



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

TRENDY MODERNIZACE TECHNOLOGIÍ PRO ŘÍZENÍ LETŮ V OKOLÍ CIVILNÍCH LETIŠŤ

TRENDS OF MODERNIZATION OF THE TECHNOLOGIES INTENDED FOR FLIGHT CONTROL IN VICINITY
OF AN AERODROME

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Marián Bulák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav: Letecký ústav
Student: **Bc. Marián Buřák**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Letecký provoz
Vedoucí práce: **doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc.**
Akademický rok: 2018/19

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

Trendy modernizace technologií pro řízení letů v okolí civilních letišť

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Dosavadní technologie, užívané civilním letectvím pro řízení přiblížování letadel na přistání a odletů trpí některými nedostatky (nízká přesnost, lokální a sektorové pracovní oblasti aj.). Trendem ICAO je využití diferenčních metod, aplikovaných na GNSS, především na GPS. Práce bude zaměřena na bližší analýzu předností a nevýhod DGNS.

Cíle diplomové práce:

Cílem DP je vytvořit kvalifikovaný rozbor funkcí používaných a perspektivních systémů řízení přistání letadel a možností i způsobů jejich aplikací jako učební pomůcku pro samostudium pilotů a studentů specializace Letecký provoz. Pozornost věnovat zvláště těmto aspektům:

Zhodnotit možnosti a perspektivy dosud používaných metod a technologií řízení letadel při přiblížování na přistání.

Zhodnotit možnosti a perspektivy aplikací letištních aplikací DGNS, zvláště DGPS.

Typické způsoby použití systému řízení přiblížování letadla na přistání podle DGPS.

Příklad možnosti využití DGPS na letišti s několika RWY (např. na letišti Praha - Ruzyně).

Seznam doporučené literatury:

GROVES, P.D.: GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems, ARTECH House, Boston/London, 2008, ISBN-13: 978-1-58053-255-6.

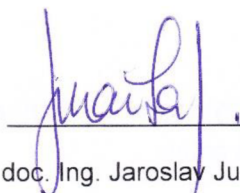
KAYTON, M., FRIED, W.R.: Avionics Navigation Systems, second edition, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1997, ISBN 0-471-54795-6.

KULČÁK, L. a kolektiv: Učebnice pilota vrtulníku, část II, PPL(H), CERM Brno, 2010, ISBN 978-80-7204-638-6.

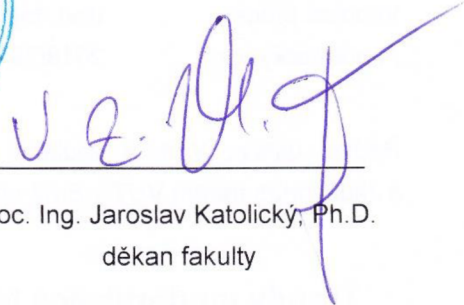
Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19.

V Brně, dne 25. 10. 2018





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



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práca sa zaoberá technológiami riadenia lietadiel v priebehu priblíženia a pristátia. Hlavný dôraz je kladený predovšetkým na perspektívne systémy priblíženia, vrátane systémov využívajúcich diferenčné technológie. Práca má ďalej slúžiť ako študijná pomôcka pre pilotov a študentov špecializácie Letecký provoz. Hlavným cieľom práce je vytvorenie kvalifikovaného celku perspektívnych a využívaných približovacích systémov. Jednotlivé systémy zahŕňajú základné charakteristiky a zhodnotenie možnosti ich využitia do budúcnosti. V práci je zahrnutá aj analýza možnosti implementácie systému DGNSS u letiska s viacerými dráhami, pričom k tomuto účelu bolo vybrané letisko Praha-Ruzyně. Implementácia tohto systému je porovnaná i s ďalšími systémami presného priblíženia.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

DGNSS, GBAS, SBAS, LPV, PBN, RNP APCH, LKPR, pristávacie systémy, priblíženie

ABSTRACT

This master's thesis deals with technologies intended for flight control during approach and landing. The main focus is on perspective approach systems, including differential technology systems. The thesis is to serve as a study aid for pilots and students of Air Traffic study programme. The main aim of this thesis is to create a qualified whole of perspective and used approach systems. Individual systems include basic characteristics and assessment of their future use. The thesis also includes an analysis of the possibility of implementing the DGNSS system at the airport with multiple runways. Prague-Ruzyně airport was chosen for this purpose. The implementation of this system is compared to other precision approach systems.

KEY WORDS

DGNSS, GBAS, SBAS, LPV, PBN, RNP APCH, LKPR, landing systems, approach

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

BULÁK, Marián. *Trendy modernizace technologií pro řízení letů v okolí civilních letišť*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2019. 104 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som diplomovú prácu na tému *Trendy modernizace technologií pro řízení letů v okolí civilních letišť* vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, ktoré sú uvedených v zozname použitých zdrojov.

V Brne dňa 23.5.2019

Marián Bulák

POĎAKOVANIE

Veľmi rád by som sa týmto spôsobom poďakoval vedúcemu mojej diplomovej práce pánovi doc. Ing. Slavomíru Voseckému, CSc., za cenné rady a pripomienky, no predovšetkým za ochotu a čas venovaný mne a mojej práci. Ďalej by som sa chcel poďakovať pánovi Ing. Michalovi Švecovi, ktorý mi v priebehu práce venoval veľké množstvo času, užitočných rád a poznatkov. V neposlednom rade by som sa chcel poďakovať mojim rodičom, ktorí ma podporovali v priebehu celého štúdia.

OBSAH

ÚVOD	11
1 NAVIGAČNÁ STRATÉGIA.....	13
2 NAVIGÁCIA ZALOŽENÁ NA VÝKONNOSTI.....	15
2.1 RNAV	15
2.1.1 B-RNAV	16
2.1.2 P-RNAV	16
2.2 RNP.....	17
2.3 PBN.....	18
2.3.1 Priblíženie založené na výkonnosti	20
2.3.2 Špecifické funkcie	22
2.3.3 Implementácia postupov PBN	23
3 PRIBLÍŽENIE NA PRISTÁTIE.....	27
3.1 Vizuálne priblíženie	30
3.2 Priblíženie okruhom.....	30
3.3 Úseky priblíženia	31
4 NEPRESNÉ PRIBLÍŽENIE.....	35
4.1 Priblíženie VOR/DME.....	35
4.1.1 VOR.....	36
4.1.2 DME	38
4.2 Priblíženie NDB.....	40
4.3 Priblíženie ILS bez GP	40
4.4 Priblíženie SRA	41
5 PRIBLÍŽENIE S VERTIKÁLNYM VEDENÍM	43
5.1 APV/Baro.....	43
5.2 APV/SBAS	45
6 PRESNÉ PRIBLÍŽENIE	47
6.1 ILS	47
6.2 MLS	51
6.3 PAR.....	54
7 GBAS LANDING SYSTEM.....	57
7.1 Augmentačné systémy	58
7.1.1 ABAS	58
7.1.2 SBAS	59
7.1.3 GBAS	61
7.2 DGNSS	62

7.3	Zloženie systému GBAS	64
7.3.1	Pozemný podsystem.....	64
7.3.2	Lietadlový podsystem	65
7.3.3	Satelitný podsystem	65
7.4	Navigačná informácia.....	65
7.5	Výkonnosť systému GBAS	66
7.6	Základné technické špecifikácie.....	67
7.7	Výhody systému GBAS	68
7.8	Prekážky v rozvoji GNSS priblížení	70
7.8.1	Vplyv ionosféry.....	70
7.8.2	Interferencia	71
7.8.3	Zabezpečenie signálu GNSS.....	71
7.8.4	Zložitosť hodnotenia bezpečnosti	72
7.9	Súčasný využitie	72
7.10	Problém certifikácie systému GBAS pre CAT II/III	73
8	IMPLEMENTÁCIA SYSTÉMU GBAS NA LETISKU LKPR	77
8.1	Úvod	77
8.2	Analýza súčasného stavu.....	78
8.3	Analýza meteorologických podmienok.....	79
8.4	Postup implementácie.....	80
8.5	Umiestnenie antén	80
8.5.1	Antény referenčných staníc.....	80
8.5.2	VHF anténa	81
8.6	Porovnanie implementácie jednotlivých systémov	81
8.6.1	Variant I	81
8.6.2	Variant II.....	83
8.6.3	Variant III.....	83
8.6.4	Variant IV	84
8.7	Zhodnotenie systému GBAS pre letisko LKPR.....	85
	ZÁVER.....	87
	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV.....	88
	ZOZNAM SKRATIEK A SYMBOLOV	93
	ZOZNAM OBRÁZKOV	101
	ZOZNAM TABULIEK.....	103
	ZOZNAM PRÍLOH.....	104

ÚVOD

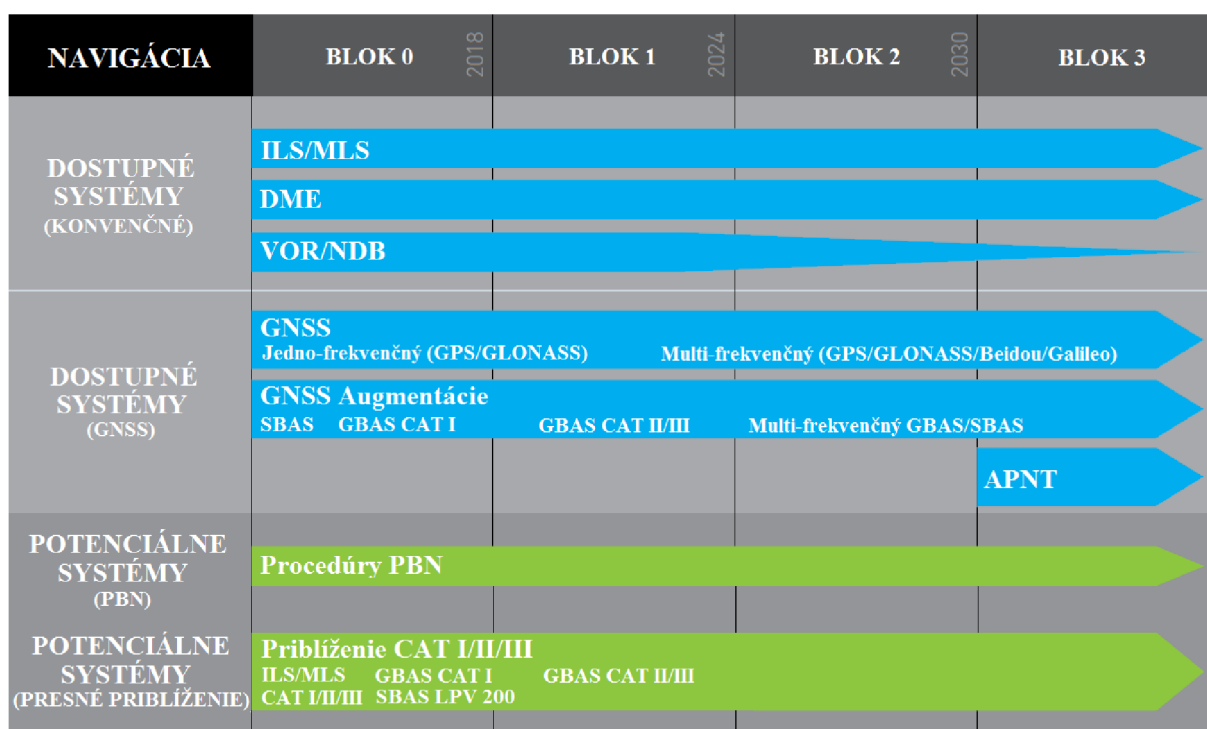
S neustálým nárastom leteckej dopravy prichádzajú aj viaceré problémy. Jeden z hlavných problémov predstavuje zaistenie bezpečnosti. Zaistiť adekvátnu úroveň bezpečnosti je dôležité predovšetkým v priebehu priblíženia na pristátie a v priebehu pristátia ako takého. Lietadlo sa postupne približuje k zemskému povrchu a akákoľvek chyba zo strany pilota alebo technického systému môže mať katastrofálne následky. Nezanedbateľný podiel na zaistení bezpečnosti v priebehu priblíženia majú približovacie systémy. V súčasnosti je stále najpoužívanejším systémom priblíženia presný približovací systém ILS, i napriek faktu, že sa tento systém používa už takmer osemdesiat rokov. Za túto dobu sa podstatnou mierou podieľal na zvýšení bezpečnosti, predovšetkým tak v priebehu podmienok za zníženej dohľadnosti. Avšak doposiaľ využívané technológie, vrátane systému ILS, trpia viacerými nedostatkami. Snahou ICAO je postupné prechádzanie od konvenčných systémov na systémy, ktoré pracujú na princípe družicových systémov GNSS. Ako sa postupne ukázalo, ani tieto systémy nedokážu zaistiť dostatočné výkonnostné požiadavky, predovšetkým v oblasti presnosti a integrity. Riešenie problému spočíva najmä vo využívaní diferenčných metód aplikovaných na systémoch GNSS, predovšetkým tak GPS.

Hlavným cieľom práce je vytvorenie kvalifikovaného rozboru používaných a perspektívnych systémov riadenia lietadiel na pristátie a vytvoriť tak študijnú pomôcku pre samoštúdium pilotov a študentov špecializácie Letecký provoz. Snahou autora je vytvorenie prehľadného celku najpoužívanejších systémov, preto okrem perspektívnych systémov práca obsahuje aj konvenčné systémy, ktoré sú už na postupnom ústupe.

