naznačuji v kapitole 3.3, přiblížení je rozděleno na jednotlivé úseky, které jsou od sebe odděleny. Oddělovačem může být například zmíněný FAF/FAP, který značí přechod k úseku konečného přiblížení. Úseky jsou potřebné proto, že parametry letu se musí přizpůsobovat se snižující se vzdáleností od prahu dráhy, v určitých specifikacích PBN může dokonce dojít ke změně RNP. Byť GLS nespadá pod postupy PBN, úseky zde existují analogicky, konkrétně se jedná o tyto [16]:

- Přiletová trať
- Úsek počátečního přiblížení
- Úsek středního přiblížení
- Úsek konečného přiblížení
- Úsek nezdařeného přiblížení



Obrázek 8: Úseky IFR Přiblížení, zdroj: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-representation-of-the-landing-routes-STAR-and-instrument-approach-procedure_fig4_336666671

Pro názornost přikládám Obrázek 8, na kterém jsou k vidění všechny zmíněné segmenty včetně oddělovacích fixů.

4.1. Legislativa

Obecně se provozem zabývá ICAO Annex 6^[14], nicméně konkrétně pro postupy za nízké viditelnosti vznikl dokument ICAO Doc 9365^[17]. Tento dokument se velmi často odkazuje na Annex 6 a doplňuje ho. Z pohledu GLS je zde důležité, že na něj je pohlíženo jako na plnohodnotné přiblížení CAT I a je dáváno na rovinu s ILS, MLS a SBAS CAT I. Pro provedení CAT I přiblížení je tedy zapotřebí ILS, MLS nebo přijímač GNSS s funkcionalitou GBAS nebo SBAS, letoun musí být schopen data z těchto systémů zobrazovat jako odchylky od definované trasy v horizontální i vertikální rovině (ILS-like zobrazení). K tomu je nutné, aby letoun uměl komunikovat s markery v případě ILS pro určení polohy, u GLS toto z principu potřeba není, a byl doplněn alespoň o Flight Director nebo AFCS s možností volby APP módu, HUD nebo ekvivalent, RNAV/RNP systém s příčným a vertikálním vedením, případně jejich kombinace. Na evropské úrovni se provozem zabývá Nařízení Komise (EU) č. 965/2012 a jeho dodatky^[18], provozem za snížené viditelnosti pak CS-AWO^[19] od organizace EASA, v USA dokument AC 120-29A^[20] vydaný FAA.

Z technického pohledu se GLS a GBAS zabývá ICAO Annex 10^[5], ve kterém lze nalézt obecné informace jako základní popis a princip funkce, zařazení mezi ostatní typy přiblížení a usazení do klasifikace pocházející z Annexu 6. Především jsou zde ale vylíčeny technické požadavky na provedení GBAS stanic, obsahy a struktury přenášených datových souborů, využívané frekvence, typy modulací apod. Pro lepší orientaci v této problematice ICAO vytvořila implementační příručku GBAS^[2], která z Annexu 10 vychází. Zde je přehledně shrnuto, k čemu GLS slouží, jsou nastíněny základní principy, výhody a nevýhody a stručně popsány oblasti, kterými je nutné se zabývat před implementací systému do provozu.

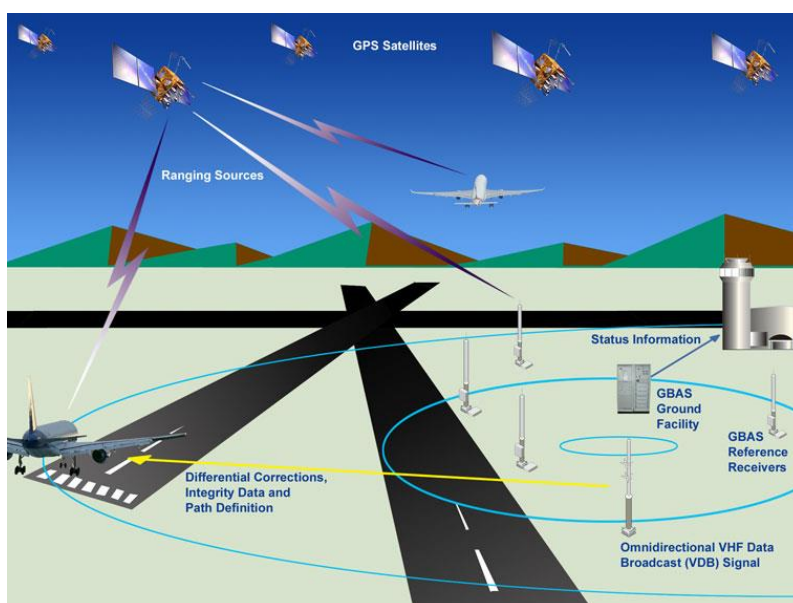
V neposlední řadě je jednou z legislativních otázek, jak se na GLS pohlíží z pohledu MMEL^[21], případně MEL^[22]. GLS se nachází na seznamu MMEL a je tedy z pohledu výrobce letadla považován za systém, jehož disfunkce není pro provoz kritická. Rovněž je ale doplněno, že v případě, že by bylo jeho použití nezbytné pro naplnění minim, pak musí být funkční. Přísnější MEL vydaný operátorem, společností Smartwings, toto rozšiřuje pouze o sdělení, že posádka nemá k využití tohoto systému oprávnění – z důvodu neexistujících osnov pro výcvik a samotných postupů.

4.2. Architektura GLS

V kapitole 2.4 jsem se zabýval diferenciální GPS, jejímž základem (kromě RAIM) jsou korekce dané přesností zaměření, tedy rozdílem mezi polohou určenou pomocí pseudo-vzdáleností a skutečnou velmi přesně naměřenou polohou. Tohoto principu využívá jak SBAS, tak GBAS. V případě SBAS jsou korekce přeneseny do satelitů jako dodatečná zpráva, což umožňuje široké pokrytí, ovšem za cenu snížení přesnosti. U GBAS dochází k distribuci korekcí skrze VHF komunikaci, která eliminuje hlavní nedostatek systému SBAS, a to zkreslení korigovaných dat v důsledku přenosu ze satelitu do přijímače, nicméně pokrytí je výrazně menší a je dáno dosahem VHF vysílací stanice. Z toho důvodu se GBAS stanice pojí s využitím na letištích k zajištění vedení od konce trasového letu až po přesné přiblížení.

Architektura je znázorněna na Obrázek 9 včetně základních komponent systému GBAS [2]:

- Konstelace satelitů
- Pozemní stanice
- Letadlová stanice



Obrázek 9: Architektura systému GBAS, zdroj: www.faa.gov [23]

Konstelace satelitů odpovídá kosmickému segmentu GPS. Jedná se o satelity jednotlivých GNSS systémů, nejčastěji GPS nebo GLONASS.

Pozemní stanice dále sestává z několika GNSS antén, typicky alespoň ze 3, systému odpovědného za zpracování dat (řídící jednotkou) v podobě počítače a VDB vysílačů, které zprostředkovávají komunikaci pomocí VHF vln s okolními letadlovými stanicemi. Na palubu přenáší kromě korekcí také

identifikační údaje dané stanice, informace o sestupové rovině a integritní zprávy, které umožňují signalizovat špatnou výkonnost systému posádce.

Letadlová stanice musí být vybavena přístrojem, který s GBAS pozemní stanicí komunikuje, nejčastěji se jedná o MMR, který zvládne komunikovat jak s GBAS, tak typicky i s ILS, případně i MLS.

GNSS, nejčastěji GPS antény pozemní stanice mají neměnnou velmi přesně zaměřenou a tím pádem známou polohu, která je uložena v centrálním procesorovém systému. Přesnost takového zaměření je do 1 metru vertikálně i horizontálně a lze tak tedy říci, že s takovouto přesností lze pomocí systému GLS určit polohu letounu na sestupové rovině. Zaměření referenčních antén je prováděno standardním způsobem, tedy dochází k porovnání času vyslání signálu ze satelitu s časem přijetí vysílačem a následnému dopočtu polohy pomocí trilaterace složením vzdáleností z více satelitů – ve větším detailu je toto popsáno v kapitole o GNSS. Po získání naměřené hodnoty dojde k porovnání se skutečnou referenční polohou a kombinací ze všech referenčních antén lze získat výslednou hodnotu korekce, o kterou musí být pozice před zobrazením posádce letadla opravena. Toto probíhá pro každý satelit v dohledu a výsledné korekce jsou do letadla zasílány dvakrát za sekundu. Pokud GBAS pozemní stanice není schopna poskytnout korekce pro některý ze satelitů, ať už z jakéhokoliv důvodu, nemůže je ani zasílat letadlové stanici a tím se ze systému vyřadí ty satelity, které by mohly být problematické. GBAS GAST-C dokáže zároveň obsluhovat až 48 přiblížení na různé dráhy, což je dáno tím, že vysílače VHF komunikace umí obsluhovat až 48 kanálů a tím pádem komunikovat až s 48 nezávislými letadlovými stanicemi. Dosah je omezen VDB vysílači a odpovídá dle podmínek přibližně okruhu 23 NM. [23] [24]

Velmi podstatnou funkcionalitou GLS je, že na rozdíl od ostatních typů přiblížení nejsou data pro úsek konečného přiblížení uložena v navigační databázi letadla, nýbrž jsou vysílána VDB stanicemi spolu s korekčními daty. To je velmi důležité, protože úsek konečného přiblížení (FAS) je pro letoun definován až ve chvíli, kdy je v dosahu příslušného GBAS systému. Pro zahájení přistání za pomoci GLS je tedy nezbytné nejdříve úspěšně navázat spojení s pozemní stanicí, jinak palubní systémy nebudou mít informace o poloze FAF/FAP, horizontálním ani vertikálním vedení sestupové roviny. [1]