Práca je rozdelená na tri základné časti. Prvá časť práce hneď v úvode zoznamuje čitateľa so stratégiou rozvoja približovacích systémov a približovacích procedúr PBN, ktoré nepochybne predstavujú budúcnosť v oblasti leteckej navigácie. Z tohto dôvodu je v úvode predstavený čitateľovi postupný vývoj navigácie až k samotnej koncepcii PBN a súčasne analyzovaný súčasný stav jej implementácie. Záverečná časť úvodnej časti práce je venovaná zoznámeniu čitateľa so samotným priblížením na pristátie a rozdelením jednotlivých priblížení. Druhá časť práce je venovaná bližšiemu zoznámeniu čitateľa s jednotlivými druhmi prístrojových priblížení. U jednotlivých systémov sú uvedené základné princípy a ich charakteristiky, pričom u každého z nich sú zhodnotené možnosti a perspektívy ich využitia v budúcnosti. Posledná časť práce sa skladá z bližšej charakteristiky presného približovacieho systému GLS a analýzy jeho možnosti implementácie na letisku s viacerými dráhami. Pre tento účel bolo zvolené letisko Praha-Ruzyně. Autor v tomto prípade berie v úvahu plánovanú paralelnú dráhu. V rámci tejto implementácie sú zhodnotené aj možnosti implementácie iných perspektívnych systémov presného priblíženia.

1 NAVIGAČNÁ STRATÉGIA

Hlavným cieľom tejto práce je vytvorenie prehľadného celku súčasných využívaných a perspektívnych systémov riadenia lietadiel v priebehu priblíženia na pristátie. Hneď v úvodnej časti je čitateľovi priblížený samotný trend v oblasti vývoja a implementácie týchto približovacích systémov. Podstatným spôsobom na trendoch rozvoja týchto technológií sa podieľa medzinárodná organizácia pre civilné letectvo ICAO (International Civil Aviation Organization). Táto organizácia pravidelne vydáva publikácie venované navigačnej stratégii v oblasti civilného letectva. Takýto navigačný plán bol naposledy predstavený v publikácii *Global Air Navigation Plan (Doc 9750-AN/963)* [29] v roku 2016, ktorý popisuje plán pre vývoj navigácie v období 2016-2030. Toto obdobie je rozdelené do štyroch etapových blokov. Grafické zobrazenie stratégie navigačných systémov pre dané obdobie je zobrazené na Obr. 1.



Obr. 1 Globálny navigačný plán 2016-2030 ([29]; upravené autorom)

Celková snaha v rámci navigačných systémov je prechod od konvenčných systémov k systémom plne využívajúcich ako primárny zdroj navigačnej informácie globálne družicové polohové systémy GNSS. Napriek tomu sa s konvenčnými systémami presného priblíženia ako ILS či mikrovlnný systém MLS počíta i naďalej, a to minimálne do roku 2030. Napriek tejto skutočnosti je väčšie využitie systému MLS veľmi otáznou, a to predovšetkým z dôvodu jeho takmer úplnej absencie v rámci civilného letectva. S meračmi šikmej vzdialenosti DME sa taktiež počíta minimálne do roku 2030, predovšetkým tak pre podporu RNAV navigácie. Rozdielna situácia je u rádiových majákov VOR a NDB. Ďalšia implementácia týchto navigačných zariadení sa neplánuje a postupne bude dochádzať k ich likvidácii, predovšetkým tak u nesmerového majáku NDB, ktorý nespadá do koncepcie založenej na výkonnosti PBN.

Poznámka: Jednotlivé spomínané navigačné systémy a koncepcie sú podrobnejšie popísané v ďalších častiach práce.

U systémov, založených na družicových polohových systémoch GNSS, sa plánuje ich stále väčšie využitie. Jednotlivé systémy GNSS by mali postupne prechádzať na vysielanie z jednofrekvenčného vysielania na multifrekvenčné, čo prispeje k zvýšeniu presnosti určenia polohy, skráteniu času prijmu signálu či zníženiu vplyvu odrazu signálov a pod.

Poznámka: V súčasnosti jediné plne prevádzkované GNSS systémy sú GPS a GLONASS. Oba tieto systémy vysielajú len na jednej frekvencii, ktorej príjem je sprístupnený i širokej verejnosti. Vysielanie a príjem druhej frekvencie je určené zatiaľ len pre armádne účely.

Ani u využívania navigácie založenej na systémoch GNSS sa nevyhneme viacerým problémom. Jedným z týchto problémov je zaistenie adekvátnej zálohy v prípade výpadku týchto systémov, predovšetkým tak v oblastiach Pacifiku a Ázie. Tieto oblasti nedisponujú dostatočnou sieťou konvenčných rádionavigačných zariadení, ktoré by mohli poskytovať adekvátnu zálohu. Objavuje sa tak potreba zaistenia dostatočnej zálohy, ktorá je zhrnutá v navigačnej stratégii figurujúcej pod skratkou APNT (Alternative Position, Navigation and Timing). Plán začiatku implementácie tejto navigačnej stratégie je stanovený približne od roku 2030.

Tento plán zahŕňa viaceré spôsoby pre dosiahnutie dostatočnej miery bezpečnosti a zároveň čo najnižších nákladov, ako napríklad [34]:

- využitie v súčasnosti dostupných konvenčných navigačných zariadení, ako VOR, DME a ILS pre podporu navigácie v koncových riadených oblastiach a pri priblížení na pristátie,
- rozvinutie siete zariadení DME pre podporu RNAV navigácie,
- využitie inerčných navigačných systémov,
- rozvoj alternatívnych systémov ako eLORAN, LOCATA, LDACS a iné.

Celkovým trendom v oblasti technológií riadení lietadiel v priebehu priblíženia na pristátie je postupná implementácia procedúr PBN. Tieto približovacie procedúry predstavujú kvôli svojim výhodám ohromný potenciál, predovšetkým tak paradoxne u letísk, ktoré nedisponujú žiadnymi približovacími systémami. Rozširovanie implementácie týchto procedúr je bližšie analyzované v ďalšej časti práce (pozri 2.3.3).

V oblasti systémov riadenia lietadiel v priebehu priblíženia na pristátie sa ako veľmi perspektívne systémy ukazujú taktiež systémy, ktoré sú založené na rozšírených systémoch GNSS, predovšetkým tak SBAS (pozri 7.1.2) a GBAS (pozri 7.1.3). Tieto systémy využívajú diferenčné technológie, ktoré umožňujú zlepšiť štandardné systémy GNSS, predovšetkým v oblasti presnosti a integrity. Zaisťujú tak dostatočnú úroveň bezpečnosti aj v prípade presného priblíženia na pristátie. Týmto systémom autor kladie veľký dôraz v ďalšej časti práce, predovšetkým tak systému s lokálnym rozšírením GBAS. Tento systém je v súčasnosti certifikovaný pre podmienky priblíženia CAT I, pričom do roku 2024 sa očakáva dokončená certifikácia tohto systému pre podmienky CAT II/III. Netreba zabúdať ani na približovacie procedúry LPV, podporované systémom SBAS (pozri 5.2), ktoré dokážu zaistiť podmienky prevádzky CAT I bez akejkoľvek ďalšej zástavby do letísk.

Poznámka: Podmienky presných približovacích kategórií (CAT) sú uvedené v Tab. 11 v časti 6.1.

2 NAVIGÁCIA ZALOŽENÁ NA VÝKONNOSTI

V ranných dobách letectva sa piloti orientovali spravidla podľa železničných tratí alebo známych objektov. Navigácia to bola veľmi komplikovaná a závisela predovšetkým na schopnostiach a skúsenostiach pilota, resp. posádky lietadla, dohľadnosti, počasi a mnohých iných faktoroch. Vynájdenie a zavedenie rádionavigačných zariadení prinieslo nespočetné množstvo výhod a možností v leteckej doprave. Avšak tento spôsob navigácie závisel najmä na množstve a umiestnení daných rádiomajákov, pretože sa lietalo doslova „od majáka k majáku“. Takýto systém navigácie s rastúcim počtom požiadaviek, a leteckej dopravy ako takej, bol viac než nedostačujúci.

2.1 RNAV

Prelomovým momentom bolo zavedenie koncepcie tzv. priestorovej navigácie RNAV (aRea Navigation). Tento princíp navigácie spočíva v lete po takmer ľubovoľnej trati a odpútanie sa od lietania „od majáka k majáku“. Systém spočíva v stanovení traťových bodov (Waypoints - WPT) za pomoci rádionavigačných alebo iných zariadení.

Zavedenie RNAV prinieslo celé množstvo výhod. V prvom rade umožnilo neporovnateľne väčšie využitie vzdušného priestoru. Lietadlá sú schopné lietať medzi dvoma bodmi nie len po jednej trati, ale niekoľkými paralelnými súčasne. Vďaka zaisteniu väčšej bezpečnosti sa mohol znížiť rozstup medzi lietadlami. Vďaka rôznym tratiam je umožnené zvoliť rôzne obletové trate a vyhnúť sa tak miestam s najhustejšou prevádzkou, ako napríklad koncové oblasti v okolí letísk. V neposlednom rade šetrí množstvo paliva vďaka možnosti zvolenia priamej trate, z čoho plynie značná úspora peňazí a celkový nižší vplyv na životné prostredie.

Samotná priestorová navigácia je podľa dokumentu ICAO Annex 11 definovaná ako metóda priestorovej navigácie podľa prístrojov, ktorá umožňuje lietadlu let po akejkoľvek letovej dráhe, ktorá leží v dosahu pozemného alebo kozmického navigačného zariadenia (NAVAIDs), alebo jej to umožňuje rozsah palubných zariadení. Popríklad využitie viacerých súčasne. K stanoveniu polohy sa využíva palubný počítač FMS (Flight Management System) [58].

Aby mohlo lietadlo lietať metódou RNAV, musí byť vybavené potrebnými palubnými zariadeniami. Tie automaticky určujú polohu lietadla na základe získaných informácií z jedného alebo viacerých navigačných senzorov, a súčasne zaisťujú vedenie lietadla po trati. Traťové body, z ktorých je zostavená letová trasa, sú definované príslušnými súradnicami (zemepisná dĺžka, šírka) na referenčnom elipsoide Zeme WGS 84 [58].

K zaisteniu požadovanej presnosti sa využívajú súčasne viaceré zdroje, ako napríklad: VOR/DME, dvojica zariadení DME/DME, presné približovacie systémy ILS (LZZ)/MLS, globálne družicové polohové systémy (najmä GPS), autonómne systémy INS/IRS a iné [58].

Poznámka: WGS 84 (World Geodetic System) – svetový geodetický systém, predstavuje referenčný elipsoid Zeme, ktorý bol vydaný v roku 1984 a je celosvetovo uznávaný. Určený je predovšetkým pre potreby navigácie a geodézie.

2.1.1 B-RNAV

Základným typom navigácie RNAV je tzv. Basic RNAV (B-RNAV). Lietadlá schválené pre lety B-RNAV musia disponovať palubnými zariadeniami schopnými zaistiť navigačnú výkonnosť RNP 5. To znamená, že musia zaistiť navigačnú a polohovú presnosť na trati minimálne $\pm 5\text{NM}$ ($\pm 9,26\text{ km}$) v 95 % celkovej doby letu.

Palubné vybavenia pre B-RNAV sú povinné v celej sieti ATS v priestore krajín ECAC od 23.04.1998. Táto povinnosť platí pre lety nad stanovenou tzv. spodnou hranicou vybavenia pre B-RNAV [41]. Táto hranica je stanovená príslušnými národnými leteckými úradmi, pričom v ČR je stanovená hladinou FL 95 [51]. Podmienkou vybavenia palubných prístrojov pre lety nad európskym kontinentom, je zástavba palubného počítača FMS a jedným senzorom VOR/DME alebo DME/DME. Prípadne ďalšími, ako sú nezávislé senzory INS/IRS alebo družicový systém GPS. Pre lety nad oceánom, kde nie je dostatočné pokrytie pozemnými majákmi, musia byť splnené podmienky pre vybavenie LRNS (Long Range Navigation Specification) a môže byť vyžadovaný zdvojený systém FMS doplnený dvoma nezávislými senzormi LNS/IRS alebo dvoma prijímačmi GPS.

Minimálne požiadavky pre prevádzku B-RNAV [41]:

- spojená indikácia polohy lietadla voči trati zobrazená na navigačnom displeji,
- na navigačnom displeji musí byť zobrazená vzdialenosť a zameranie k aktívnemu traťovému bodu a súčasne traťová rýchlosť alebo doba k aktívnemu bodu,
- systém disponuje uložením minimálne 4 WPT do pamäti,
- funkcia signalizácie poruchy RNAV systému.

Systém B-RNAV priniesol množstvo výhod v porovnaní s tradičnou navigáciou lietaním „od majáka k majáku“. Využitie našiel predovšetkým v navigácií po trati. Problém nastáva v prípade použitia tejto metódy v prostredí TMA. V prípade zníženej priechodnosti vzdušného priestoru, presnosť zamerania $\pm 5\text{ NM}$ nie je dostačujúca. V neposlednom rade, absencia povinnosti zavedenia databázy traťových bodov zvyšuje nárok na posádku. Prípadné ručné zadávanie bodov v priebehu letu v TMA by mohlo mať nemalé dôsledky na koncentráciu a pracovné zaťaženie posádky, čo by mohlo viesť k fatálnej nehode.

2.1.2 P-RNAV

Obmedzené využitie B-RNAV v priestore koncových oblastí viedlo k vylepšeniu stávajúcej verzie. Výsledkom bol systém, nazvaný Precision RNAV. Jedná sa v prvom rade o presnejší typ, ktorý vyžaduje navigačné zariadenia schopné zaistiť navigačnú výkonnosť na úrovni RNP 1. V praxi to znamená, že musia zaistiť navigačnú a polohovú presnosť na trati minimálne $\pm 1\text{ NM}$ ($\pm 1,85\text{ km}$) v 95 % celkovej doby letu [58].

Trendom v oblasti európskeho vzdušného priestoru je rozširovanie oblastí s P-RNAV, predovšetkým tak v oblasti TMA. Primárnym zdrojom navigačných informácií sú systémy GNSS alebo prípadne DME/DME. V TMA Praha je ako primárnym zdrojom informácií systém DME/DME, v dôsledku jeho dostatočného pokrytia [58].

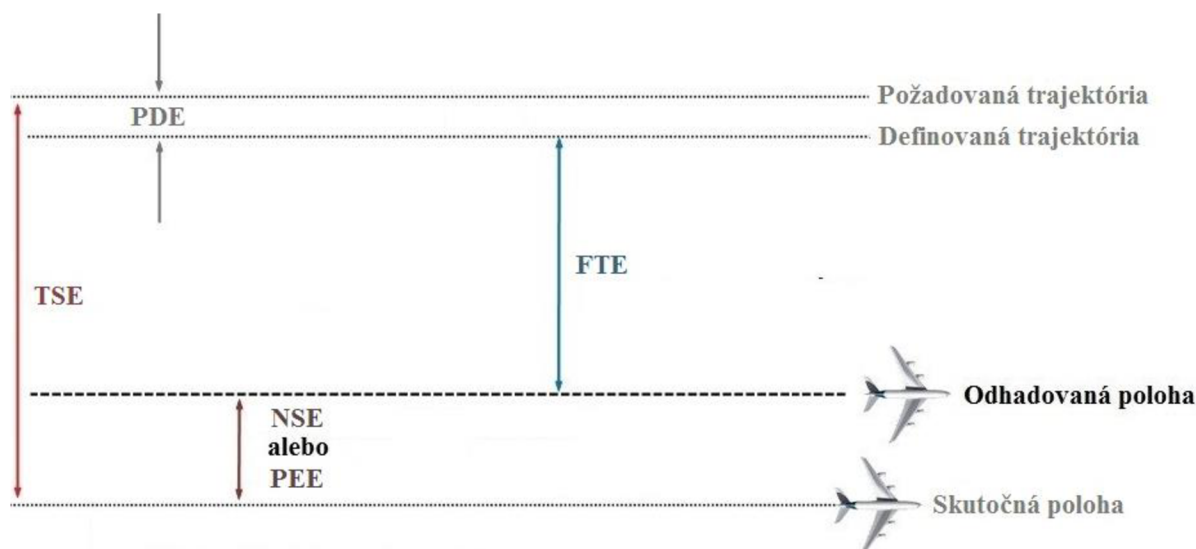
Analýzou a implementáciou P-RNAV v prostredí koncových oblastí európskeho vzdušného priestoru sa zoberal predovšetkým program SESAR (Single European Sky ATM Research). Tento program sa zaoberá modernizáciou infraštruktúry systému riadenia letovej prevádzky najmä v oblasti bezpečnosti a životného prostredia. Implementácia P-RNAV bola overovaná experimentom v oblasti TMA Madrid v podmienkach plnej prevádzky. Závěry experimentu boli viac než dostačujúce a boli publikované v dokumente: „*Solution Regulatory Overview – P-RNAV in complex TMA*“ [53].

Validačným experimentom v priestore TMA Madrid bolo preukázané [53]:

- v dôsledku zníženia počtu vyčkávaní bola znížená spotreba paliva,
- podstatne sa zvýšila kapacita, v tomto prípade až dvojnásobne, pričom z pôvodných vypočítaných 48 pohybov vzrástol počet pohybov až na 97 v dôsledku možnosti nezávislej prevádzky na 2 paralelných RWY,
- zvýšenie maximálnej kapacity štandardných príletových (STAR) a odletových tratí (SID), v porovnaní s tradičnými STAR/SID,
- zníženie pracovného zaťaženia riadiacich letovej prevádzky približne o 16 %,
- a v neposlednom rade zníženie zaťaženia životného prostredia v dôsledku úspory spotreby paliva a emisií.

2.2 RNP

Koncept požadovanej navigačnej výkonnosti (Required Navigation Performance) bol vyvinutý ako aplikácia navigačnej výkonnosti daného lietadla pre určitú časť vzdušného priestoru. Zjednodušene povedané, RNP charakterizuje časť vzdušného priestoru pomocou stanovenej presnosti, ktorá musí byť dosiahnutá všetkými lietadlami letiacimi v danej časti vzdušného priestoru v 95 % doby letu. Táto presnosť je vyjadrená celkovou systémovou chybou TSE [31]. Chyba TSE a jej zložky sú znázornené na Obr. 2.



Obr. 2 Znáozornenie celkovej systémovej chyby zamerania [autor]

Poznámka: V ďalších častiach práce sa čitateľ opakovane stretne s pojmami jednotlivých druhov chýb, preto je nutné ich zadefinovať [33]:

- **PDE** (*Path Definition Error*) – chyba, ktorá je spôsobená technickou nedokonalosťou systému RNAV presne definovať požadovanú trajektóriu letu. Definovaná trajektória sa nezhoduje so skutočnou trajektóriou.
- **FTE** (*Flight Technical Error*) – letovo technická chyba, ktorej veľkosť odpovedá schopnosti posádky alebo autopilota udržiavať let po definovanej trajektórii.
- **NSE** (*Navigation System Error*) – chyba navigačného systému, ktorá predstavuje rozdiel medzi odhadovanou polohou a skutočnou polohou lietadla. Občas sa označuje tiež aj ako chyba stanovenia polohy PEE (*Positioning Estimation Error*).
- **TSE** (*Total System Error*) – celková systémová chyba, chyba navigačného procesu zahrňajúca všetky jednotlivé chyby, tzn: $TSE = \pm PDE \pm FTE \pm NSE(PEE)$.

Jednotlivé priestory sú označené príslušným typom (špecifikáciou) RNP. Označujú sa číslom za RNP, ktoré označuje požadovanú presnosť. Napr. priestor označený špecifikáciou RNP 1, vyžaduje, aby lietadlo letiace v tomto priestore bolo schopné určiť svoju polohu s presnosťou ± 1 NM v 95 % doby letu. Je teda zrejmé, že lietadlo nedostatočne vybavené pre určitý RNP priestor môže byť z tohto priestoru vylúčené, alebo v niektorých prípadoch mu budú pridelené väčšie separačné minimá. Na druhej strane, lietadlo vybavené lepšou navigačnou špecifikáciou, napr. RNP 1, môže letieť v priestore definovanom RNP 4 [31]. Typy RNP spolu s ich použitím sú uvedené v Prílohe 2.

2.3 PBN

Koncepcia PBN (*Performance Based Navigation*), teda koncepcia založená na výkonnosti, bola vytvorená ako náhrada za koncept RNP v dôsledku požiadaviek vzdušného priestoru. I keď sa jedná o náhradu, koncepcia RNP nezanikla, ale bola integrovaná a vylepšená v koncepcii PBN. Koncepcia založená na výkonnosti bola predstavená organizáciou ICAO v publikácii *ICAO PBN Manual (Doc 9613)* v roku 2008. Samotná koncepcia je založená na špecifikácii výkonnosti v oblasti presnosti, integrity, kontinuity a funkčnosti. Táto koncepcia predstavuje presun od navigácie založenej predovšetkým na navigačných senzoroch, k navigácii založenej na výkonnosti. Jednotlivé požiadavky výkonnosti sú stanovené v navigačných špecifikáciách, ktoré určujú jednotlivé navigačné zariadenia, ktoré musia byť použité k dosiahnutiu požadovanej výkonnosti [33].

Koncepcia PBN sa skladá z troch komponentov:

- navigačná aplikácia,
- navigačná infraštruktúra,
- navigačná špecifikácia.

Navigačná aplikácia – predstavuje aplikovanie navigačnej špecifikácie v súlade s navigačnou infraštruktúrou. V rámci dvoch štátov môže dôjsť k rozličným druhom aplikácie tej istej navigačnej špecifikácie, ktorá môže byť spôsobená dostupnosťou len jedného typu navigačnej infraštruktúry (napr. GNSS), alebo na základe nedostatočnej infraštruktúry daného navigačného senzoru (napr. DME). Túto skutočnosť uvedie daný štát vo svojom AIPe, a lietadlá nespĺňajúce požiadavky na toto vybavenie nebudú byť môcť prevádzkované nad daným územím. Napríklad v prípade špecifikácie RNAV 1 a nutnosti vybavenia pre navigáciu DME/DME, pričom lietadlo bude vybavené len GNSS prijímačom [33].

Navigačná infraštruktúra (NAVAID) – je tvorená všetkými navigačnými zariadeniami, ktoré spadajú do koncepcie PBN. Vo všeobecnosti je ich možné rozdeliť na pozemné, kozmické a autonómne (inerčné). Hlavným zdrojom navigačnej informácie sú však predovšetkým družicové systémy GNSS. Jedným z cieľov koncepcie založenej na výkonnosti je umožnenie navigácie lietadla ľubovoľným dostupným navigačným zariadením. V praxi je však táto skutočnosť limitovaná výkonnostnými požiadavkami navigačnej špecifikácie. Tá špecifikuje pre danú oblasť použitia navigačné zariadenie, resp. ich kombináciu, ktoré zaistia požadovanú výkonnosť. Tieto navigačné zariadenia, definované pre jednotlivé špecifikácie, musia byť dostupné pre danú oblasť použitia [18]. Navigačné zariadenia, ktoré sú nutné pre zaistenie požadovanej navigačnej výkonnosti, sú uvedené v Tab. 1.

Tab. 1 Navigačné zariadenia nutné k dosiahnutiu požadovanej výkonnosti ([18]; upravené autorom)

NAVIGAČNÁ ŠPECIFIKÁCIA	NAVIGAČNÉ ZARIADENIE				
	GNSS	IRU*	DME/DME	DME/DME/IRU	VOR/DME
RNAV 10	✓	✓			
RNAV 5	✓	✓	✓		✓
RNAV 2	✓		✓	✓	
RNAV 1	✓		✓	✓	
RNP 4	✓				
RNP 2	✓		✓	✓	
RNP 1	✓		✓	✓	
A-RNP	✓		✓	✓	
RNP APCH (APV/Baro)	✓				
RNP APCH (APV/SBAS)	✓				
RNP AR APCH	✓				
RNP 0,3	✓				

Poznámka: Vysvetlivky k Tab.1:

✓ - povinné, ✓ - voliteľné, ✓ - využitie na základe požiadaviek poskytovateľov navigačných služieb a vybavenosti lietadla.

*IRU – Jednotka inerčného referenčného systému (Inertial Reference Unit)

Navigačná špecifikácia – obsahuje požiadavky na výkonnosť navrhovaných operácií v konkrétnom vzdušnom priestore. Opisuje, akým spôsobom sa tieto požiadavky majú dosiahnuť a aké navigačné funkcie sú k tomu potrebné. Zahrňuje to aj požiadavky na pilotný výcvik a schválenia prevádzky. Samotná špecifikácia je stanovená buď podľa špecifikácie RNAV alebo RNP, pričom zásadný rozdiel spočíva v požiadavke na umiestnenie systému varovania a monitorovania výkonnosti u špecifikácie RNP. U špecifikácie RNAV táto požiadavka nie je [18].

Koncept PBN sa zameriava predovšetkým na zefektívnenie RNAV a RNP aplikácií na globálnej úrovni, a to znížením počtu navigačných špecifikácií. PBN manuál obsahuje obmedzený počet špecifikácií pre jednotlivé fázy letu v celosvetovom použití [32]. Aplikácie navigačných špecifikácií sú uvedené v Tab. 2. Z pohľadu priblíženia na prístátie, je možné aplikovať špecifikácie RNAV (RNAV 1) i RNP, avšak pre úsek konečného priblíženia je možné použiť len špecifikácie RNP (A-RNP, RNP APCH, RNP AR APCH). Táto podmienka je podmienená predovšetkým nutnosťou monitorovania výkonnosti a včasného varovania v prípade poruchy, ktorou RNAV nedisponuje [18].

Tab. 2 Navigačné špecifikácie pre jednotlivé fázy letu ([18]; upravené autorom)

Navigačná špecifikácia	Fáza letu							
	Traťová oceánska	Traťová kontinentálna	Prílet	Priblíženie na prístátie				Odlet
				Počiatkové	Stredné	Konečné	Nevydarené	
RNAV 10 (RNP 10)	10							
RNAV 5		5	5					
RNAV 2		2	2					2
RNAV 1		1	1	1	1		1	1
RNP 4	4							
RNP 2	2	2						
RNP 1			1	1	1			
A-RNP	2	2 alebo 1	1	1	1	0,3	1	1
RNP APCH				1	1	0,3	1	
RNP AR APCH				1-0,1	1-0,1	0,3-0,1	1-0,1	
RNP 0,3		0,3	0,3	0,3	0,3	-	0,3	0,3

Poznámka: Navigačné špecifikácie uvedené v Tab. 2 označené červenou farbou (RNP 2, A-RNP, RNP 0,3) boli zavedené ako posledné. Navigačná špecifikácia RNP 0,3 je určená len pre helikoptéry.

2.3.1 Priblíženie založené na výkonnosti

RNP APCH – (RNP Approach), pomenúva špecifikáciu označujúcu približovacie procedúry založené na RNP. Tieto procedúry sa označujú tiež aj ako RNAV, preto ich v približovacích mapách nájdeme predovšetkým pod názvom RNAV(GNSS) RWY XX. Na týchto mapách sú uvedené minimá pre jednotlivé približovacie procedúry. Pilot sa rozhodne pre jednu z nich na základe skúseností a vybavenia lietadla. Příklad takéhoto značenia minim pre jednotlivé RNAV(GNSS) približovacie procedúry je znázornený na Obr. 3.