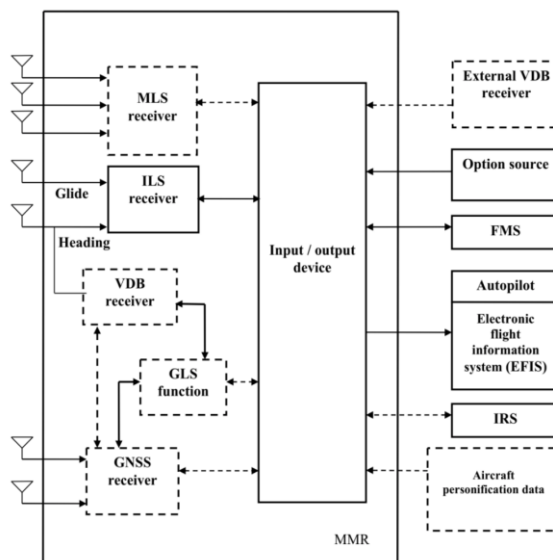
4.3. Palubní vybavení

Kromě GNSS antény, která komunikuje se satelity, musí být schopno letadlo navázat spojení především s pozemními VDB vysílači. Zároveň musí dojít ke kontrole integrity, což může být provedeno buď čistou výstrahou v případě, že se opravená data výrazně liší od zaměření přímo ze satelitů, v případě přesného přiblížení GLS se integrity dosahuje tak, že letoun využívá pouze ty satelity, ke kterým obdržel z GBAS pozemní stanice korekční data. [2] Ve stejnou chvíli také musí

dojít k předání přijatých dat v rámci datového bloku úseku konečného přiblížení (FAS DB) ke zpracování navigačním systémům letadla. Všechny tyto funkcionality v sobě ukrývá tzv. Multi-Mode Receiver (MMR), který se využívá nejčastěji a kromě GLS umí komunikovat také s ILS, MLS nebo VOR infrastrukturou. [24]

V Implementační příručce GBAS^[2] je zmíněno, že požadavky na vybavení jsou takové, aby letadlo zvládlo přijímat signál GNSS, VHF a bylo možné navolit potřebné číslo kanálu a tím jednotlivá přiblížení a sledovat kurs a polohu na sestupové rovině ve formě odchylek od zamýšlené trajektorie (ILS-like zobrazení). Zobrazení je typicky realizováno na primárním a navigačním displeji. Kromě toho musí být možné zvolenou proceduru identifikovat stálým zobrazením například typu přiblížení, identifikátoru nebo čísla kanálu a podle toho jsou také kompatibilní zařízení vyvíjena. Víceméně jediná aktuálně používaná implementace je v rámci přístroje MMR. Přípustné jsou i varianty, kdy dojde k dodatečné instalaci, podmínkou ale je, že zobrazení odchylek je pak implementováno do stávajících PFD/ND. Při splnění určitých podmínek lze k instalaci částečně využít i již existující antény, například VOR, které s VDB přijímači dokáží komunikovat. Konkrétními specifiky pro schválení do provozu jednotlivých implementací se zabývá FAA dokument AC 20-138B^[25].

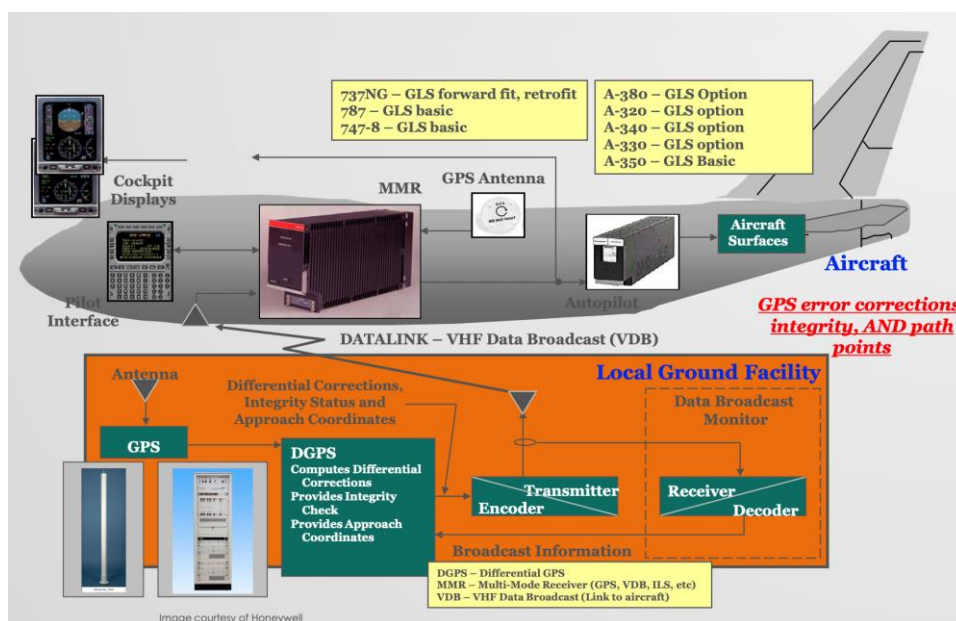
MMR je zařízení, které přijímá data z několika zdrojů, vstupy konsoliduje, zpracovává a předává dalším systémům jako je FMS. Vstupy jsou zajištěny pomocí antén rozmístěných po letadle. Základní princip fungování je patrný z Obrázek 10.



Obrázek 10: Schéma systému MMR, zdroj: Principles of Integrated Airborne Avionics^[26]

V levé části obrázku je obdélníkem vyznačena oblast, jejíž funkcionality zajišťuje MMR. Zleva mimo samotný MMR jsou naznačeny jednotlivé antény schopné přijmu signálu v daném frekvenčním

pásmu. Ze signálu získaná data se zasílají přímo do MMR k dalšímu zpracování. Antény pracující se stejnou délkou vln mohou sloužit jako vstup pro vícero typů přiblížení. To je patrné z toho, že antény pro systém MLS pracují s ultrakrátkými vlnami a na extrémně vysokých kmitočtech, což pro žádné jiné systémy použitelné není, zatímco anténa pro příjem signálu z kurzového majáku (localiser) systému ILS, případně z majáku VOR může být stejně tak dobře využita pro komunikaci s VDB vysílači systému GLS, které jsou taktéž v oblasti velmi krátkých vln, tedy velmi vysokých frekvencí a frekvenční pásma se tak překrývají. Pro GLS je dle ICAO Annexu 10^[5] momentálně vyhrazeno rozpětí mezi 112,050 a 117,900 MHz. Funkce GLS tedy potřebuje dva vstupy, jeden z přijímačů signálu GNSS a druhý pro příjem korekčních dat a FAS DB skrze VHF komunikaci a k tomu může být využita například právě anténa schopná komunikace s kurzovým majákem ILS a majáky VOR. Data z obou vstupů putují do výpočetní jednotky MMR a dále do I/O rozhraní. V případě GLS jsou odtud data předána do FMS, který je poskytné dále systémům jako je autopilot, autothrottle nebo flight director. Konkrétní integraci GLS, potažmo GBAS do MMR se zabývá Obrázek 11.



Obrázek 11: Schéma integrace GLS do MMR, zdroj: GBAS FOR ATCO^[27]

Zde je vidět ve spodní části pozemní infrastrukturu, konkrétně GNSS přijímače a VDB vysílače, které komunikují s VHF anténou umístěnou na trupu letadla. Tento signál spolu se signálem z palubního GNSS přijímače putuje po dekódování do MMR, který je napojen jak na FMC, který je součástí FMS a do kterého posádka přistupuje skrze rozhraní CDU, tak na systém autopilota, který pak dává pokyny do systémů řízení letadla a do zobrazovacích jednotek.

4.4. Zobrazení posádce

Pokud si posádka na MMR naladí pěticiferný kanál GBAS stanice, obdobně jako by si naladila třeba frekvenci ILS, tak může dojít k navázání spojení s pozemní stanicí. Číslo kanálu je pěticiferné v rozsahu 20 001 až 39 999 a je v něm zakódována informace o tom, na jaké frekvenci má letadlo s pozemními VDB vysílači komunikovat a rovněž identifikátor zvoleného přiblížení, ke kterému bude zasílán relevantní datový blok (FAS DB). Pokud je spojení úspěšné, tak letadlo začne přijímat korekční data a je do něj přenesen FAS DB z pozemní stanice. Ten kromě dat nezbytných pro vykonání přiblížení obsahuje rovněž identifikátor přiblížení, který je posádce zobrazován pro zajištění křížové kontroly. MMR hlídá, jestli letadlo využívá stejné GNSS satelity, pro které pozemní stanice vypočítává korekce. Ve větší vzdálenosti bude počet shodných satelitů typicky menší a s přibližováním se k cílovém letišti se tento počet bude zvyšovat, což v důsledku povede ke zpřesňování zaměření se snižující se vzdáleností od stanice – až na výše zmíněnou hodnotu do 1 metru horizontálně i vertikálně. Data z FAS DB jsou předána do FMS a po zpracování dochází k indikaci na displejích PFD a ND analogicky jako při přistání za pomoci ILS. [2] [24]

Obecně je možné se setkat se dvojitou integrací MMR. První a častější variantou je, že se v kokpitu nalézá samostatná jednotka a vstup ze strany posádky probíhá naladěním potřebného kanálu nebo frekvence na fyzickém přístroji, tak jak je to například u klasických COM, případně NAV Rádií. Tato varianta je k nalezení jak u B737 NG, tak B737 MAX. Druhá varianta, která se rovněž začíná objevovat je integrace na úrovni FMS, potažmo CDU. Posádka si skrze CDU navolí v FMS postupy pro přiblížení, například GLS pro konkrétní RWY. V navigační databázi jsou informace o potřebném kanálu a unikátním identifikátoru. Systém si pak sám hlídá naladění kanálu a posádce poskytne indikaci na PFD, kde se zobrazuje informace o tom, že se jedná o GLS přiblížení, označení dráhy, kurz, vzdálenost od prahu a unikátní identifikátor pro kontrolu, že si letoun skutečně naladil správný kanál GBAS.

GLS není prvkem standardní výbavy, což je možná důvodem, proč k druhé polovině roku 2019 bylo pouze 20 % provozovaných letounů řady 737 NG vybaveno MMR a tedy schopností vykonávat GBAS Přiblížení. MMR lze do letounů Boeing nainstalovat dodatečně, ale schopnost je omezena pouze na CAT I přiblížení. U B737 MAX je certifikace MMR plánovaná až do CAT II/III. Je důležité zmínit, že pro GLS CAT II/III v době vzniku této práce ještě nejsou vytvořené a schválené postupy a nelze tedy tato přiblížení létat. I přesto podíl letounů schopných GLS na celkovém počtu provozovaných B737 MAX byl v roce 2019 90 % a je jasně patrné, že provozovatelé i výrobci letadel s GLS uvažují do následujících let. [28]

Na Obrázek 12 je zobrazena jednotka CDU v B737. V levé části je zvolena stránka DEP/ARR, která slouží k navolení procedur pro odlet a přilet. V tomto příkladu jsem zvolil přiblížení GLS na dráhu 27

na letišti v Brémách s ICAO označením EDDW. Na stránce INIT Approach Ref se mi pak zobrazily doplňující informace, konkrétně cílové letiště, číslo a délka dráhy, informace o tom, že jsem zvolil GLS přiblížení, kanál příslušné GBAS stanice, její kódové označení a kurz k prahu dráhy. Zobrazení je tak velmi podobné, jako kdybych zvolil ILS, pouze bych kromě GLS viděl ILS a místo kanálu GBAS stanice by byla zobrazena frekvence.