OCA/OCH		A	B	C	D	DIST THR (MAPt)	7	6	
LNAV	ft	2470/490				ALTITUDES ft	4260	3940	3
LNAV / VNAV	ft	2430/450					kt	80	
LPV	ft	2349/360	2361/372	2369/380	2380/391	FAF - MAPt 7,7 NM	min:sec	5:48	
						Rate of descent (5,24%)	ft/min	420	
Circling (south of AD only)	ft	2520/540	2800/820	3350/1370	3570/1590				

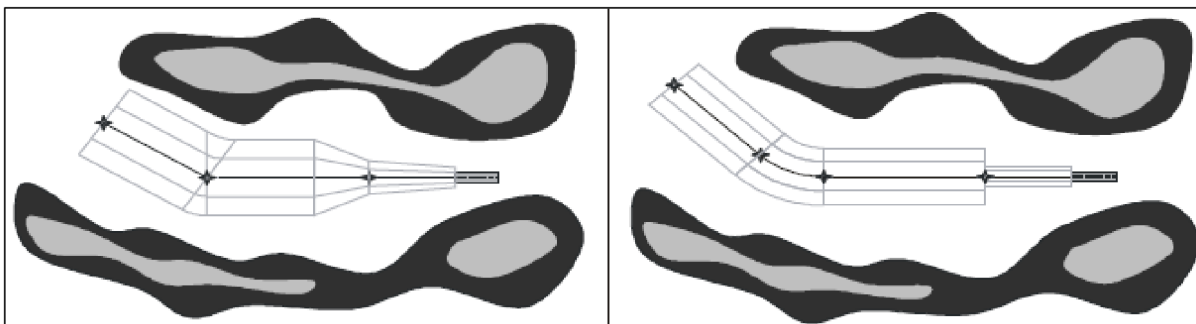
Obr. 3 Příklad značenia PBN procedúr na približovacích mapách ([52]; upravené autorom)

Základné druhy priblíženía RNP:

- **RNP APCH LNAV** – navigácia len v horizontálnej rovine (Lateral NAVigation), využíva GPS,
- **RNP APCH LNAV/VNAV** – navigácia súčasne v horizontálnej a vertikálnej rovine (Lateral NAVigation/Vertical NAVigation), využíva GPS a údaje z palubného barometrického výškomera pre navigáciu vo vertikálnej rovine. Priblíženie je taktiež nazývané APV Baro (Kapitola 5.1).
- **RNP APCH LP** – navigácia v horizontálnej rovine s presnosťou zrovnateľnou s kurzovým majákom systému presného priblíženía ILS (Localizer Performance). Využíva GPS a súčasne jeho augmentačný (rozširujúci) systém EGNOS.
- **RNP APCH LPV** – navigácia v horizontálnej a vertikálnej rovine, s porovnateľnou presnosťou s kurzovým majákom systému presného priblíženía ILS (Localizer Performance). Taktiež využíva GPS so systémom EGNOS, no v porovnaní s LP zaisťuje vedenie aj vo vertikálnej rovine. Priblíženie figuruje tiež pod názvom APV SBAS (Kapitola 5.2).

RNP AR APCH – predstavuje približovaciú špecifikáciu RNP, ktorá na rozdiel od RNP APCH vyžaduje dodatočné oprávnenie. V približovacích mapách nájdeme túto približovaciú procedúru pod názvom RNAV(RNP) RWY XX. Určená je predovšetkým pre procedúry priblíženía k letiskám, u ktorých sa v blízkosti nachádza mnoho terénnych prekážok (Príloha 1), alebo potrebujeme zaisťiť z určitého dôvodu vyššiu prevádzkovú efektívnosť. Takéto procedúry vyžadujú zvýšenú úroveň preskúmania, kontroly a oprávnenia („Authorization Required“). Väčšie riziko a vyššie nároky na prevádzku sú vyvážené striktnějšími RNP kritériami, lepšie vybavenými palubnými prístrojmi a vyšším požadovaným stupňom tréningu posádky. Celková chyba v horizontálnej rovine nesmie byť väčšia než 0,3 NM pre 95 % doby letu (odporúčaná 0,1–0,3 NM). Požiadavky na procedúry RNP AR APCH sú uvedené v poradenských materiáloch AC 90-101 (FAA) a AMC 20-26 (EASA) [33].

Na Obr. 4 je znázornený príklad porovnania procedúr RNP APCH a RNP AR APCH. Procedúra RNP AR APCH sa vyznačuje menším ochranným pásmom a predovšetkým umožňuje použiť zatáčku s konštantným polomerom v priebehu konečného priblíženía na pristátie (pozri 2.3.2). Táto funkcia pri priblížení RNP APCH v úseku konečného priblíženía nie je umožnená.



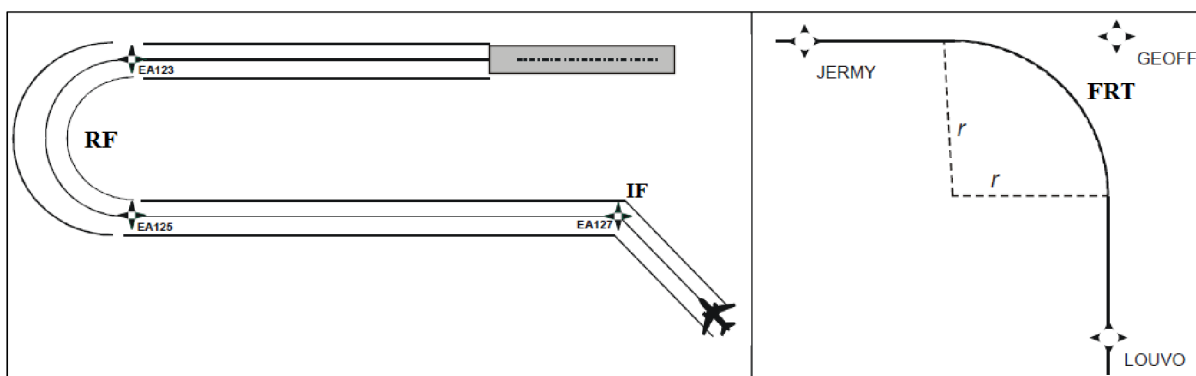
Obr. 4 Príklad procedúr RNP APCH (naľavo) a RNP AR APCH (napravo) [33]

A-RNP – Advanced RNP, označuje RNP navigačnú špecifikáciu, ktorá je určená pre prevádzku vo všetkých fázach letu. Zjednodušene by sa dalo povedať, že táto špecifikácia zahŕňa v sebe špecifikácie RNAV 5/2/1, RNP 2/1 a RNP APCH. Základom tejto pokročilej špecifikácie sú globálne družicové polohové systémy (GNSS). Letová prevádzka podľa tejto špecifikácie závisí od integrity RNP systému, bez použitia konvenčných navigačných zariadení, ako VOR či NDB. Z tohto dôvodu musí byť zaistený dodatočný systém sledovania dostupnosti a integrity služby GNSS, napr. ABAS RAIM (pozri 7.1.1) [33].

2.3.2 Špecifické funkcie

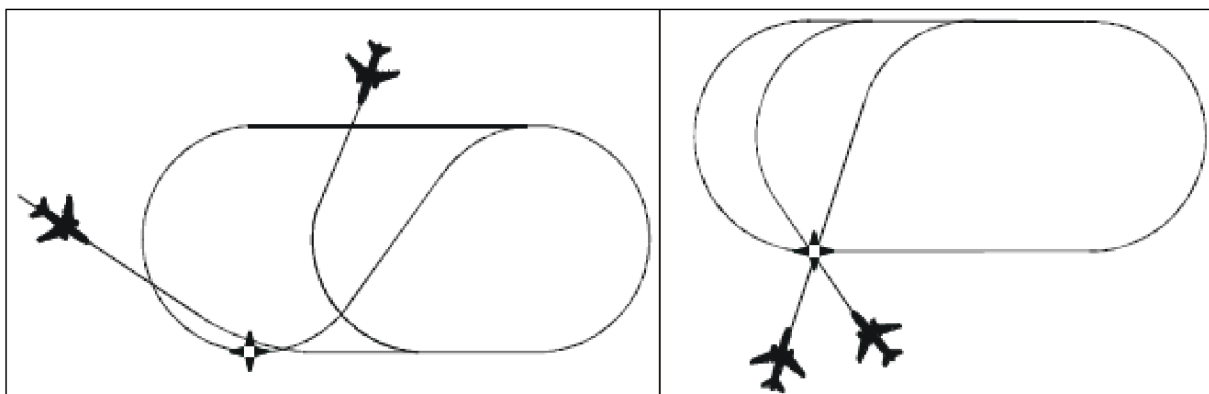
Jednou z hlavných úloh koncepcie PBN je zaistenie spoľahlivosti, vyššej kapacity a efektívnosti v plánovanej leteckej prevádzke. Implementácia PBN si však vyžaduje nie len funkcie poskytované tradičným RNAV systémom, ale aj niektoré špecifické procedúry, operácie a pod. Najvýznamnejšie PBN špecifické funkcie sú stručne popísané v nasledujúcej časti.

Zatáčky s konštantným polomerom – Fixed Radius Paths (FRP), existujú v dvoch prevedeniach. Prvý typ je využívaný na letových tratiach, v koncových riadených oblastiach a v priebehu priblíženia na pristátie (Obr. 5 naľavo). Označuje sa ako **RF** (Radius to Fix). Definovaný je polomerom, dĺžkou oblúka a fixom. Systémy podporujúce RF umožňujú dodržiavať rovnakú presnosť vedenia lietadla po priamej trati ako i v priebehu zatáčania. Druhá forma FRP sa používa len na letových tratiach a označuje sa **FRT** (Fixed Radius Transition). Tento druh zatáčania definuje spôsob prechodu medzi dvoma časťami letovej trate, pomocou presne definovaných polomerov zatáčania (Obr. 5 napravo). Pre letové trate nad FL 195 sa používa polomer zatáčania 22 NM, pre nižšie letové hladiny 15 NM. Použitie tejto funkcie umožňuje lepšie využiť vzdušný priestor prostredníctvom nižších rozstupov medzi paralelnými traťami [33].



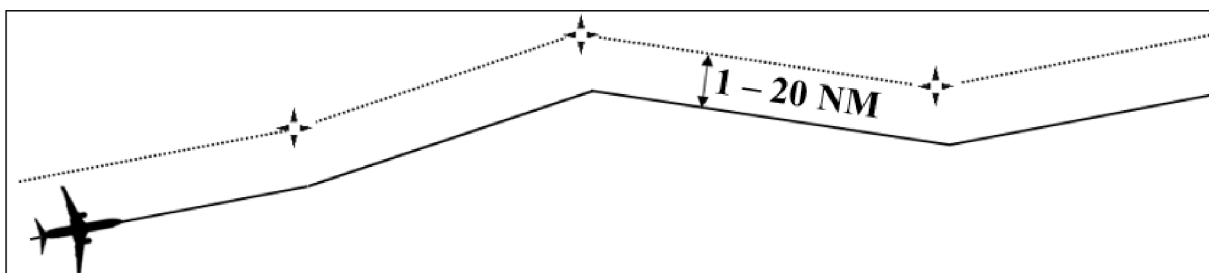
Obr. 5 Zatáčky s konštantným polomerom – RF (naľavo), FRT (napravo) [33]

RNP vyčkávací obrazec – RNAV systém umožňuje jednoduchšie špecifikovať vyčkávací obrazec. V tomto prípade je možné definovať rôzny kurz k bodu vyčkávania (*holding waypoint*), otočiť smer vyčkávania, meniť dĺžku priamych úsekov vo vyčkávacom obraze a tiež plánovať miesta opustenia vyčkávacieho obrazca. Zároveň sa minimalizuje ochranný priestor mimo obrazca. Pri aplikácii RNP sa odporúča použiť špecifikáciu nanajvyš RNP 1, pretože menej striktné požiadavky by nepriaznivo vplývali na využitie vzdušného priestoru [33]. Možnosti vstupu do vyčkávacieho obrazca sú znázornené na Obr. 6.



Obr. 6 Vstupy do RNP vyčkávacích obrazcov [33]

Posun letovej trate – na základe RNAV navigácie je umožnené posádkam lietadiel špecifikovať „posun“ (offset) letovej trate. Tento posun môže byť vykonaný vo vzdialenosti 1 až 20 NM od pôvodnej trate v horizontálnej rovine (Obr. 7). Po aktivácii „posunu“, lietadlo vybočí o uhol 45° (alebo menej) z pôvodnej trate a zaujme polohu na „posunutej“ trati. Po deaktivácii funkcie sa lietadlo vráti na pôvodnú trať rovnakým spôsobom. Funkcia posunu by mala byť deaktivovaná pred priblížením na prístátie [33].



Obr. 7 Funkcia posunu letovej trate [autor]

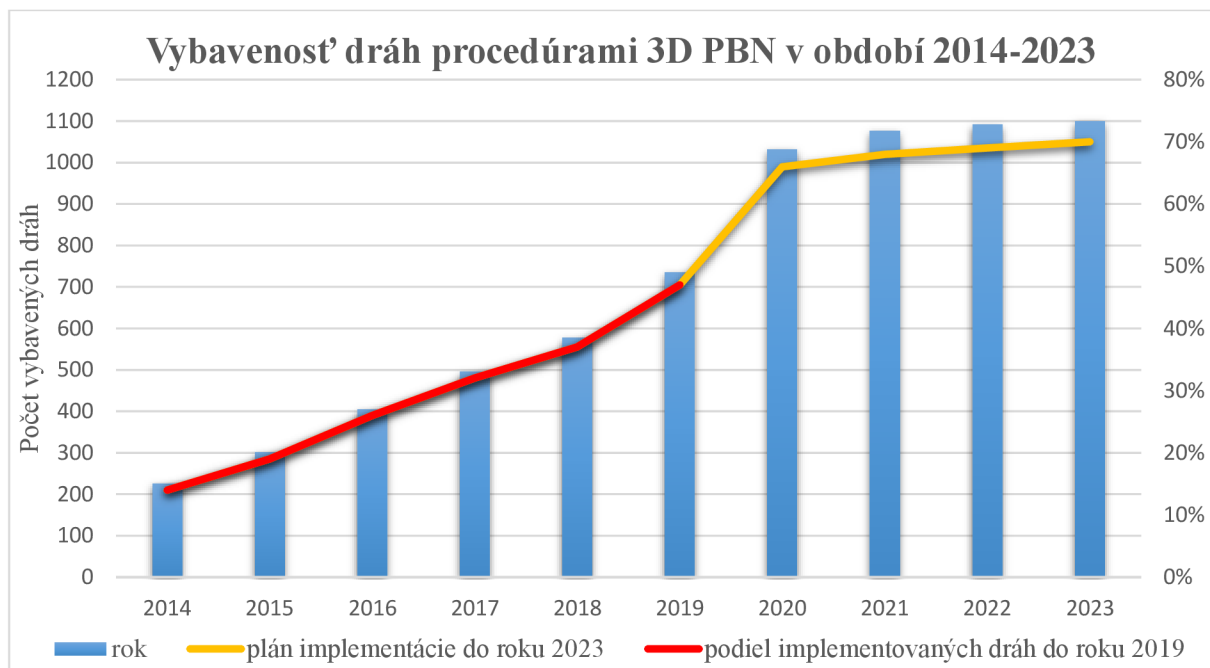
2.3.3 Implementácia postupov PBN

V tejto časti autor analyzoval vývoj implementácie procedúr priblíženia na prístátie podľa konceptu PBN. Okrem samotného vývoja bol analyzovaný súčasný stav a trend vývoja tejto koncepcie. K štatistickému zhodnoteniu procedúr PBN boli použité dáta poskytované organizáciou EUROCONTROL prostredníctvom aplikácie *PBN Approach Map Tool* [19]. Sledovanými prvkami boli letiská štátov ECAC:

- počet letísk: **756**,
- počet vzletových a pristávacích dráh: **1 572**.

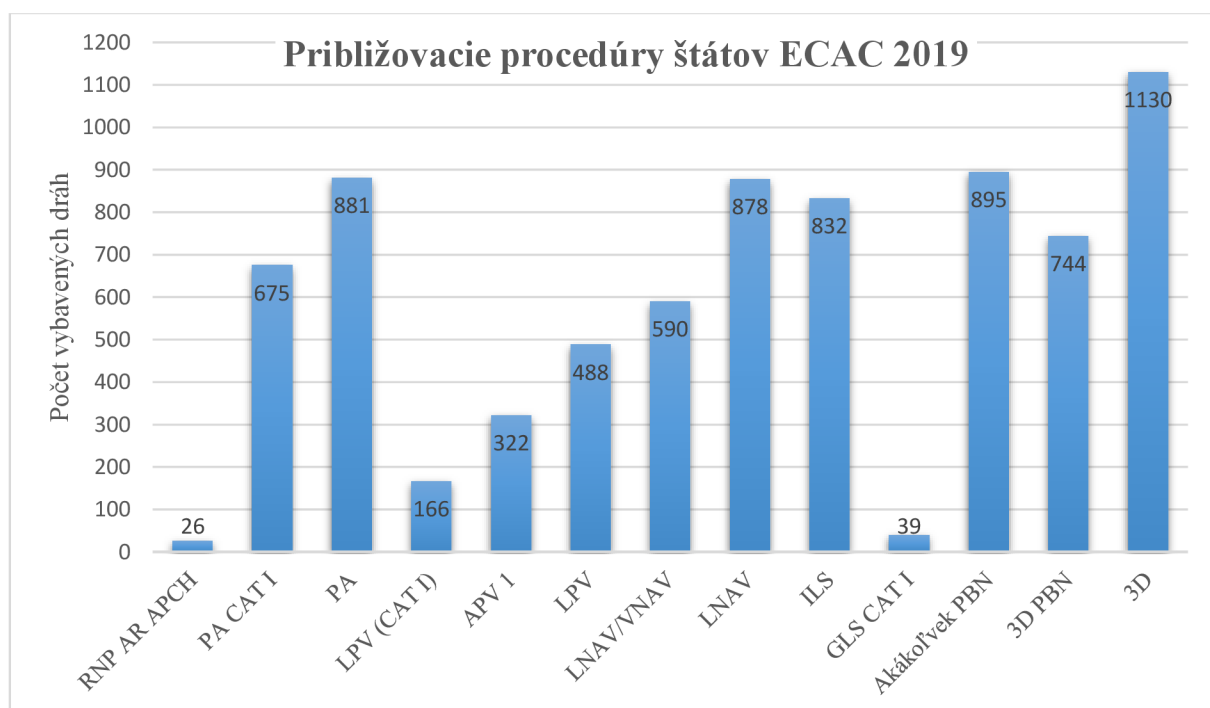
Okrem samotného rozvoja procedúr PBN, bol sledovaný aj počet implementovaných presných približovacích systémov ILS a predovšetkým systému GLS (GBAS Landing System), ktorým sa autor zaoberá podrobnejšie v ďalšej časti práce.

Poznámka: *Súčasný stav implementovaných procedúr PBN je graficky znázornený v Prilohe 4 (Obr. 53) a procedúr 3D PBN v Prilohe 4 (Obr. 54).*



Obr. 8 Vybavenosť dráh 3D PBN v období 2014–2023 ([19]; upravené autorom)

Prvým sledovaným parametrom bol celkový vývoj implementácie približovacích procedúr 3D PBN. Procedúry spadajúce do tejto kategórie sú LPV, LNAV/VNAV a RNP AR APCH. Sledované obdobie je od 01.01.2012 až 01.01.2023. Samotný vývoj je zobrazený na Obr. 8. Treba poukázať na skutočnosť, že počet implementácií od roku 2019 do roku 2023 odpovedá iba plánovaným implementáciám. Z uvedeného grafu je zjavné, že implementácia približovacích procedúr 3D PBN má rastúci charakter, s najväčším nárastom plánovaných implementácií v roku 2019. V tomto rovnakom roku sa predpokladá aj prekonanie počtu 50 % dráh s implementovanými procedúrami 3D PBN v rámci štátov ECAC.



Obr. 9 Približovacie procedúry štátov ECAC 2019 ([19]; upravené autorom)

Poznámka: Vysvetlivky k Obr.9.:

LNAV: RNP APCH do LNAV minima,

LNAV/VNAV: RNP APCH do LNAV/VNAV minima (APV Baro – pozri 5.1),

APV 1: RNP APCH do LPV minima, založené na APV 1 procedúre (APV SBAS - pozri 5.2.),

LPV CAT I: RNP APCH do LPV minima, splňujúce podmienky CAT I (APV SBAS – pozri 5.2),

RNP AR APCH: priblíženie RNAV (RNP) s dodatočnou autorizáciou (pozri 2.3.1),

ILS: presné prístrojové priblíženie systémom ILS (pozri 6.1),

GLS CAT I: Presné prístrojové priblíženie podľa CAT I systémom GLS (Kapitola 7),

Any PBN: akákoľvek procedúra PBN (RNP AR APCH, LPV, LNAV/VNAV, LNAV),

3D PBN: procedúra PBN vo vertikálnej i horizontálnej rovine (RNP AR APCH, LPV, LNAV/VNAV),

3D: akákoľvek 3D procedúra (RNP AR APCH, LPV, LNAV/VNAV, ILS, GLS),

PA: presné prístrojové priblíženie (LPV CAT I, ILS, GLS).

Ďalším sledovaným parametrom bol konkrétny počet dráh vybavených jednotlivými procedúrami priblíženia k dňu 13.02.2019. Okrem procedúr PBN boli súčasne sledované aj počty procedúr systémov presného priblíženia ILS a GLS. Tieto počty sú znázornené na Obr. 9. Z vyššie uvedených údajov je zreteľné, že k uvedenému dňu boli zavedené akékoľvek procedúry PBN pre 894 dráh letísk v rámci štátov ECAC. Tento počet predstavuje 57 % všetkých dráh. V rámci procedúr 3D PBN, je týmito procedúrami implementovaných 744 dráh. Tento počet predstavuje 47,33 %, pričom do roka 2023 by mal tento počet vzrásť až na 70 %.

Posledné sledované údaje sa týkali stavu implementácie procedúr PPB v rámci Českej republiky. Táto implementácia sa vzťahuje na medzinárodné letiská s prístrojovými dráhami. Súčasný stav procedúr PBN v rámci ČR je uvedený v Tab. 3.

Tab. 3 Implementácia PBN procedúr v ČR ([19, 36]; upravené autorom)

Názov letiska	LNAV	LNAV/VNAV	LPV (APV 1)	LPV (CAT I)
Kunovice	Plne implementované (2017)	Plne implementované (2017)	Plne implementované (2017)	
Karlovy Vary	Plne implementované (2014)	Plne implementované (2014)	Plne implementované (2014)	
Ostrava Mošnov	Plne implementované (2014)	Plne implementované (2014)	Plne implementované (2014)	
Pardubice	Plánované	Plánované	Plánované	
Praha Ruzyně	Čiastočne implementované	Čiastočne implementované	Plánované (05.12.2019)	Plánované (05.12.2019)
Brno Tuřany	Plne implementované (2011)	Plne implementované (2011)	Plne implementované (2014)	
Vodochody	Plne implementované (2012)	Plne implementované (2015)	Plne implementované (2015)	

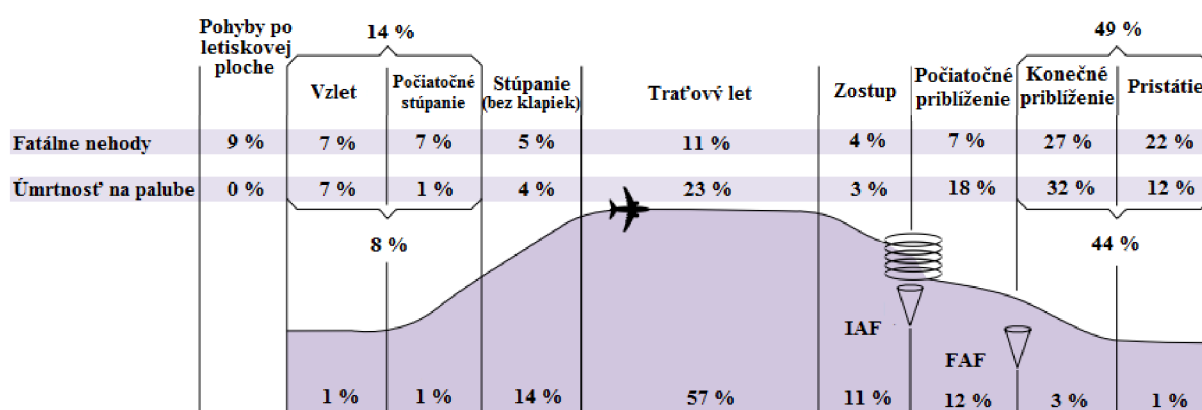
Poznámka: Vysvetlivka k Tab. 3:

- **Plánované** – uvedená procedúra nie je publikovaná, ale sú plány na jej implementáciu,
- **Čiastočne implementovaná** – aspoň jedna dráha je vybavená danou procedúrou,
- **Plne implementované** – pre všetky prahy dráh letiska je publikovaná daná procedúra.

3 PRIBLÍŽENIE NA PRISTÁTIE

Priblíženie na pristátie je posledná fáza letu pred samotným prevedením pristátia. Napriek nepochybnému pokroku v leectve a technike samotnej, sú tieto posledné fázy letu stále najkritickejšie. Zo štatistík zverejnených firmou Boeing (Obr. 10) je očividné, že takmer polovica zo všetkých smrteľných nehôd, v období 2008-2017, sa udiala v priebehu konečného priblíženia na pristátie alebo priamo počas pristátia. Preto je nepochybne potrebné venovať mimoriadnu pozornosť stávajúcim metódam a technológiám práve v tejto oblasti.

Percentuálne zastúpenie fatálnych nehôd v priebehu jednotlivých fázach letu



Obr. 10 Percentuálne zastúpenie fatálnych nehôd v priebehu jednotlivých fázach letu (2008-2017), ([6]; upravené autorom)

Samotné prevedenie letu rozlišujeme v civilnom leectve na lety podľa pravidiel VFR (Visual Flight Rules) a IFR (Instrumental Flight Rules).

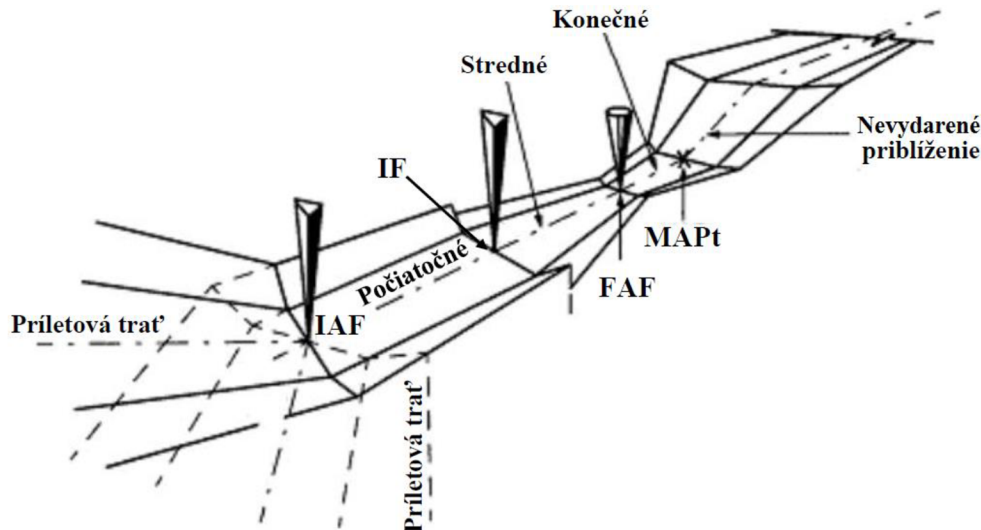
Pod pojmom **VFR** nazývame let, pri ktorom sa pilot lietadla riadi porovnávacou navigáciou. V praxi to znamená, že pilot porovnáva skutočnú prelietavanú trať s traťou zakreslenou na mape. Svoju okamžitú polohu vyhodnocuje na základe pohľadu z kabíny a na základe toho vykonáva príslušné korekcie svojho letu. Pri lietaní podľa pravidiel VFR, pilot zodpovedá na rozstup od prekážok na zemi a od ostatnej okolitej vzdušnej prevádzky, tzn. od ostatných lietadiel [55].

Pod pojmom **IFR** nazývame let, pri ktorom sa pilot lietadla riadi na základe údajov, poskytnutých palubnými prístrojmi. Hlavná výhoda spočíva v uskutočnení letu aj v prípade hmly, oblačnosti či noci. Svoju okamžitú polohu vyhodnocuje a koriguje pomocou odchýlok palubných zariadení. Za určitých okolností môže pilot uskutočňovať let aj pomocou porovnávacej navigácie, no za rozstupy od okolitej vzdušnej prevádzky zodpovedá vždy riadiaci letovej prevádzky [55].