Obrázek 12: Výběr GLS Přiblížení na CDU, zdroj: zpracováno autorem za použití SW X-Plane 11

Rovněž při samotném přiblížení je zobrazení téměř totožné. Na Obrázek 13 je vidět srovnání zobrazovacích jednotek Boeingu 737 NG (nahore) a Boeingu 737 MAX (dole). Záměrně sem dávám ukázkou z obou strojů, protože zobrazení se výrazně neliší ani s novým rozvržením obou displejů na řadě MAX. Indikace sestupové roviny je naprosto totožná s přistáním pomocí ILS, na ND je nastaven Approach mód, kde je vidět, jestli je letoun na požadované trase a magentovými diamanty v pravé části je indikována poloha vůči sestupové rovině. Na PFD vlevo nahore je vidět jediný rozdíl oproti ILS a to, že je zde napsáno GLS místo ILS, jinak se pro posádku čtení těchto přístrojů nijak neliší.

(Pozn.: Na přiloženém obrázku ND B737 MAX nemusí být indikace zobrazena zcela přesně. Důvodem jsou omezené možnosti simulace tohoto letounu, protože na tvorbě stejně pokročilých modelů jako je B737 NG se teprve pracuje.)



Obrázek 13: PFD a ND při GLS, zdroj: zpracováno autorem za použití SW X-Plane 11

U obou těchto letounů by volba kanálu proběhla na dedikovaném přístroji MMR, který je v B737 umístěn na pedestalu v blízkosti ostatních voličů navigačních i komunikačních frekvencí. Na Obrázek 14 je MMR zvýrazněn a je na něm naladěna stanice GBAS v Bremenu.



Obrázek 14: MMR v Boeingu 737, zdroj: zpracováno autorem za použití SW X-Plane 11

Důvod, proč se zobrazením tolik zabývám je takový, že GLS je od začátku navrhován tak, aby kopíroval chování ILS natolik, aby postupy byly víceméně rovnocenné, proto je také důležité si uvědomit, že ovládání a výstupy směrem k posádce jsou až na malé nuance shodné.

4.5. Výhody / nevýhody

Za hlavní výhody GLS lze považovat:

- Nutnost pouze jedné pozemní stanice k obsluze vícero VPD
 - Prostorová úspora
 - Ekonomická úspora
- Harmonizace s RNP přilety a související ekonomické a ekologické úspory
- Není předmětem rušení od pozemních objektů a není nutné zřizovat ochranné zóny
- Flexibilita v navádění na práh dráhy a sklonu sestupové roviny
- (Možnost implementace systémů pro podporu pohybu po letištní ploše za snížené viditelnosti, asistovaného nezdařeného přiblížení apod.)

Potřeba pouze jedné pozemní stanice na daném letišti, která je schopna obsloužit několik VPD najednou, a to oba konce. Teoreticky dokonce může poskytovat vedení na dráhy, které spadají pod jiná letiště, pokud jsou stále v dosahu VDB vysílačů. S tím souvisí také nižší pořizovací náklady, a především nižší náklady na údržbu oproti variantě, kdy by každá dráha měla být osazena vlastním ILS zařízením. Kromě finanční úspory GLS také přináší úsporu prostoru, protože pozemní zařízení nemusí být umístěno na konkrétním místě.

Není nutné zřizovat ochranné zóny (critical areas) v takovém rozsahu jako u ILS, ve kterých nesmí za provozu stát žádná letadla, aby nedocházelo k rušení.

Umožňuje lepší aplikaci RNP a RNAV v koncových řízených oblastech v okolí letišť, respektive harmonizaci těchto postupů právě s přiblížením pomocí GLS, což umožňuje zavádět postupy pro přesná přiblížení i v místech, kde z důvodu nepříznivých geografických podmínek není aplikace ILS nebo MLS možná. Zároveň lze efektivněji využívat vzdušný prostor, protože RNP i GLS lépe umožňují zakřivené trasování oproti klasickému přímějšímu. [27]

Přináší flexibilitu navádění na práh dráhy nebo sklonu sestupové roviny, jejíž změna může být žádoucí například kvůli turbulencím v úplavu nebo také z důvodu zkrácení nebo prodloužení samotného přiblížení, což může vyústit ve vyšší kapacitu letišť a potencionálně nižší spotřebu paliva, což by mělo pozitivní dopady jak z pohledu ekonomického, tak ekologického, na což je v posledních letech kladen stále větší zřetel. [2]

Princip funkce GBAS stanice do budoucna otevírá cestu k plnění další funkcí na letištích kromě přesných přiblížení, konkrétně například zdroj polohové reference pro pohyb na zemi za

snížené viditelnost jako navádění při pojíždění po letištní ploše, asistovaného vzletu či nezdařeného přiblížení. Takové postupy v době vzniku této práce ještě nebyly implementovány. [24]

Za hlavní nevýhody GLS lze považovat:

- Nízký počet pozemních stanic z důvodu dosavadní certifikace pouze do úrovně CAT I (GAST-C) – více viz kapitola 4.6
- Nízký počet kompatibilních letadel
- Nemožnost implementace do letadel GA se stávající technikou
- Rušení signálu

Dosavadní implementace GLS systému pouze do úrovně GAST-C umožňuje přiblížení maximálně úrovně CAT I. Pro CAT II/III je nutné použít GAST-D, což je podmíněno překonáním problémů s aktuálními pozemními stanicemi systému GBAS, a to především v oblasti celkové robustnosti systému s ohledem na ionosférické účinky a rušení od radionavigačních vln. Dokud nebudou přesná přiblížení úrovně CAT II/III uvedena do provozu, je pochopitelné, že pro provozovatele tato investice nemá až takový smysl, zvláště když existuje SBAS CAT I (LPV 200), které nabízí CAT I přesné přiblížení bez dodatečných nákladů na infrastrukturní vybavení. [29]

Aktuálně je poměrně málo letadel s patřičným vybavením, jmenovitě s MMR. Důvodem je především existence SBAS CAT I viz výše a rovněž že na aktuálně vyráběných komerčních letounech se jedná o prvek nadstandardní výbavy. Na druhou stranu, již se na trhu začínají objevovat zařízení se schopností naplnit požadavky GAST-D, a je možné uvažovat do budoucna s recertifikací na úrovně odpovídající CAT II/III (v závislosti na vývoji kompatibilních pozemních stanic). [28] [29]

Nemožnost využití v obecném letectví je zásadní nevýhodou pro implementaci v zemích s nezanedbatelným objemem provozu letadel GA, konkrétně například v USA nebo Austrálii, což může mít vliv na celosvětový vývoj této technologie. Aktuálně lze GLS přiblížení zaletět víceméně pouze s MMR, což zabraňuje plošnému využití v oblasti obecného letectví. MMR je drahý přístroj, který se v letadlech GA nevyskytuje, zatímco ILS je běžnou součástí velkého množství IFR certifikovaných letounů.

Rušení signálu GLS spočívá jednak v rušení samotného GNSS, s čímž se ILS nepotýká, ale rovněž v komunikaci s VDB vysílači, což je analogickým problémem jako u ILS, jelikož oba systémy využívají stejné frekvenční pásmo. U ILS je nicméně nutné zajistit umístění vysílače v rámci velmi úzce specifikovaného prostoru pro zajištění správné funkčnosti. U GLS toto neplatí, vysílače nemusí být umístěny ani v prostoru letiště, je ovšem vhodné je situovat do oblasti, kde bude zajištěn přímý výhled na přistávající letadla, bude k nim omezen přístup a nebude docházet k dalšímu výraznému rušení od okolních objektů. [2]

4.6. Stupeň implementace

Postupy pro CAT II/III přiblížení v době psaní této práce stále nebyly uvedeny do provozu a probíhá pouze fáze výzkumu a testování. Zpráva EUROCONTROLU^[30] z roku 2021 vycházející z dat za rok 2020 naznačovala, že by se v roce 2022 provoz GBAS CAT II/III měl začít implementovat a testovat na následujících 6 letištích:

- LSZH, Švýcarsko
- EDDW / EDDF, Německo
- LEMD, Španělsko
- LFPG, Francie
- Nizozemí
- CPK, Polsko

Po konfrontaci s nejnovějšími daty obsaženými v dedikovaném dashboardu^[31] organizace EUROCONTROL je patrné, že vytyčené cíle dosaženy nebudou. Pokud nebude uvažováno Rusko, kde je GLS přiblížení oproti zbytku světa poměrně rozšířené, tak na území Evropy je aktuálně 21 veřejných letišť schopných odbavovat GLS CAT I přiblížení, z nichž naprostá většina leží v Norsku, které není členským státem EU. Na území EU se tedy nachází pouze 4 letiště s využitelnou GBAS stanicí. Na dalších 11 letištích se očekává implementace téhož stupně, ovšem nejdříve v roce 2023. Implementace GLS CAT II/III je v nejbližší době očekávána pouze na letišti v Bremenu, nicméně z vyjádření Andree Lippa^[32], GNSS Inženýra z organizace EUROCONTROL, v reakci na můj dotaz, ani toto prozatím není reálné. Otázka byla položena v angličtině, zde ji uvedu s vlastním českým překladem.

1. Jaký je status implementace GBAS CAT II/III? Kdy lze očekávat uvedení do provozu?

Uvedení do provozu na úrovni GAST-D bylo několikrát zpožděno kvůli pandemii COVID-19. První letoun s potřebným vybavením (B777-9) začne být distribuován koncem roku 2023. Termín pro dostupnost certifikovaných pozemních stanic zatím nebyl stanoven.