Záverečná fáza letu podľa pravidiel IFR sa nazýva priblíženie podľa prístrojov, počas ktorého je lietadlo vedené podľa stanovenej trajektórie daného letiska, s úmyslom uskutočniť pristátie. Táto fáza začína už na letovej ceste, zvyčajne v bode umiestnenia rádiolokačného zariadenia alebo hlásneho bodu [55].

Přiblížení na přistání se skládá z 5 segmentů (Obr. 11):

- příletová trať (Arrival Segment),
- úsek počátečního přiblížení (Initial Segment),
- úsek středního přiblížení (Intermediate Segment),
- úsek konečného přiblížení (Final Segment),
- úsek nevydareného přiblížení (Missed Approach Segment).



Obr. 11 Úseky priblíženia na pristátie ([45]; upravené autorom)

Jednotlivé segmenty od seba oddeľujú tzv. fixy. Toto rozdelenie priblíženia existuje z dôvodu meniacej sa charakteristiky letu počas priblíženia lietadla smerom k zemi a meniacich sa rozstupov od prekážok na zemi. To znamená, že pre každý segment je ochrana od prekážok definovaná inak [55].

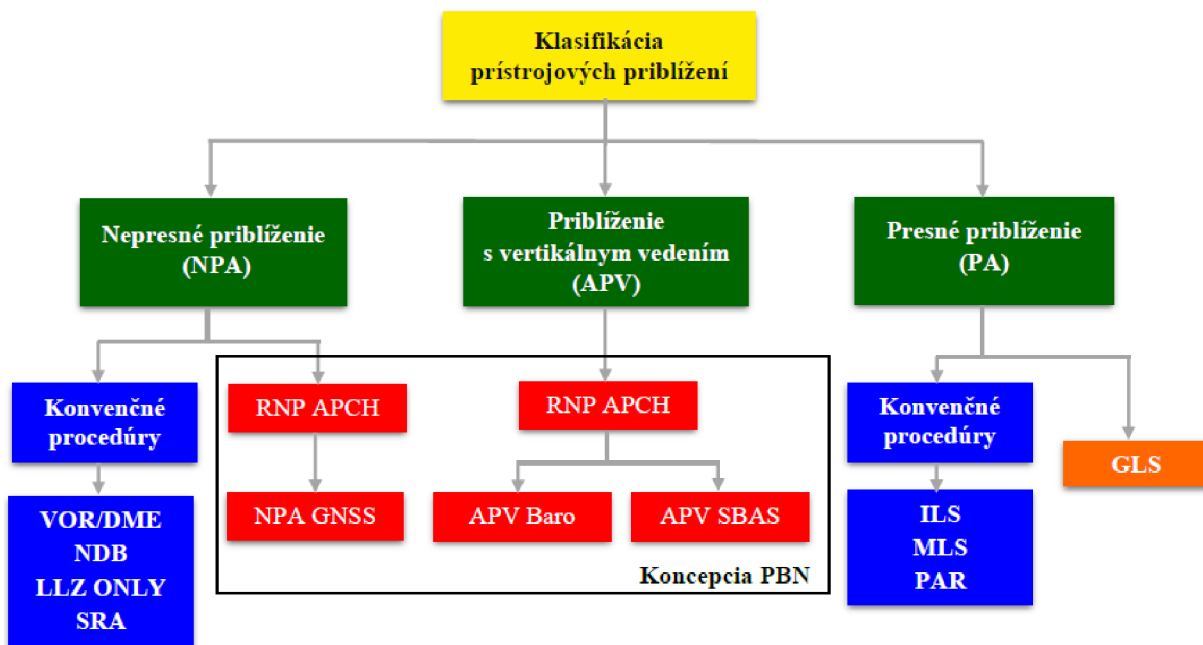
Spôsob prevedenia priblíženia rozlišujeme do troch základných skupín. Priebeh priblíženia na pristátie vizuálnym priblížením a priblížením okruhom je v ďalšej práci opísaný len stručne. Autor práce sa zaoberá podrobnejšie prístrojovými procedúrami založenými na konkrétnych rádionavigačných zariadeniach.

Přiblížení na přistání teda delíme na:

- vizuálne priblíženie,
- priblíženie okruhom,
- prístrojové priblíženie,
 - a) presné priblíženie PA (Precision Approach),
 - b) priblíženie s vertikálnym vedením APV (Approach with Vertical guidance),
 - c) nepresné priblíženie NPA (Non Precision Approach).

Klasifikácia prístrojových priblížení na pristátie je zobrazená na Obr. 12. Okrem hlavného členenia sa jednotlivé približovacie procedúry rozdeľujú podľa použitých rádionavigačných zariadení. Približovacie procedúry, označené červenou a oranžovou farbou, získavajú informáciu o polohe lietadla hlavne pomocou globálnych družicových polohových systémov (GNSS). Takmer všetky tieto procedúry spadajú do koncepcie PBN, ktorá bola popísaná v predchádzajúcej časti práce.

Jedinou výnimkou, ktorá využíva systém GNSS a nespadá do koncepcie PBN, je presné prístrojové priblíženie systémom GLS (GBAS Landing System). Týmto systémom sa autor podrobne zaoberá v Kapitole 7. Približovacie systémy, ktoré nevyužívajú systém GNSS k určaniu polohy lietadla sa nazývajú tzv. konvenčné. Na Obr. 12 sa nachádzajú v modrých poliach. Jednotlivými približovacími procedúrami sa autor zaoberá v ďalšej časti práce.



Obr. 12 Klasifikácia prístrojových priblížení na pristátie [autor]

Poznámka: V Tab. 4 sú uvedené najnižšie použiteľné minimá pre jednotlivé priblíženia, kde:

- **DH** – Výška rozhodnutia, pre priblíženie PA, APV a priblíženie NPA uskutočňované technikou priblíženia stálym klesaním CDFA (Continuous Descent Final Approach),
- **MDH** – Minimálna výška pre klesanie u priblíženia NPA bez techniky CDFA.

Tab. 4 Minimá jednotlivých priblížení ([56]; upravené autorom)

Zariadenie	DH/MDH
ILS/MLS/GLS (CAT I)	200 ft (61 m)
APV/SBAS (LPV)	200 ft (61 m)
NPA GNSS (LNAV)	250 ft (76 m)
APV/Baro (VNAV/LNAV)	250 ft (76 m)
LOC (ILS bez GP), prípadne LOC/DME	250 ft (76 m)
SRA (končiace vo vzdialenosti 0,5 NM)	250 ft (76 m)
SRA (končiace vo vzdialenosti 1 NM)	300 ft (91 m)
SRA (končiace vo vzdialenosti 2 NM alebo viac)	350 ft (107 m)
VOR	300 ft (91 m)
VOR/DME	250 ft (76 m)
NDB	350 ft (107 m)
NDB/DME	300 ft (91 m)

3.1 Vizuálne priblíženie

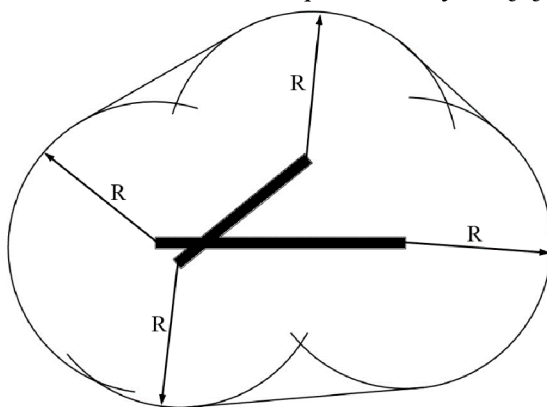
Vizuálne priblíženie, nazývané aj priblíženie za viditeľnosti zeme, je záverečnou časťou letu IFR uskutočňované za stáleho kontaktu so zemou. Pilot môže kdekoľvek behom prístrojového priblíženia na pristátie požiadať o priblíženie na pristátie za viditeľnosti zeme. Odpúta sa teda od rádionavigačných informácií a vedenie lietadla zaisťuje pomocou získavania vizuálnych informácií. Aj napriek faktu, že pilot vyhodnocuje svoju polohu na základe výhľadu z kabíny, stále sa jedná o let IFR. Teda za rozstupy od pozemných prekážok zodpovedá pilot a za rozstupy od ostatnej vzdušnej prevádzky zodpovedá riadiaci ATC. Pilot musí sám uvážiť, či je vhodné na základe danej vzdušnej situácie žiadať o vizuálne priblíženie. V prípade nevyhovujúceho stavu, tzn. že dispečer nebude schopný zaistiť bezpečné rozstupy, mu toto povolenie jednoducho nebude pridelené [55].

Pilot môže požiadať o toto povolenie len v prípade, že sa nachádza už v priestoroch CTR a TMA. Predpokladá sa, že po udelení povolenia pilot zvolí čo najkratšiu spojnicu na zamýšľanú pristávaciu dráhu. Pri nalietavaní by trať priblíženia nemala zvierat' s osou RWY uhol väčší ako $\pm 30^\circ$ a pilot musí zaistiť vzdialenosť od prekážok $MOC = 1\,000\text{ ft}$ (300 m). Táto výška platí do bodu záverečného klesania, pri ktorom si pilot navolí gradient klesania. Ten musí odpovedať rovine zostupu maximálne 10 % pri optimálnej hodnote 5 % [55].

3.2 Priblíženie okruhom

Tento postup priblíženia, Circling Approach alebo tiež Circle to Land, je samostatným druhom priblíženia na pristátie, ktorý je určený predovšetkým k tomu, aby bolo lietadlo privedené na inú dráhu než na ktorú bolo uskutočnené priblíženie. Dôvodom tohto priblíženia je nevhodnosť dráhy na ktorú bolo navedené pomocou prístrojového priblíženia. Táto nevhodnosť dráhy môže byť spôsobená predovšetkým pôsobením nevhodnej zadnej alebo bočnej zložky vetra pôsobiacej voči dráhe, alebo nevhodnosť dráhy ako takej. Toto vedenie musí byť uskutočnené za stáleho kontaktu pilota so zemou a pilot sa orientuje na základe porovnávacej navigácie.

Keďže sa jedná o súčasť letu podľa prístrojov, za rozstupy od ostatnej letovej prevádzky zodpovedá riadiaci letovej prevádzky a za rozstupy od ostatných prekážok zodpovedá veliteľ lietadla. Tento druh priblíženia má vymedzený vlastný ochranný priestor, ktorý je daný schopnosťou manévrovania daného lietadla. To znamená rýchlosti letu v zatáčke pri náklone 25° . Priestor je tvorený kružnicami so stredom na prahu dráhy a v jej ose (Obr. 13).



Obr. 13 Ochranný priestor priblíženia okruhom ([41]; upravené autorom)

Čím je potrebná rýchlosť lietadla väčšia, tým je väčší aj polomer R (Tab. 5). Pilot nesmie tento priestor vymedzený kružnicami počas manévrovania opustiť. Pilot musí taktiež dodržiavať minimálnu výšku nad prekážkami MOC. Vo výške MDA/H (minimálna výška pre klesanie) sa musí rozhodnúť, či prevedie priblíženie okruhom alebo postup nevydareného priblíženia. Priblíženie okruhom sa nepoužíva príliš často a je nutné poznamenať, že sa jedná azda o najnáročnejšie priblíženie na pristátie [41].

Tab. 5 Charakteristiky ochranných pásiem pre jednotlivé kategórie lietadiel [41, 55]

Kategória lietadla	A	B	C	D	E
IAS [km/h]	185	250	335	380	445
R [km]	3,12	4,90	7,85	9,79	12,82
MOC [m]	90	90	120	120	
MDH _{min} [ft]	400	500	600	700	
Minimálna dohľadnosť [m]	1 500	1 600	2 400	3 600	

3.3 Úseky priblíženia

Príletová trať je prvou časťou priblíženia podľa prístrojov, ktorá privádza lietadlo z letovej cesty do bodu počiatočného priblíženia IAF (Initial Approach Fix). Začína spravidla už na letovej ceste v mieste umiestnenia rádionavigačného zariadenia alebo v hlásnom bode REP (Reporting Point). Príletová trať je pridelená lietadlu oblasťou službou riadenia ACC (Area Control Center) a v priebehu letu po príletovej trati je lietadlo koordinované približovacou službou riadenia APP (Approach control service). Tento jediný úsek priblíženia je publikovaný samostatne a to na mapách **STAR** (Standard Terminal Arrival Route). Ostatné úseky sú publikované na približovacích mapách (Instrument Approach Chart) [41, 55].

Ochranný priestor príletovej trate je široký 10 NM a delí sa na primárny a sekundárny. Vnútorňa polovica, siahajúca do vzdialenosti 2,5 NM na obe strany od osi trate, je označovaná ako primárny priestor v ktorom musí byť zabezpečený rozstup od prekážok MOC = 1 000 ft. Zvyšný priestor tvorí sekundárnu časť, v ktorej je MOC = 1 000 ft a smerom k jej hranici sa postupne znižuje na 0 m [41, 55].

Pre plynulý tok letovej prevádzky sú obdobne tvorené postupy aj pre odlety, ktoré sa nazývajú štandardné odletové trate **SID** (Standard Instruments Departure). Táto trať začína v okamžiku vzletu lietadla vo výške 5 m (15 ft) a končí v mieste umiestnenia rádionavigačného zariadenia alebo hlásneho bodu. Pri vytváraní týchto odletových postupov sa musia brať do úvahy predovšetkým terénne prekážky v blízkosti letiska, požiadavky letovej prevádzky pre zaistenie požadovaných rozstupov, hlukové emisie a umiestnenie samotných rádionavigačných zariadení [41].

Úsek počiatočného priblíženía je ďalšou časťou priblíženía, ktorá začína v bode IAF a končí v bode IF (Intermediate Fix). Jej úlohou je priviesť lietadlo z priletovej trate na trať konečného priblíženía, ktorá predstavuje súčet úsekov stredného a konečného priblíženía. Táto trať je dlhá minimálne 5 NM, maximálne 15 NM a lietadlo na nej neprevádza už žiadne zatačky ale len koriguje smer letu (neplatí u RNP AR APCH). Trať počiatočného priblíženía môže byť vytvorená viacerými spôsobmi, napr. radiálom VOR, zameraním NDB, postupom Racetrack, pomocou navigácie výpočtom alebo kombináciou viacerých z nich. Predpis stanovuje základnú požiadavku na uhol zvierajúci medzi posledným smerom počiatočného priblíženía a traťou konečného priblíženía, ktorý musí byť u presných prístrojových priblížení menší než 90° , u priblížení nepresných prístrojových menší než 120° , pričom optimálny uhol je 30° [41, 55]. V priebehu letu v úseku počiatočného priblíženía sú definované maximálne povolené rýchlosti, ktoré sú uvedené v Tab. 6.

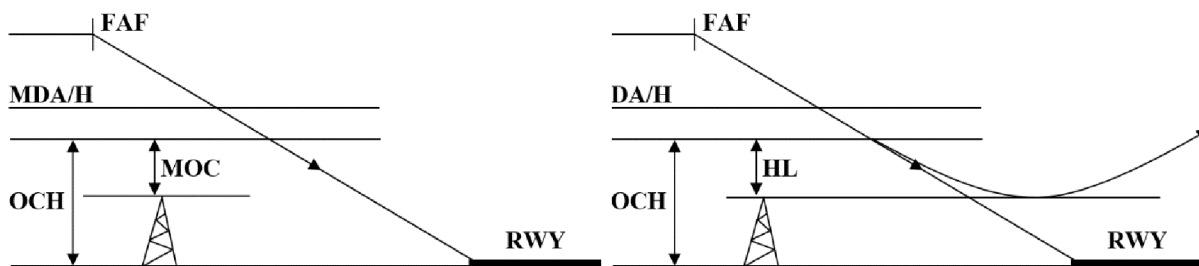
Tab. 6 Maximálne povolené rýchlosti v úseku počiatočného priblíženía [55]

Kategória lietadla	Maximálna rýchlosť
A	150 kt (280 km/h)
B	180 kt (335 km/h)
C	240 kt (445 km/h)
D	250 kt (465 km/h)

Úsek stredného priblíženía predstavuje úsek ohraničený medzi bodmi stredného priblíženía IF a konečného priblíženía FAF (Final Approach Fix). Lietadlo sa už nachádza na spomínanej trati konečného priblíženía a prevádza len smerové korekcie s smere $\pm 15^\circ$. V priebehu letu v úseku konečného priblíženía sa posádka lietadla pripravuje na konečnú fázu letu, tzn. znižovanie rýchlosti a vysunutie vztlakovej mechanizácie a podvozku. Počas letu v strednom úseku lietadlo podlieha riadeniu približovacej služby riadenía APP a po prelete bodu FAF prechádza pod službu riadenía TWR (aerodrome control ToWeR) [41].

Ochranný priestor je opäť rozdelený na primárny a sekundárny, avšak výška MOC je primárnom sektore znížená na 500 ft a v sekundárnom sa znižuje z 500 ft smerom k okraju na 0 ft. Šírka ochranného priestoru sa postupne zužuje, pričom na začiatku v bode IF je široká 10 NM a v bode FAF odpovedá šírke ochranného pásma použitého rádionavigačného približovacieho zariadenía [41].

Úsek konečného priblíženía je konečnou fázou letu, v priebehu ktorej lietadlo klesá na pristátie a v prípade získania požadovaných vizuálnych referencií uskutoční pristátie. V opačnom prípade uskutoční postup nezadreného priblíženía. U priblížení 2D, vedenie len v laterálnej rovine, začína v presne definovanom bode FAF a končí v bode nevydareného priblíženía MAPt (Missed Approach Point). Vzďalenosť bodu FAF nesmie byť väčšia než 10 NM od prahu dráhy. Najväčšia podstata tohto úseku spočíva v klesaní do stanovenej výšky, v ktorej sa pilot rozhodne či bude pokračovať na pristátie alebo uskutoční postup nevydareného pristátia. Pre priblíženía PA je touto výškou výška rozhodnutia DA/H (Obr. 14 napravo) a pre priblíženía NPA minimálna výška pre klesanie MDA/H (Obr. 14 naľavo) [41].

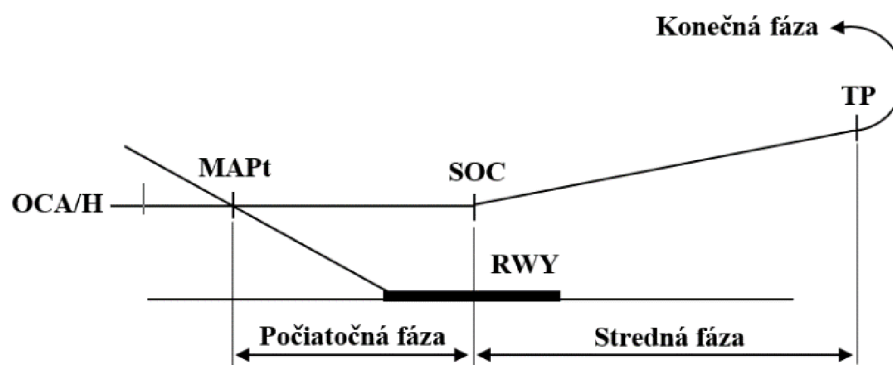


Obr. 14 Minimálna výška pre klesanie (nalavo) a výška rozhodnutia (napravo), [autor]

Úsek nevydareného priblíženia začína v bode MAPt a končí v bode určeným rádionavigačným zariadením. Postup nevydareného pristátia prebieha prechodom z režimu klesania do stúpania, zvyšuje sa výkon motora, znižuje uhol nastavenia vztlakovej mechanizácie a zasúva podvozok. V priebehu vyššie zmienených úkonov, lietadlo stále stráca výšku, poklesá výškový prídavok prevádzkovateľa, ocitne sa v bezpečnej výške nad prekážkami OCH, poklesá výšku HL alebo MOC a lietadlo začne prechádzať z klesania do stúpania. Výška MOC (Minimum Obstacle Clearance) sa používa na vyjadrenie ochrany lietadla od najvyššej prekážky v danom ochrannom priestore. Výška HL (Height Loss) predstavuje výškový dodatok, ktorý sa pripočíta u presného prístrojového priblíženia k prekážke a tým vznikne bezpečná výška nad prekážkami OCA/H. Tento dodatok predstavuje straty spôsobené chybou tlakového výškomeru a vplyvom presadnutia lietadla v prechodovom oblúku pri zmene režimu z klesania do stúpania. Postup nevydareného priblíženia sa nesmie u priblížení PA vykonať pod publikovanou výškou OCA/H a u priblížení NPA pod výškou OCH. Po vykonaní tohto postupu pilot zahájí nové priblíženie, bude vyčkávať vo vyčkávacom obraze alebo poletí na náhradné letisko [41, 55].

Samotný úsek nevydareného priblíženia sa skladá z troch fáz [41] (Obr. 15):

- **Počiatková fáza** – je úsek ohraničený bodmi MAPt a SOC (Start Of Climb), v ktorom lietadlo prechádza z klesania do stúpania,
- **Stredná fáza** – začína v bode SOC a končí v bode TP (Turning Point). V tejto fáze lietadlá stúpa a udržuje priamy smer s maximálnou výchylkou $\pm 15^\circ$. MOC je stanovená na 30 m (100 ft) a minimálny požadovaný gradient stúpania je stanovený na 2,5 %, a to aj v najkritickejšom prípade, napr. vysadenia jedného motora a pod.,
- **Konečná fáza** – začína v bode TP a končí v bode stanovenom rádionavigačným zariadením alebo fixom. V tejto fáze je výška MOC stanovená na 50 m (165 ft).



Obr. 15 Postup nevydareného priblíženia na pristátie [autor]

4 NEPRESNÉ PŘIBLÍŽENIE

Nepresné priblíženie (Non-Precision Approach), je postup priblíženia podľa prístrojov s využitím len smerového (laterálneho) vedenia. Pilotovi je zaistená informácia len o smerovom vedení lietadla, chýba teda spojená informácia o polohe lietadla vo vertikálnej rovine. To znamená, že pilot je schopný v ktoromkoľvek okamihu vyhodnotiť výchylku a korigovať let len v horizontálnej rovine (smere letu), ale nie v zostupovej dráhe. Túto chýbajúcu informáciu o okamžitej vertikálnej polohe nahrádza kontrolou výšky v stanovených bodoch, resp. fixoch. Výška, ktorú pilot „má“ mať v jednotlivých bodoch je publikovaná v približovacích mapách. V priebehu konečného priblíženia, pilot zvolí vertikálnu zostupovú rýchlosť, s ohľadom na publikovanú rovinu zostupu a vplyvu vetra. Čím viac kontrolných bodov bude mať pilot k dispozícii, tým častejšie môže kontrolovať požadovanú výšku zostupu a tým viac sa priblížiť požadovanej rovine klesania. Za body priblíženia považujeme umiestnenie rádionavigačného zariadenia napr. NDB alebo MKR, a za fix priesečník informácií dvoch rádionavigačných zariadení, napr. radiál VOR a vzdialenosť DME [55].

Pilot sa musí pred letom zoznámiť s výškou stredného priblíženia a sklonom zostupovej roviny. Je dôležité podotknúť, že u nepresných prístrojových priblížení sa gradient zostupu udáva v percentách (%) a u presného prístrojového priblíženia v stupňoch (°). Taktiež sa musí zoznámiť s polohou FAF (Final Approach Fix) a jednotlivými výškami, ktoré by mal nadobúdať v jednotlivých fixoch. V neposlednom rade, musí poznať tiež polohu MAPt, minimálnu výšku pre klesanie (MDA/H) a tiež postup v prípade nevydareného priblíženia. Všetky tieto informácie sa nachádzajú na mape priblíženia podľa prístrojov (Instrument Approach Chart) [55]. Je teda zrejmé, že uskutočnenie a priebeh samotného priblíženia na pristátie, závisí na skúsenostiach pilota a predovšetkým na jeho predletovej príprave.

Do kategórie nepresného prístrojového priblíženia radíme [55]:

- priblíženie VOR/DME,
- priblíženie NDB,
- priblíženie ILS bez GP (LLZ ONLY),
- priblíženie SRA.

***Poznámka:** Uvedené priblíženia sú tzv. konvenčné, ako už bolo spomenuté v Kapitole 3. K procedúram NPA tiež zaraďujeme RNP približovacie procedúry, ako LNAV či LP. Tie boli spomenuté v Kapitole 2 a v tejto časti sa nimi autor už zaoberať nebude.*

4.1 Priblíženie VOR/DME

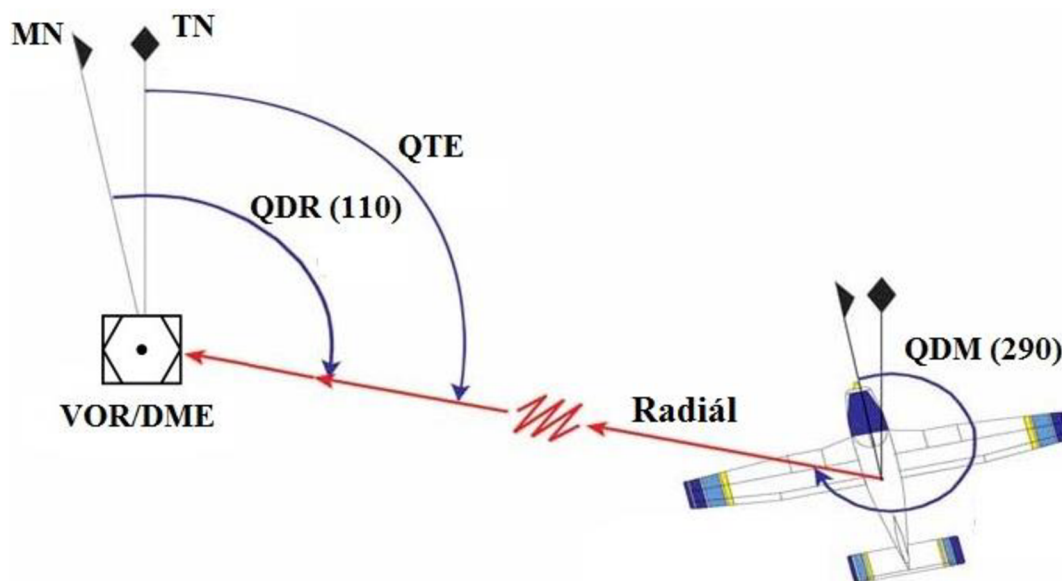
Priblíženie na pristátie podľa VOR/DME radíme medzi nepresné prístrojové priblíženia, pretože pilotovi neposkytuje počas úseku konečného priblíženia spojenú informáciu o jeho výške. Pilot tak priebežne kontroluje svoju polohu v smerovom vedení lietadla, a podľa toho uskutočňuje potrebné korekcie. Kontrolu výšky uskutočňuje na základe výšok, ktoré sú publikované pre jednotlivé fixy počas konečného priblíženia [55]. Všesmerový maják VOR slúži k určeniu smeru letu k letisku a zariadenie DME k určeniu vzdialenosti lietadla od požadovaného letiska.

4.1.1 VOR

Zariadenie VOR (VHF Omni-directional radio range) je všesmerový rádiový maják, ktorého signály umožňujú palubným prijímačom lietadla merať tzv. radiály. Radiály predstavujú spojnice lietadlo – VOR (resp. VOR – lietadlo), na základe ktorých získavame magnetický smerník lietadla QDR, alebo častejšie magnetický smerník rádiového majáku QDM (pozri Obr. 16). Základným typom rádiového majáku VOR je CVOR (Conventional VOR), ktorý disponuje dosahom približne 200 km (108 NM). Jeho modernejšia forma DVOR pracuje na princípe Dopplerovho javu (Doppler VOR), a zaisťuje dosah približne 370 km (200 NM) [42].