Tabulka 3: Implementace GLS, zdroj: zpracováno autorem na základě dat organizace EUROCONTROL^[31]

Přehled implementace GLS na evropských letištích					
ICAO Kód	Název letiště	Země	GLS CAT I	GLS CAT II/III	Předpokládané uvedení do provozu
EDDF	Frankfurt	Německo	Plně implementováno	Plánováno	N/A
EDDW	Bremen	Německo	Plně implementováno	Plánováno	2022
EGLL	Londýn Heathrow	Velká Británie	Plánováno	Plánováno	N/A
EKCH	Kodaň	Dánsko	Plánováno	Plánováno	2025
ENBL	Forde	Norsko	Plně implementováno	-	-
ENBN	Bronnoysund	Norsko	Plně implementováno	-	-
ENBS	Batsfjord	Norsko	Plně implementováno	-	-
ENBV	Berlevag	Norsko	Plně implementováno	-	-
ENGM	Oslo	Norsko	Plánováno	Plánováno	-
ENHF	Hammerfest	Norsko	Plně implementováno	-	-
ENHK	Hasvik	Norsko	Plně implementováno	-	-
ENLK	Leknes	Norsko	Částečně implementováno	-	-
ENMH	Mehamn	Norsko	Plně implementováno	-	-
ENMS	Mosjoen	Norsko	Částečně implementováno	-	-
ENNM	Namsos	Norsko	Plně implementováno	-	-
ENRM	Rorvik	Norsko	Plně implementováno	-	-
ENRS	Rost	Norsko	Plně implementováno	-	-
ENSH	Svolvaer	Norsko	Částečně implementováno	-	-
ENSK	Stokmarknes	Norsko	Částečně implementováno	-	-
ENSS	Vardo	Norsko	Plně implementováno	-	-
ENST	Sandnessjoen	Norsko	Plně implementováno	-	-
ENVD	Vadso	Norsko	Plně implementováno	-	-
EPGD	Gdaňsk	Polsko	Plánováno	-	N/A
EPKK	Krakov	Polsko	Plánováno	-	N/A
EPWR	Vratislav	Polsko	Plánováno	-	N/A
ESKN	Stockholm	Švédsko	Plánováno	-	2030
ESMQ	Kalmar	Švédsko	Plánováno	-	2030
ESNS	Skelleftea	Švédsko	Plánováno	-	2030
ESOE	Orebro	švédsko	Plánováno	-	2030
EVRA	Riga	Lotyšsko	Plánováno	Plánováno	2024
LEMD	Madrid	Španělsko	-	Plánováno	2023
LEMG	Malaga	Španělsko	Plně implementováno	Plánováno	N/A
LSZH	Curych	Švýcarsko	Plně implementováno	Plánováno	N/A

Celosvětově pak lze hovořit přibližně o 100 aktivních veřejně využitelných GBAS stanicích a o dalších desítkách letišť, kde je implementace v plánu, což vyplývá z interaktivní mapy spravované GBAS pracovní skupinou pod organizací EUROCONTROL^[33]. I navzdory aktuálně nízkému počtu aktivních stanic je pro společnost Smartwings výhodné se GLS zabývat, protože již disponují potřebnou technikou pro GAST-C provoz. Toto neplatí pro SBAS CAT I přiblížení, která sice jsou na území EU výrazně rozšířenější, nicméně B737 MAX společnosti Smartwings nedisponují avionikou schopnou komunikace s SBAS.

Na základě dat v Tabulka 3 se lze domnívat, že mnoho provozovatelů letišť vyčkává s implementací kvůli aktuální nedostupnosti GAST-D úrovně a lze předpokládat, že vytvoření a schválení postupů pro tuto úroveň bude hlavním milníkem, který umožní masové rozšíření této technologie. Tuto mou domněnku podporuje i vyjádření ing. Tomáše Duky^[34], vedoucího Oddělení postupů ATM ze státního podniku Řízení letového provozu ČR, jehož jsem s dotazy na tuto problematiku kontaktoval:

1. Uvažovalo již někdy Letiště Praha o implementaci GLS CAT I, případně do budoucna GLS CAT II/III, například v souvislosti s plánovou výstavbou nové dráhy? Pokud ano, v jakém časovém horizontu?

Uvažovali jsme o tom v čistě teoretické rovině ve chvíli kdy se tato technologie objevila, ale vzhledem k tomu, že tehdy bylo k dispozici pouze CAT I, tak to nemělo smysl.

2. Je přiblížení RNP do LPV minim (SBAS) hojně využívané? Vnímáte ho jako plnohodnotné přesné přiblížení nebo spíše jako doplňkové k ILS? Lze toto podložit nějakými daty?

Co se postupů na letiště Praha týká, tak je LPV prozatím pouze doplněk k ILS, zejména kvůli nízkému vybavení letadel (v současnosti cca 4-5 % z celkového počtu letů na Ruzyni). Kromě toho v souvislosti s možným rušením GNSS signálu nepokládáme za rozumné opouštět ILS.

Nicméně PNK 1048/2018 říká, že po roce 2030 by se mělo používat primárně LPV a ILS pouze jako záloha (kromě CAT II/III)

3. Z pohledu potenciálního provozovatele systému GBAS – jaká pozitiva by Vás k zavedení této technologie mohla přimět a co naopak shledáváte jako aktuální nedostatek tohoto typu přiblížení.

Pozitivum je samozřejmě to, že s jedním zařízením obslužíte všechny 4 RWY a nevýhoda vyplývá z toho samého. Pokud bude zařízení mimo provoz nebo bude rušený signál GNSS, tak není k dispozici žádné přiblížení. Je tak stále potřeba záložní systém a pokud má být na úrovni CAT II/III tak je to pouze ILS. Finanční náklady na provoz zároveň ILS CAT III i GBAS CAT III jsou tak vysoké, že je to asi neobhajitelné.

4. Co je podle Vás důvodem, že GLS přiblížení není po Evropě moc rozšířené? Myslíte, že se to s postupem času bude měnit?

Co si pamatuji, tak většina evropských letišť, kde to bylo zavedeno, byly součástí nějakého rozvojového projektu. Náklady na pořízení technologie GBAS tak byly částečně hrazeny z fondů EU, GSA nebo tak podobně. Ale někde mají GBAS koupený, protože jim to dává smysl (např. Norsko, tuším, že měli problémy s pokrytím signálem SBAS)

Obecně ale není velký zájem provozovat tyto systémy, protože CAT I je k dispozici s technologií EGNOS bez potřeby pozemní technologie a pro CAT II/III není systém doposud certifikován. Kromě toho je celý systém v situaci „slepice / vejce“ – je málo instalací na letištích, tak dopravci nemají zájem vybavovat paluby a zároveň je málo vybavených letadel, tak nikdo nechce kupovat zařízení na letiště.

Na Obrázek 15 jsou vidět všechna letiště, kde jsou plně implementovány postupy pro RNP APCH do LPV minim (SBAS CAT I), což poskytuje další kontext, který přímo indikuje, že certifikace GAST-

D úrovně je pro další rozvoj nezbytná. I tak je vhodné si všimnout, že velká část pro společnost Smartwings klíčových destinací implementaci SBAS CAT I přiblížení nemá – konkrétně Španělsko, Itálie, Řecko, Spojené království, Island apod. a v mnoha z nich kvůli umístění na periferii nebo mimo pevninskou Evropu implementace kvůli nedostatečnému pokrytí SBAS v nejbližší době ani možná nebude.



Obrázek 15: Úroveň implementace RNP APCH do LPV minim, zdroj: PBN Map: Deployment monitoring, EUROCONTROL^[31]

4.7. Porovnání s ostatními typy přiblížení založenými na GNSS

Vzhledem ke výše zmíněným silným a slabým stránkám bych si dovolil předložit Tabulka 4, v níž jsem se pokusil porovnat jednotlivá přiblížení založená na principu GNSS. Kritéria srovnání nejsou čistě technická, ale také provozní a pragmatická. Cílem není dojít k závěru, že jedno přiblížení je lepší než druhé, nýbrž ukázat, že každý z těchto postupů má své místo pro určitý typ využití a být na sobě teď částečně parazitují, do budoucna se budou jen doplňovat jako základ redundantního systému, jehož existence je v letectví nezbytná. V tabulce jsou využity informace, které jsou shrnutím mého porozumění problematice a vycházejí ze studia všech zmíněných zdrojů.

Tabulka 4: Porovnání GNSS přiblížení, zdroj: zpracováno autorem

	RNP LNAV/VNAV	RNP LPV	GLS
Zařazení	APV	APV/PA ¹	PA
Druh přiblížení	3D	3D	3D
Tabulka minim	LNAV/VNAV	LPV	CAT I ²
Sestupová rovina	Na základě hodnoty z barometrického výškoměru (BaroVNAV)	Geometricky vytvořená rovina na základě GNSS dat zpřesněných pomocí SBAS	Geometricky vytvořená rovina na základě GNSS dat zpřesněných pomocí GBAS
Výšková reference	(Baro)	Baro	Baro ²
Minima	DA/H	DA/H	DA/H
Druh	A	A nebo B ³	A nebo B ³
Min DH	250 ft	200 ft ¹	200 ft ²
Min RVR	550 m ⁴	550 m ¹	550 m ²
Dostupnost	Dostupnost RAIM	Kvalitní pokrytí SBAS	Kvalitní pokrytí GBAS
Využitelnost	RNP - traťový let, přiblížení	RNP - traťový let, přiblížení	Polohová služba pro RNAV, přiblížení, navigace po provozní ploše, asistovaný vzlet
Pokrytí v Evropě ⁵	300+ veřejných letišť s úplnou implementací	LPV (APV 1) 150+, LPV (CAT I) 150 veřejných letišť s úplnou implementací	21 veřejných letišť s úplnou implementací
Infrastrukturní vybavení	Žádné zvláštní požadavky	Pokrytí SBAS	GBAS Stanice na daném letišti
Palubní vybavení	Aktuální navigační databáze, GPS se schopností Baro VNAV, ABAS (RAIM), AMC 20-27	Aktuální navigační databáze, GNSS se schopností SBAS, AMC 20-27	Aktuální navigační databáze, GNSS se schopností přijímat GBAS, schopnost RNAV (Realizace typicky MMR + FMS + PFD/ND)
Mezinárodní legislativa	ICAO Annex 6, ICAO Annex 10, ICAO PANS-OPS, PBN Manual	ICAO Annex 6, ICAO Annex 10, ICAO PANS-OPS, PBN Manual	ICAO Annex 6, ICAO Annex 10, ICAO PANS-OPS, GBAS Guide
Stupeň implementace	Plně implementováno	Plně implementováno	CAT I implementováno, vývoj CAT II/III probíhá
Poznámky	-	LPV (APV 1) pro všechny RNP postupy do LPV minim kromě SBAS CAT I (LPV-200 nebo také LPV CAT I)	-

¹Pouze SBAS CAT I (LPV-200), při DH větší než 200 ft a RVR větší než 550 m se jedná o APV 1
²Doposud certifikováno pro provoz pouze CAT I, při certifikaci GLS CAT II/III už radio minima, DH 200 – 0 ft a odpovídající RVR
³Typ A pro DH větší nebo rovnu 250 ft
⁴Tabulková hodnota dosažitelná za podmínek určených Nařízením Komise (EU) č. 965/2012
⁵Data viz PBN Map: Deployment monitoring, EUROCONTROL^[28]

Jak je již zmíněno výše, zástupce RNP APCH specifikace lze zařadit mezi NPA neboli nepřesná přiblížení, mezi APV jakožto přiblížení s vertikálním vedením i PA v případě SBAS CAT I. Zatímco RNP do LNAV/VNAV minim a RNP do LPV minim vyšších než 250 ft (LPV (APV 1)) spadají do kategorie APV, o GLS a SBAS CAT I (LPV (CAT I)) lze hovořit jako o přesných přiblíženích. Tím, že všechny typy poskytují horizontální vedení, lze je shodně označit jako 3D přiblížení. Využívaná minima odlišují všechny typy, zatímco u RNP LNAV/VNAV a RNP LPV (APV 1) nelze pokračovat bez rozhodnutí pod DH 250 ft, u RNP LPV 200 a GLS je hodnota DH 200 ft. U GLS se již pracuje na certifikaci pro CAT II/III přiblížení, kde hodnota výšky rozhodnutí bude ještě nižší, u SBAS CAT I se s rozšířením certifikace zatím nepočítá. S tím souvisí také výšková reference – zatímco u RNP LPV a GLS lze vykonat křížovou kontrolu pomocí tlakového výškoměru, případně u GLS do budoucna pomocí radiovýškoměru u CAT II/III provozu, tak u RNP LNAV/VNAV je sice taktéž využita reference barometrického výškoměru, ale přímo slouží k tvorbě sestupové roviny a pro kontrolu tak využita být nemůže. Zde musí dojít ke kontrole jiným způsobem blíže specifikovaným v

ICAO dokumentu PANS-OPS VOL I. Z toho důvodu jsou rovněž publikované rozsahy teplot, ve kterých lze RNP LNAV/VNAV provozovat, jelikož se spoléhají na tlakovou výšku jako na hlavní zdroj reference, která je nicméně velmi závislá na teplotě.

Využitelnost je dána principem daného systému, zatímco u obou RNP přiblížení lze technologii využívat během trasového letu i při přiblíženích, GLS během trasového letu ve větší míře využívat nelze, nicméně jeho použití nezůstává u přesných přiblížení, ale v budoucnu i pro navádění po letištní ploše a asistenci při vzletu. Dostupnost je relevantní údaj především u RNP do LPV minim a u GLS. Zatímco u RNP do LPV minim je nutné uvažovat dostupnost augmentačního systému viz 2.4, u GLS musí být letoun v dosahu stanic VDB systému GBAS, což je ze všech 3 systémů nejvíce omezující podmínka.

Zároveň je nezbytné, aby letoun se systémem uměl komunikovat čehož se u GLS dosahuje především implementací přijímače GBAS, nejčastěji skrze MMR v součinnosti s FMS, což je nákladné a v jiných než ve velkých dopravních a business letadlech se jeho s integrací víceméně doposud nelze setkat. Kromě toho je zde požadavek na implementaci RNAV pro poskytnutí vedení v úseku počátečního, středního a nezdařeného přiblížení. O něco méně náročná kategorie je RNP do LPV minim, které vyžaduje GNSS s SBAS přijímačem, který lze již celkem běžně nalézt i v letounech obecného letectví. Pro RNP LNAV/VNAV jsou stanovené požadavky na augmentační systém ABAS (RAIM), který taktéž bývá do moderní avioniky zakomponován. Kromě toho musí být letoun schopný vypočítat sestupovou rovinu na základě reference z tlakového výškoměru – tzv. BaroVNAV. Výhodou přiblížení ze skupiny RNP je, že systém přiblížení realizuje vždy s nejvýkonnější dostupnou metodou, pokud je tedy letoun vybaven SBAS, tak může být využit při LNAV/VNAV přiblížení místo BaroVNAV. Naopak pokud výkonnost SBAS během přiblížení klesne a jsou dostupné postupy pro LNAV/VNAV, je možné za určitých podmínek klesnout z kategorie LPV do LNAV/VNAV a přiblížení doletět, byť s vyšší hodnotou minim. Pro GLS toto neplatí a v případě, že je vedení narušeno zde není kategorie, do které by GLS mohlo automaticky propadnout. Změna typu přiblížení ovšem možná je a zabývám se jí v kapitole 5.2.4. Pro všechny tyto typy přiblížení platí, že letoun musí mít aktuální navigační databázi.

Co se týče pokrytí na území Evropy, tak na největším počtu letišť je doposud implementováno přiblížení LNAV/VNAV, zde se lze domnívat, že to je kvůli nejmenším požadavkům – nejsou na straně provozovatele letišť ani na žádné zvláštní vybavení letadel. Neméně rozšířená jsou rovněž RNP přiblížená založená na principu SBAS, opět se lze domnívat, že kvůli tomu, že letiště nemusí být speciálně vybavená a stačí jim být v dosahu pokrytí libovolného SBAS systému. U GLS je plných implementací výrazně méně, ve větším detailu se tímto zabývám v kapitole 4.6.

Technické požadavky na všechny 3 zástupce jsou stanoveny ICAO Annexem 10, provozní požadavky lze nalézt v ICAO Annexu 6. Specifika jsou uvedena velmi podrobně pro RNP v již několikrát zmiňovaném PBN Manuálu od organizace ICAO. O GLS pak referuje dokument GBAS Guide, který je ovšem výrazně stručnější. Z nich poté vycházejí lokální dokumenty a doplňují je. Z evropských dokumentů lze například uvést ty od organizace EASA CS-AWO zabývající se provozem za snížené viditelnosti, AMC 20-27 pokrývající požadavky na schválení k provozu RNP APCH a případně ostatní legislativa EK, například Nařízení Komise (EU) č. 965/2012. Důležité jsou rovněž dokumenty AC, konkrétně například AC 20-138B nebo 120-29A, vydané FAA.

5. Implementace do postupů

Předchozí kapitoly pojednávají o systému jako takovém, porovnání s alternativami a pokoušel jsem se také racionalizovat jeho využití ve společnosti Smartwings. Byť bylo zmíněno, že letouny B737 MAX jsou vybaveny potřebnou technikou, je nutné si uvědomit, že způsobilost k provedení GLS přiblížení zahrnuje kromě technického vybavení letounu taktéž vycvičené posádky a naplnění legislativních požadavků. Provozovatel musí mít rovněž schválení k provozu GLS od lokální letecké autority.

V rámci výcvikové příručky pro Boeing 737 MAX (FCTM)^[35] se na GLS a ILS nahlíží rovnocenně, což podporuje trend, který je nastaven, a to, že posádky by měly mít indikaci při přiblíženích totožnou nezávisle na použité technologii (SBAS, ILS, MLS apod.) a v rámci tvorby postupů je tedy možné tuto informaci zohledňovat, aby došlo k harmonizaci napříč typy přiblížení. Na druhou stranu je ale nutné uvažovat specifika GLS, která jsou zmíněna v provozní příručce B737 MAX (FCOM)^[36], v AC 20-138B^[25] a AC 120-29A^[20] a do postupů i výcvikové osnovy je zahrnout.

5.1. Výcvik

Jelikož GLS nemá samostatně definované požadavky na výcvik jako je tomu například u RNP, tak je možné vycházet z dokumentů AC 120-29A a CS-AWO pokrývající provoz za každého počasí. Byť se GLS přímo nezabývají, konkrétně AC 120-29A obecně pro přiblížení CAT I stanovuje požadavek na nutnost absolvovat teoretickou a praktickou část výcviku. V rámci návrhu výcvikové osnovy toto beru v potaz a bude sestávat z těchto dvou částí. V rámci teoretické části bude cílem posádku seznámit s technickým fungováním GBAS stanic, s operačními omezeními a porovnání s ILS a RNP přiblíženími. Praktická část, kterou je možné realizovat na simulátoru bude obsahovat nácvik standardních i nestandardních situací.

5.1.1. Teoretický výcvik

- **GNSS**
 - Princip funkce
 - Augmentační systémy

Připomenutí principu funkce GNSS systémů, nejzásadnějších chyb a způsoby korekcí. Popis ABAS, SBAS a GBAS a umístění do kontextu jednotlivých typů přiblížení. Je možné vycházet z kapitoly 2 této práce.

- **GBAS**
 - Vymezení pojmu oproti RNP
 - Princip funkce

- Pozemní stanice
- Palubní vybavení

Připomenutí principu funkce se zvláštním důrazem na odlišení od postupů RNP. Popis pozemní stanice včetně VDB vysílačů a odpovídajícího palubního vybavení. Je možné vycházet z kapitoly 4 této práce.

- **Porovnání s ostatními druhy přiblížení**

- ILS
- RNP APCH

Zběžné porovnání s ohledem na provozní specifika jednotlivých přiblížení. Lze částečně vycházet z kapitoly 4.7 této práce a vhodné doplnit odlišnostmi v postupech na základě provozní příručky Smartwings.

- **Přibližovací mapy letišť**

- Obecný přehled
- Identifikace přiblížení
- Kanál stanice GBAS
- Minima a jejich zobrazení

Na konkrétní přibližovací mapce pro letiště, které by mohlo být v rámci provozu využito ukázat, že zobrazení je velmi podobné jiným druhům přiblížení, kde se nachází číslo kanálu a jedinečný identifikátor přiblížení.

- **Indikace posádce**

- FMC
- PFD a ND

Ukázka jak navolit přiblížení v FMC na straně DEP APP (například GLS Z 27) a jak zkontrolovat na straně INIT REF správné navolení postupů s identifikátorem přiblížení, kanálem a kurz na přiblížení. Samotné body přiblížení na straně LEGS je pak vhodné si porovnat s mapou přiblížení. Při správném navolení postupů ověření pomocí indikace na primárním a navigačním displeji. Je možné využít kapitoly 4.4 této práce.

- **Nestandardní situace**

- Postupy pro nezdařené přiblížení
- Vynucené opakování přiblížení
- Postup při ztrátě signálu

Představení postupů pro nezdařené přiblížení v souladu s příručkou B737 MAX a SOPs Smartwings. Zdůraznění ekvivalence postupů s těmi pro ILS. Specifika GNSS systémů. Částečně je možné využít kapitoly 5.2.4 této práce.

- **Postupy letecké společnosti**

Detailní představení postupů pro GLS CAT I (viz Příloha 1) s prostorem na dotazy.

Přestože AC 120-29A připouští variantu samostudia s následným přezkoušením, doporučuji prvotní školení v prezenční formě završené písemným přezkoušením pro ověření porozumění problematice. V testu by měly být otázky na provozní postupy a omezení systému GLS především v porovnání s postupy RNP APCH. V méně podrobné formě neobsahující především body GNSS, Přibližovací mapy letišť a Indikace posádce by školení mělo probíhat periodicky, formou samostudia s následným přezkoušením dle potřeb provozovatele.

5.1.2. Praktický výcvik

Praktická část by měla následovat po úspěšně završeném přezkoušení z teoretických otázek a lze ji celou realizovat na certifikovaném leteckém simulátoru B737 MAX. V rámci prvotního výcviku by mělo dojít k simulovanému přiletu na cílové letiště pomocí plně publikovaných postupů STAR s aktivním módem LNAV a rovněž s radarovým vektorováním s pokračováním až do plného přistání za standardního počasí, zhoršené viditelnosti a případně zhoršených povětrnostních podmínek. Součástí by měla být rovněž simulace selhání spojení se stanicí GBAS nebo pokles výkonnosti v různých fázích přiblížení a rovněž postupy v případě nezdařeného přiblížení. Výkon posádky by měl být zhodnocen leteckým examínátorem, případně alespoň instruktorem, který již školení na GLS s examínátorem vykonal. Obnovovací školení by mělo následovat po periodickém teoretickém školení a obsahovat především nestandardní a nouzové situace.

Na základě kapitoly 7.16.3 v AC 120-29A týkající se speciálního výcviku pro RNP jsem sestavil seznam úkonů, které by měl každý pilot absolvující výcvik GLS schopni vykonávat:

- Mít povědomí o tom, které informace ve zprávách NOTAM jsou relevantní pro GBAS přiblížení a umět tyto skutečnosti aplikovat.
- Vědět, kde najít potřebné letištní mapy, jak v nich najít nezbytné informace týkající se GLS. Tyto informace musí být schopný zadat do palubního systému a zkontrolovat jejich validitu. V případě diskontinuit musí vědět, jak postupy opravit tak, aby nedošlo k jejich narušení. Je nezbytné, aby věděl, které údaje (výšky, FIXy, apod.) mohou, a které naopak nesmí být upravovány.
- Letět dle daných postupů, vědět, jak korigovat odchylky od indikované trasy.

- Být schopen v rámci GLS přiblížení plnit běžné dílčí úkoly jako ladění frekvencí, výškoměrů, bugů, upravování parametrů na MCP apod.
- Dle využití metody navigace před samotným přiblížením umět zkontrolovat, že data o poloze jsou relevantní. (Například porovnání syrových dat s těmi indikovanými)
- Připravit letadlo na jednotlivé fáze přiblížení a přistání ve správný čas, v souladu s postupy a povolení od řízení letového provozu a umět reagovat na veškeré upozornění a indikace libovolných palubních systémů.

5.2. Postupy

5.2.1. Předletová příprava a provozní specifika

Jak již bylo zmíněno, u GLS přiblížení lze postupovat velmi podobně jako u ILS, nicméně využití GNSS má svá specifika. Protože GLS jako takové není legislativně tak podrobně zpracováno jako RNP, v rámci postupů předletové přípravy lze rovněž čerpat z dokumentu PBN Manual, případně rovnou z provozního manuálu společnosti Smartwings^[37], který jsem získal k nahlédnutí a částečně lze také vycházet z AC 20-138B, které se zabývá limitacemi systémů založených na GNSS. Bez ohledu na typ přiblížení by posádka před letem měla obdržet informace o plánované trati letu, seznámit se s cílovým letištěm a vhodnými alternativami. Velmi důležité je zkontrolovat si počasí po trase i v cílové destinaci a podle toho prohlédnout jednotlivé možné postupy pro přiblížení. Kromě samotných postupů je také vhodné nastudovat zprávy NOTAM a to pro cílová a záložní letiště i pro celé FIRy. U přiblížení založených na příjmu GNSS signálu je pak nezbytné brát velký zřetel na informace ohledně integrity GNSS signálu (RAIM Prediction) a dostupnosti GLS, která se v čase pro jednotlivá přiblížení i uživatele mění. Byť v rámci GLS přiblížení dochází k augmentaci pomocí GBAS stanice, je pravděpodobné, že v případě, že nebudou satelity dostupné pro RAIM, tak ani augmentace pomocí GBAS nebude mít požadovanou výkonnost. Pro jednotlivé typy přiblížení je nutné projít MEL a posoudit, zda je letoun technicky způsobilý k tomu, aby dané přiblížení mohl letět. V neposlední řadě je vhodné zkontrolovat, že navigační databáze obsahuje poslední AIRAC.

5.2.2. Approach briefing

V rámci postupů pro sestup (Descent Procedure) musí být proveden brífink pro přiblížení. Ten musí obsahovat informace o počasí a NOTAM zprávách na cílovém a záložním letišti. Posádka musí projít mapu přiblížení, kterého bude pro přistání využito. Je nezbytné, aby se dbalo na všechna výšková a rychlostní omezení a prodiskutoval se plán pro vysazení motoru, případně nedostupnosti GBAS stanice. Pro každé přiblížení je stanovena výška rozhodnutí DA, která musí být nastavena jako BARO minima. Pokud je nastaveno správně, na PFD se objeví indikace, o jaký typ minim se jedná a navolená hodnota. V přiblížovací mapce je rovněž kanál stanice GBAS, jehož hodnotu je nutné naladit na MMR. Zároveň musí v FMC dojít k volbě správného přiblížení. Celý název přiblížení

musí být naprosto shodný s názvem v přibližovací mapě a na stránce APP v FMC musí být zobrazen správný kanál a identifikátor GBAS přiblížení. Zároveň posádka musí manuálně projít jednotlivé úseky přiblížení tak, jak se do FMC na stránku LEGS nahrály a porovnat jejich správnost s publikovanými postupy. Může dojít k úpravě rychlosti a výšky, nicméně nesmí dojít k překročení publikovaných hodnot. Jiné úpravy (vkládání nebo mazání bodů) nejsou povoleny. V případě správného nastavení se na PFD zobrazí informace o tom, že je zvoleno GLS, na kterou RWY, identifikátor přiblížení, kurz pro přiblížení a vzdálenost od prahu dráhy. Na MCP musí dojít k nastavení správného kurzu na přiblížení, který je rovněž dostupný z mapy i FMC. Na stropním panelu dojde k navolení přistávací výšky, která odpovídá nadmořské výšce cílového letiště.

Explicitně musí být zmíněno, jaké jsou postupy pro nezdařené přiblížení, kde je stanoven bod nezdařeného přiblížení a jaká je výška, do které se bude případně stoupat. Do MMR musí být na pozici standby nastaveny případné frekvence (např. VOR). Ještě před briefingem musí dojít k výpočtu výkonnosti na přistání zahrnující přistávací hmotnost, vliv větru a konfiguraci vztlakových klapek. Na základě tohoto výpočtu a použitelné délky pro přistání je stanovena úroveň brzdného účinku (autobrake) a nastavena na příslušném voliči. VREF musí být zadáno do FMC na stránku APPROACH REF.

Na závěr dojde k vykonání checklistu pro sestup. Postupy pro přiblížení (Approach procedure) jsou totožné s ostatními typy CAT I přiblížení.

5.2.3. Landing Procedure – GLS CAT I

Postupy pro přistání pomocí GLS GAST-C se v zásadě moc neliší od postupů pro přiblížení pomocí ILS CAT I, v rámci jejich tvorby jsem vycházel z již existujících a používaných postupů společnosti Smartwings pro tento typ přiblížení a doplnil nebo upravil potřebné úkony v souladu s příručkou FCOM B737 MAX. Jednotlivé úkony jsou rozděleny mezi pilota letícího (PF – Pilot Flying) a pilota monitorujícího (PM – Pilot Monitoring). Z důvodu, aby postupy mohly být využity v reálném provozu u společnosti Smartwings jsou vytvořené v anglickém jazyce, jejich obsah je nicméně popsán v následujících odstavcích. Samotné postupy pro přistání pomocí GLS CAT I jsou obsahem Přílohy 1.

Nejprve musí být zajištěno, že se letoun dostane do požadované pozice k zachycení glideslope a localiseru (používá se stejná terminologie jako u ILS), a to buď pomocí HDG SEL a Pitch módu v případě radarového vektorování nebo pomocí LNAV a VNAV v případě, že se letí plně publikovaná trasa k fixu. V případě radarového vektorování PF zahlásí kurz, ve kterém dojde k zachycení sestupové roviny a PM toto nastaví na MCP a kurz potvrdí. Pokud se letí podle publikovaných postupů, tento krok se vynechává.

V okamžiku, kdy je letoun na kurzu, ve kterém bude zachytávat G/S a LOC a má povolení od řízení letového provozu, posádka zkontroluje, že je nastaven správný kanál GBAS, a že je systémem rozpoznán. Poté se aktivuje APP mód stisknutím příslušného tlačítka na MCP a zkontroluje se na FMA (Flight Mode Annunciator), že je mód aktivní. V případě pozitivní indikace toto PF zahlašuje a PM po vlastní kontrole potvrzuje.

V okamžiku prvního pohybu localiseru PM hlásí jeho pohnutí a PF potvrzuje. V okamžiku, kdy se zeleně rozsvítí VOR LOC dojde k nastavení finálního kurzu ve směru dráhy na MCP pro případ nezdařeného přiblížení a jeho zahlášení, PM provede kontrolu a potvrzení. V okamžiku prvního pohybu na ose G/S opět PM hlásí pohnutí a PF potvrzuje. PF si vyžádá vysunutí podvozku a vztlakových klapek na hodnotu 15 a na MCP nastavuje rychlostní bug na rychlost pro klapky 15, případně na dohodnutou rychlost během brífinku. PM kontroluje, jestli je daná rychlost v souladu s rychlostními omezeními pro konfiguraci vztlakových klapek, pokud ano, zatáhne za páku podvozku a otevře klapky do požadované polohy. Potvrzení, že došlo k jejich vysunutí sleduje na dedikované indikaci. Poté zahlásí, že podvozek je vysunut a klapky v poloze 15 a nastaví přepínač startu motoru do polohy CONT. PF nastaví pákou aerodynamické brzdy do polohy ARMED a zkontroluje, že patřičné zelené světlo se rozsvítilo. Pokud budou k přistání využity klapky 40, pak je nutné v poloze jedné tečky pod G/S obdobným způsobem vysunout klapky do polohy 25. Při přistání s klapkami v poloze 30 může být tento krok vynechán.

V okamžiku, kdy dojde k zachycení G/S, PF tuto skutečnost ohlásí a nastaví na MCP výšku, do které se bude stoupat v případě nezdařeného přiblížení. Tato výška vychází z mapy daného přiblížení a je diskutována v rámci approach brífinku. PM výšku kontroluje a potvrzuje. Poté může dojít k vysunutí klapek do polohy 30, případně 40. Na MCP dojde k navolení rychlosti pro přistání + přírážky dle síly a směru větru, pokud se aplikují. Konkrétní rychlost vychází z brífinku. Správné nastavení kontroluje PM a potvrzuje. Po úspěšném vysunutí klapek musí být proveden checklist pro přistání, PM jej předčítá a PF kontroluje a odpovídá.

Na úrovni FAF dojde PM k zahlášení publikované výšky a kontrole s výškou skutečnou pomocí výškoměru, PF potvrzuje. Po jeho minutí, ale před dosažením výšky 1000 stop nad letišťem, obvykle okolo 3 minut před přistáním dojde k signalizaci posádce, že mají zaujmout pozice k přistání. Ve výšce 1000 stop nad letišťem dojde ke kontrole výšky a zahlášení PM, PF potvrzuje. Ve výšce 500 stop nad letišťem PM oznamuje, zda je letoun stabilizován, pokud ano, pokračuje se po zahlášení v angličtině: „500 stop, stabilizováno“, pokud ne, ohlašuje se: „nestabilizováno, nezdařené přiblížení“ a jestli bylo uděleno povolení k přistání. Ve výšce 100 stop nad výškou rozhodnutí PM ohlásí, blížíci

se minima, PF kontroluje a potvrzuje. Ve výšce rozhodnutí PM ohlašuje, že bylo dosaženo minima a PF rozhoduje, jestli se bude pokračovat zahlášením přistání nebo nezdařeného přiblížení.

5.2.4. Nestandardní situace

Nestandardní situace vznikají v důsledku mnoha různých faktorů a pro většinu z nich již postupy existují. Přesto bych se tímto tématem chtěl krátce zabývat, protože je dobré si uvědomit, že GLS s sebou z provozního pohledu nese podobná rizika jako ostatní druhy přesných přiblížení a posádka na ně musí umět reagovat.

Nejčastější situací je opakování přiblížení. Jedná se o běžný úkon k zajištění bezpečnosti, pokud je to nezbytné, ale často se také pojí se situacemi, které již v daném čase nemají jiné řešení. Dle FCTM B737 MAX je nezbytné opakovat přiblížení obecně, když není možné udržovat vizuální referenci s přistávací drahou v případě, že dojde k závadě na navigačním rádiu nebo leteckém přístroji, jehož závada výrazně ovlivňuje bezpečnost letu. Další možností je, pokud existují velké odchylky mezi různými navigačními přístroji a není možné určit, která z referencí je správná. Konkrétně GLS se pak týká bod, který udává povinnost opakovat přiblížení v případě, že v koncové části dojde k maximální výchylce indikace polohy vůči G/S nebo LOC. Z toho ovšem vyplývá, že chyba systému GLS při přiblížení nezbytně nevede na zahájení postupů nezdařeného přiblížení, pokud je možné pokračovat s vizuální referencí jako nepřesné přiblížení. Toto se rovněž píše v ICAO PANS-OPS. V FCTM je potom zmíněna další situace, kdy není nezbytné GLS přiblížení přerušit, i přes zjevnou závadu, a to pokud je G/S mód autopilota nefunkční. V přistání se dá pokračovat a jeho funkci nahradit pomocí V/S.

Chybami způsobenými ztrátou signálu se zabývá dokument AC 20-138B. Požadavky na certifikaci GLS systému jsou zde vytyčeny tak, aby v případě ztráty indikace a vedení nedošlo k výrazným výchylkám a oscilacím a aby projevy ztráty vedení byly minimální, ne horší než u ILS. Rovněž systém GLS musí disponovat prostředky ke zjištění a indikaci chybných poskytovaných dat ekvivalentními k ILS.

V případě, že před dosažením FAF dojde k poklesu výkonnosti GLS a pokud to podmínky umožňují, je možné přejít na RNP do LNAV/VNAV minima. Pokud tato situace nastane po překročení FAF, není možné spadnout do žádné jiné kategorie přístrojového přiblížení a je nutné zahájit postupy pro nezdařené přiblížení.

Další situací, kdy je přistání nutné opakovat je pokud ani po dosažení výšky rozhodnutí není možné navázat vizuální kontakt s VPD nebo pokud letoun není ve stabilizovaném režimu. U GLS se za stabilizovaný režim považují standardně výchylky na indikaci o jedno kolečko oproti G/S a LOC.

Místo, odkud se postup nezdařeného přiblížení zahajuje se nazývá MAP (Missed Approach Point). U GLS se standardně jedná právě o výšku rozhodnutí, která je sledována na barometrickém výškoměru.

Obecně ovšem lze říci, že nestandardní postupy pro GLS jsou víceméně totožné s těmi u ILS. Nejen, že stejně tak jako u ILS lze letět GLS se zachycením G/S shora nebo že je možné provést přiblížení a případné nezdařené přiblížení pouze s jedním funkčním motorem, ale GLS je, stejně tak jako ILS, doporučovaným postupem pro přistání v případě mechanických poruch, konkrétně například disfunkce vztakových klapek, nespolehlivé indikace rychlosti, poškození čelního okna apod. Konkrétní postupy jsou pak rozepsány v FCTM a FCOM B737 MAX.

6. Závěr

Byť s letectvím velmi zacloumala pandemie COVID-19, dlouhodobě lze pozorovat výrazně rostoucí trend objemu dopravy. Proti tomu jdou zvyšující se náklady, především ceny paliva a náhradních dílů. Z toho důvodu je dbán daleko větší důraz na efektivní využití vzdušného prostoru, a to nejen během traťového letu, ale především v počátečních a koncových fázích letů, kde vznikají úzká hrdla daná omezenou kapacitou letišť. Částečně se tento problém řeší přechodem od hubového létání ke konceptu point-to-point, kdy se letecké společnosti snaží namísto udržování velké kapacity na páteřních trasách obsluhovat více vytížených přímých linek na lokální letiště za pomoci moderních, menších a úspornějších letounů, nicméně ani toto není z dlouhodobého hlediska dostačující.

Odpovědí na efektivnější využití vzdušného prostoru mohou být postupy založené na principu GNSS, které jsou dostupné téměř po celém světě a jejichž výkonnost z pohledu všech kritérií jde nadále vylepšovat pomocí augmentačních systémů. Zásadní roli hraje PBN, díky které došlo k rozšíření navigace pomocí GNSS, a která umožňuje velmi bezproblémový přechod k přiblížením RNP APCH a rovněž GLS. Přímější a přesnější napojení od traťové fáze letu k přiblížení, zavedení postupů na letiště, která jinak kvůli geografickým poměrům komerční lety odbavovat nemohla, flexibilnější trasování a to jsou jen některé z výhod, které v rámci své práce zmiňuji, a které umožňují dosáhnout časových, finančních a ekologických úspor.

Flotila společnosti Smartwings čítá mimo jiné 26 Boeingů 737-800 a 7 Boeingů 737 MAX 8, přičemž celkově jich bylo objednáno 32 a lze očekávat, že stroje budou postupně dodávány. Všechny letouny řady MAX a B737-800 vybavené přístroji MMR jsou technicky schopné GLS přiblížení. Velkou část letů Smartwings tvoří charterové lety a rovněž propůjčování letounů mimo hlavní letní sezónu včetně posádky formou wet lease, a to především do destinací v Asii, Severní Americe nebo na Blízkém východě. Zvyšování versatility zvyšuje konkurenceschopnost v rámci nabídek těchto letů a umožňuje společnosti Smartwings zvyšovat počet destinací, které mohou jejich letouny a posádky obsluhovat a s předpokládaným budoucím rostoucím počtem GBAS stanic bude tento efekt ještě zesilovat.

Podmínkou je, aby se pracovní skupiny ICAO, EUROCONTROL a jiných organizací začaly GLS opět zabývat po několikaleté odmlce způsobené pandemií. Většina aktuálně dostupných materiálů je již zastaralých, jelikož vznikaly přibližně mezi lety 2010 až 2015 s posledními aktualizacemi v roce 2019, spíše i dříve a veškeré implementační plány končí v období okolo roku 2022, přičemž tyto termíny technicky nemohou být naplněny. Tyto skutečnosti považuji rovněž za největší výzvu v rámci tvorby mé bakalářské práce, jelikož z důvodu neaktuálnosti nebylo možné vycházet pouze z dostupných dokumentů, ale bylo nezbytné nezveřejněné informace získávat přímo od zástupců jednotlivých zainteresovaných organizací. I přes toto praktické upozadění implementace GLS do

provozu jsem přesvědčen, že GLS je do budoucna stále vhodnou alternativou k ILS, a to především po dosažení certifikace GAST-D, což rovněž potvrzuje vyjádření oslovených odborníků z ŘLP ČR a EUROCONTROL.

Vedlejším cílem této práce bylo zjistit aktuální stav implementace GBAS, zasazení tohoto typu přiblížení do kontextu aktuálně využívaných alternativ a tím hlavním pak navrhnout konkrétní postupy pro využití ve společnosti Smartwings. Tyto úkoly se mi podařilo naplnit i přes omezenou dostupnost a neaktuálnost velké části zdrojů a výstup je v souladu s legislativními dokumenty, provozní příručkou Boeingu 737 MAX a rovněž již existujícími standardními provozními postupy společnosti Smartwings, do kterých by měl být implementován. Teoretická část práce může být navíc využita jako výukový materiál z velké části pokrývající osnovu pozemního školení.

Sestavené postupy doporučuji ověřit na letovém simulátoru B737 MAX a posoudit jejich efektivitu a proveditelnost. Je možné do nich vnést drobné úpravy, ovšem vždy v souladu s provozní příručkou FCOM a platnou legislativou.

7. Literatura a použité zdroje

[1] *Performance Based Navigation* [online]. Version 1.2. Gloucester: Padpilot, 2018 [cit. 2021-10-19]. ISBN 978-1-909600-58-4. Dostupné z: iBooks

[2] *Guide for Ground Based Augmentation System Implementation* [online]. Montreal: ICAO, 2013. Dostupné z: <https://www.icao.int/SAM/eDocuments/GBASGuide.pdf>

[3] MACHUTA, Jakub. *Přiblížení SBAS, jeho avionika a porovnání s ostatními systémy* [online]. Praha, 2016. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta Dopravní. Vedoucí práce Jakub Kraus. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/65734/F6-BP-2016-Machuta-Jakub-priblizeni_sbas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[4] *GPS: The Global Positioning System* [online]. Washington, D.C.: National Executive Committee for Space-Based Positioning, 2019. Dostupné z: <https://www.gps.gov/support/user/rollover/>

[5] *Annex 10: Aeronautical Telecommunications*. Volume i – Radio Navigation Aids. Seventh Edition. Montreal: ICAO, July 2018. ISBN 978-92-9258-504-4.

[6] *What is GNSS?* [online]. Praha: EUSPA, 2021. Dostupné z: <https://www.euspa.europa.eu/european-space/eu-space-programme/what-gnss>

[7] SVOBODA, Aleš. *Zavádění systémů přesného přístrojového přiblížení na bázi GPS* [online]. Pardubice, 2010. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Vedoucí práce Rudolf Kampf. Dostupné z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/37096/SvobodaA_ZavadeniSystemu_RK_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[8] *What is EGNOS?* [online]. Praha: EUSPA, 2021. Dostupné z: <https://www.euspa.europa.eu/european-space/egnos/what-egnos>

[9] Nařízení komise (EU) 2016/539 ze dne 6. dubna 2016, kterým se mění nařízení EK č. 1178/2011, pokud jde o výcvik, zkoušky a pravidelné přezkušování pilotů týkající se navigace založené na výkonnosti [online]. In. *Úřední věstník*. L91/1, 6.4.2016. [cit. 2021-10-19]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32016R0539>

- [10] *Aeronautical Information Manual: Official Guide to Basic Flight Information and ATC Procedures* [online]. Washington, D.C: Federal Aviation Administration, 2021. Dostupné z: https://www.faa.gov/air_traffic/publications/atpubs/aim_html/chap5_section_4.html
- [11] *Getting to grips with PBN: Performance-Based Navigation*. Blagnac Cedex: Airbus S.A.S., 2016. [cit. 2022-01-30].
- [12] *Doc 9613: Performance-based Navigation (PBN) Manual*. Fourth Edition. Montreal: ICAO, 2013. [cit. 2022-02-08]. ISBN 978-92-9249-175-8.
- [13] *Doc 8168: Procedures for Air Navigation Services – Aircraft Operations*. Volume I: Flight Procedures. Sixth Edition. Montreal: ICAO, 2018. ISBN 978-92-9258-670-6
- [14] *Annex 6: Operation of Aircraft. Part I: International Commercial Air Transport – Aeroplanes*. Tenth Edition. Montreal: ICAO, November 2016. 978-92-9249-971-6.
- [15] MALÍK, Jakub. *Přiblížení na přistání RNP AR a jeho implementace do letového provozu a výcviku pilotů*. Praha, 2021. [cit. 2022-02-14]. Bakalářská práce. Vysoká škola obchodní v Praze, o.p.s. Vedoucí práce Vladislav Pružina.
- [16] SOLDÁN, Vladimír. *Letové postupy a provoz letadel*. Praha: Letecká informační služba ŘLP ČR, 2014. ISBN 978-80-239-8595-5.
- [17] *Doc 9365. Manual of All-Weather Operations*. Fourth Edition. Montreal: ICAO, 2017. ISBN 978-92-9258-235-7.
- [18] Easy Access Rules for Air Operations (Regulation (EU) No 965/2012) [online]. EASA, May 2022. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/downloads/20342/en>
- [19] *Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for All-weather Operations (CS-AWO)* [online]. Issue 2. EASA, 2022. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/downloads/136305/en>
- [20] AC 120-29A. Criteria for Approval of Category I and Category II Weather Minima for Approach [online]. Washington, D.C: Federal Aviation Administration, 2002. Dostupné z: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC120-29A.pdf

[21] 737 MAX Dispatch Deviations Guide (DDG) for EASA 737 MAX MMEL. Revision number: 2. Seattle: The Boeing Company, 2020.

[22] *Minimum Equipment List | B737 MAX*. 9th revision. Prague: Smartwings a.s., 2022.

[23] *Satellite Navigation: GBAS – How It Works* [online]. Washington, D.C: Federal Aviation Administration. Dostupné z:

https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/laas/howitworks

[24] ACKLAND, John, Tom IMRICH a Tim MURPHY. *Global Navigation Satellite System Landing System*. AERO [online]. Boeing Commercial Airplanes, 2003, (21), 4-11. Dostupné z:

https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_21/gnss.pdf

[25] AC 20-128B. *Airworthiness Approval of Positioning and Navigation Systems*. [online].

Washington, D.C: Federal Aviation Administration, 2010. Dostupné z:

https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC%2020-138B.pdf

[26] AVTIN, Igor Victorovich, Vladimir Ivanovich BABUROV, Boris Victorovich PONOMARENKO a Yuri Grigorievich SHATRAKOV. *Principles of Integrated Airborne Avionics*. Moscow, 2021. ISBN 978-981-16-0897-1.

[27] *GBAS FOR ATCO* [online]. Montreal: ICAO, 2017. Dostupné z:

<https://www.icao.int/APAC/APAC-RSO/PBN%20Workshop%20for%20Air%20Traffic%20Controllers/GBAS%20for%20ATCOv2.pdf>

[28] PETERSON, Bill. *Boeing GBAS and SBAS Overview*. Boeing Commercial Airplanes, 2019.

Dostupné z: [https://www.icao.int/APAC/APAC-](https://www.icao.int/APAC/APAC-RSO/GBASSBAS%20Implementation%20Workshop/1-11_Boeing%20GBAS%20SBAS%20Overview_final%20(W%20Petersen).pdf)

[RSO/GBASSBAS%20Implementation%20Workshop/1-](https://www.icao.int/APAC/APAC-RSO/GBASSBAS%20Implementation%20Workshop/1-11_Boeing%20GBAS%20SBAS%20Overview_final%20(W%20Petersen).pdf)

[11_Boeing%20GBAS%20SBAS%20Overview_final%20\(W%20Petersen\).pdf](https://www.icao.int/APAC/APAC-RSO/GBASSBAS%20Implementation%20Workshop/1-11_Boeing%20GBAS%20SBAS%20Overview_final%20(W%20Petersen).pdf)

[29] LADOUX, Pierre, Benoit ROTURIER. *GBAS implementation status: international context and situation in France* [online]. ICAO, 2017. Dostupné z:

[https://www.icao.int/MID/Documents/2017/ACAC-](https://www.icao.int/MID/Documents/2017/ACAC-ICAO%20GNSS%20Workshop/GBAS%20status%20ACAC.pdf)

[ICAO%20GNSS%20Workshop/GBAS%20status%20ACAC.pdf](https://www.icao.int/MID/Documents/2017/ACAC-ICAO%20GNSS%20Workshop/GBAS%20status%20ACAC.pdf)

[30] *EUROPEAN ATM MASTER PLAN: Progress report 2021* [online]. EUROCONTROL, 2021. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2021-10/eurocontrol-impl3-implementation-report-2021.pdf>

[31] *PBN Map: Deployment monitoring* [online]. EUROCONTROL, 2022. Dostupné z: https://ext.eurocontrol.int/airport_map_tool/

[32] LIPP, Andreas. *GBAS Implementation* [elektronická pošta]. Message to: Marek Musil. 28. dubna 2022 14:59 [cit. 2022-30-04].

[33] *GBAS Sites* [online]. EUROCONTROL International GBAS Working Group. Dostupné z: <http://www.flygls.net>

[34] DUKA, Tomáš. *GLS přiblížení* [elektronická pošta]. Message to: Marek Musil. 12. července 2022 13:20 [cit. 2022-12-07].

[35] *737 MAX Flight Crew Training Manual*. Document Number: FCT 737 MAX (TM). Revision Number: 7. Seattle: The Boeing Company, 2021.

[36] *737-8 Flight Crew Operations Manual*. Document Number: D6-27370-MAX-TSF. Revision Number: 7. Seattle: The Boeing Company, 2021.

[37] *Operations Manual Part B | Aircraft Operating Matter (B737)*. 0th revision. Smartwings, a.s.: 2022.

8. Seznam obrázků

OBRÁZEK 1: PRINCIP METODY TRILATERACE	13
OBRÁZEK 2: PRINCIP METODY TRILATERACE	14
OBRÁZEK 3: SATELITNÍ AUGMENTAČNÍ SYSTÉMY	18
OBRÁZEK 4: FLY-BY VS. FLY-OVER WAYPOINT	20
OBRÁZEK 5: NAVIGAČNÍ SPECIFIKACE	22
OBRÁZEK 6: MAPA PŘIBLÍŽENÍ PODLE PŘÍSTROJŮ RNP RWY 24 LKPR	23
OBRÁZEK 7: MAPA PŘIBLÍŽENÍ PODLE PŘÍSTROJŮ RNP AR RWY 33 LOWS	24
OBRÁZEK 8: ÚSEKY IFR PŘIBLÍŽENÍ	28
OBRÁZEK 9: ARCHITEKTURA SYSTÉMU GBAS	30
OBRÁZEK 10: SCHÉMA SYSTÉMU MMR	32
OBRÁZEK 11: SCHÉMA INTEGRACE GLS DO MMR	33
OBRÁZEK 12: VÝBĚR GLS PŘIBLÍŽENÍ NA CDU	35
OBRÁZEK 13: PFD A ND PŘI GLS	36
OBRÁZEK 14: MMR V BOEINGU 737	36
OBRÁZEK 15: ÚROVEŇ IMPLEMENTACE RNP APCH DO LPV MINIM	42

9. Seznam příloh

Příloha 1: GLS CAT I Approach Procedures