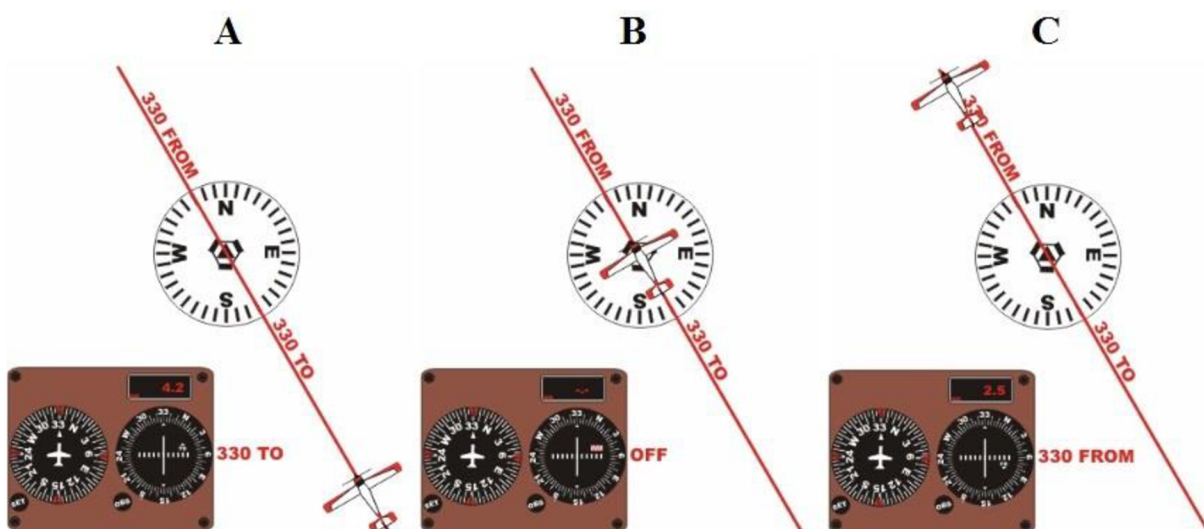
Majáky VOR pracujú na frekvenčnom pásme 108,00–117,95 MHz. Celkovo je možné naladiť 160 kanálov s rozstupom po 50 kHz nasledujúcim spôsobom [42]:

- pásmo 108,00–112,00 MHz využíva VOR spolu s kurzovým majákom LZZ systému presného priblíženia ILS, preto pre majáky VOR sú vyčlenené frekvencie, ktoré majú za desatinnou čiarkou párne (sudé) číslo, tzn. 108,00; 108,05 až 111,85 MHz,
- pásmo 112,00–117,95 MHz je rozdelené na 120 kanálov po 50 kHz (112,00; 112,05 až 117,95).



Obr. 16 Spôsob určenia QDR a QDM ([3]; upravené autorom)

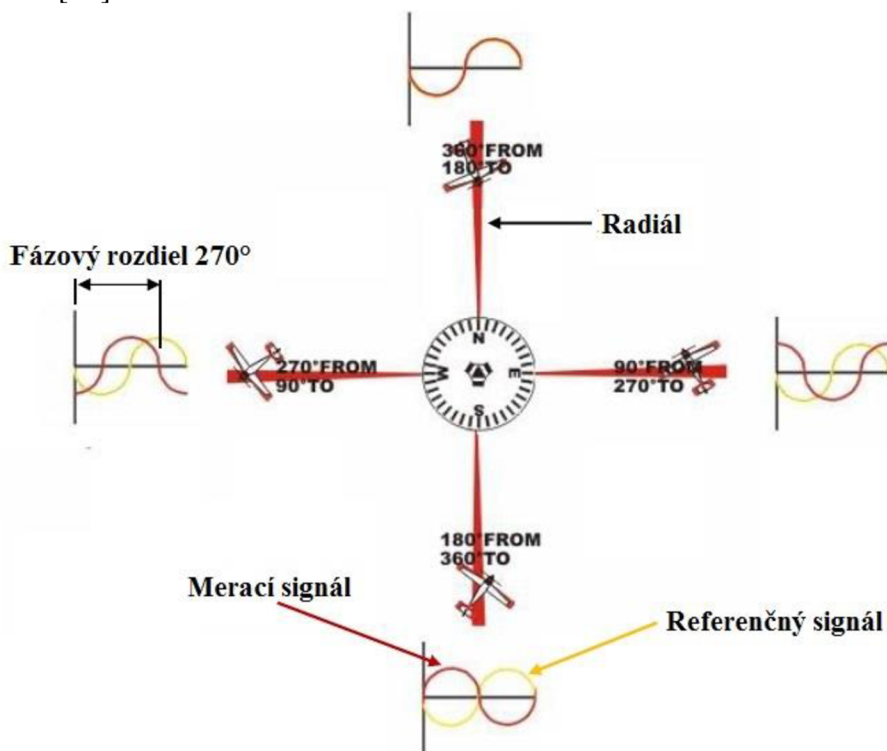
Spôsob navigácie: Pilot zvolí frekvenciu daného majáku VOR, respektíve TVOR (Terminal VOR). Okrem odlišných kanálov, sa využíva pre odlišenie jednotlivých majákov VOR trojpísmenový Morse kód, ktorý je vysielaný najmenej raz za desať sekúnd. Následne pilot koriguje kurz podľa palubného indikátora CDI (Course-Deviation Indicator). V praxi tento indikátor je najčastejšie tvorený kombináciou indikátora VOR a systému presného priblíženia ILS. Smerová odchýlka lietadla, od vybranej spojnice lietadlo – VOR (radiál), sa zobrazuje pomocou zvislého ukazovateľa indikátora VOR. Stupnica ukazovateľa je rozdelená „bodkami“, pričom vzdialenosť medzi dvoma „bodkami“ predstavuje smerovú odchýlku 2°[42].



Obr. 17 Princíp navigácie VOR [10]

Okrem smerovej odchýlky, indikátor zobrazuje polohu lietadla na radiále smerom k majáku „TO“ (Obr. 17A), alebo smer letu od majáku „FROM“ (Obr. 17C). V prípade, že na vstupe prijímača nie je žiadny signál alebo je signál slabý, objaví sa nápis „OFF“ (Obr. 17B) [42].

Princíp činnosti VOR: Pozemný vysielateľ rádiového majáku VOR je tvorený dvoma druhmi antén. Prvou je všesmerová anténa s kruhovou vyžarovacou charakteristikou, ktorá vysielala referenčný signál. Druhou je anténa smerová, ktorej vyžarovacia charakteristika má tvar „osmičky“, a vysielala tzv. merací signál. Princíp rádiového majáku VOR (Obr. 18) spočíva v meraní rozdielu fáz referenčného a meracieho signálu. Rozdiel týchto dvoch fáz je číselnou hodnotou radiálu. Nulový rozdiel fáz smeruje do smeru magnetického severu v mieste umiestnenia majáku VOR [42].



Obr. 18 Princíp činnosti majáku VOR ([10]; upravené autorom)

Druhy majákov VOR [42]:

- **CVOR** (Conventional VOR) - pôvodná (základná) verzia,
- **DVOR** - vylepšená verzia založená na princípe Dopplerovho javu,
- **BVOR** (Broadcast VOR) - verzia vysielajúca medzi medzerami jednotlivých signálov informácie o letisku a počasi,
- **TVOR** (Terminal VOR) - maják umiestnení na veľkých letiskách,
- **VOT** (VOR airborne equipment Test facility) – nevyužíva sa k navigácii ale jeho vysielané signály slúžia ku kontrole palubného vybavenia,
- **VORTAC** – spoločné umiestnenie majáku VOR a systému TACAN.

DVOR: Doppler VOR, je vylepšenou verziou majáku VOR, ktorý využíva rozličný princíp prenosu referenčného a meracieho signálu na palubu lietadla. Tento fakt neovplyvňuje funkciu palubného prijímača, ktorý prakticky nerozozná či prijíma signál od majáku DVOR alebo CVOR. Vysielanie signálu majákom DVOR výrazne znižuje vplyv nežiadúcich javov, ako napríklad chyby spôsobené okolitým terénom, a tým podstatným spôsobom prispieva k zväčšeniu prevádzkového dosahu majáka [42]. Základné porovnanie majákov CVOR a DVOR je uvedené v Tab. 7.

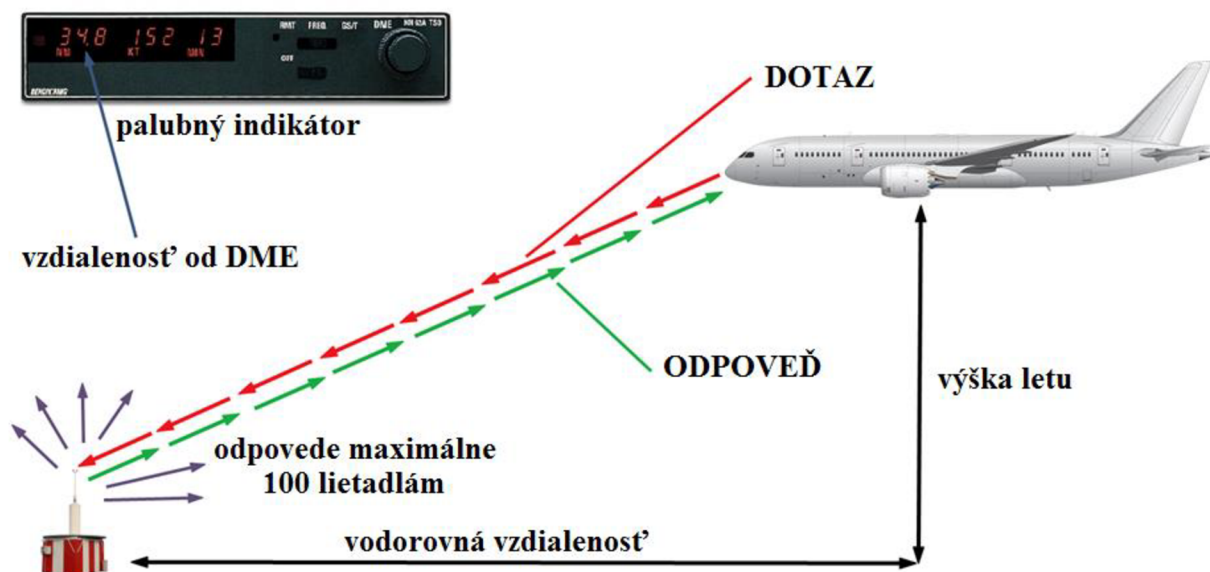
Tab. 7 Základné výkonnostné charakteristiky majákov CVOR a DVOR [42]

	Dosah	Presnosť
CVOR	200 km (108 NM)	2-5°
DVOR	370 km (200 NM)	1-2°

Obmedzenia majákov VOR: Aby sa vylúčila možnosť interferencie signálov dvoch majákov VOR pracujúcich na blízkych frekvenčných kanáloch, musia byť takéto stanice umiestnené od seba minimálne 100 NM (185 km). Súčasne sa definujú tzv. zaručené prevádzkové dosahy jednotlivých majákov DOC (Designated Operational Coverage). Údaje o DOC sú uvádzané v AIPoch. Ďalší prevádzkový problém spôsobuje oblasť tzv. „hluchého kužeľa“. Táto oblasť bez signálu má tvar kužeľa a nachádza sa priamo nad umiestnením stanice VOR. Šírka tohto kužeľa býva prevažne 20° až 30°, avšak môže byť široký až 100°. V neposlednom rade, na prevádzku VOR majú vplyv tiež nerovnosti terénu, stromy i vysoká tráva v blízkosti umiestnenia vysieláča [42].

4.1.2 DME

DME (Distance – Measuring Equipment) je zariadenie, ktoré umožňuje spojitú meranie šikmej vzdialenosti lietadla voči pozemnému zariadeniu DME. Tento dialkomer je založený na princípe sekundárneho radaru (SSR). Palubné zariadenie DME vysiela špeciálny signál, nazývaný DOTAZ, smerom k pozemnej časti DME. Po prijatí a identifikovaní signálu sa spúšťa odpovedač, ktorý po umelom zdržaní o dĺžke 50 μ s vyšle na inom kanále ODPOVEĎ v tvare dvojimpulzového kódu. Palubné zariadenie na základe času, ktorý uplynul medzi odoslaním a prijatím signálu, určí hodnotu šikmej vzdialenosti. Jednoduchá schéma činnosti DME je znázornená na Obr. 19. Hodnota šikmej vzdialenosti sa bude približovať hodnote vodorovnej vzdialenosti tým viac, čím ďalej sa bude lietadlo od pozemnej časti DME nachádzať. Preto v blízkosti je nutné túto vzdialenosť prepočítať podľa Pytagorovej vety [42].



Obr. 19 Princíp činnosti DME [autor]

Zariadenie DME pracuje v pásme UFH (Ultra-Height Frequency) vo frekvenčnom rozmedzí 962–1 213 MHz. Tento interval je rozdelený do 252 kanálov s rozstupom 1 MHz. Pre signály DOTAZ a ODPOVEĎ sú potrebné súčasne dva kanály, ktoré musia byť párované a líšia sa od seba frekvenčným rozdielom 63 MHz. Kanály určené pre signály DOTAZ sú označené 1–126X, s intervalom medzi dvoma impulzmi 12 μ s, a kanály pre signály ODPOVEĎ 1–126Y, u ktorých trvá interval medzi dvoma impulzmi 36 μ s. Identifikačný signál odpovedača je vysielaný v tempe 4 krát za 30 sekúnd zvyčajne spolu s identifikačným signálom VOR. Signál DME je v tomto prípade odlišený od VOR vyšším tónom, avšak kvôli párovaniu stačí naladiť VOR a príslušný DME je ladený automaticky [42].

Systém DME dokáže súčasne pracovať maximálne so sto lietadlami, pričom jednotlivé dotazy musia byť od seba odlišené, aby bola ODPOVEĎ zaslaná len danému dotazovanému lietadlu. Táto odlišnosť je zaistená rytmickým odlišením jednotlivých DOTAZov, ktorých rytmus je určovaný náhodne, alebo na základe zvolených pseudonáhodných procesov. V prípade, že sa v dosahu DME nachádza viac lietadiel než odpovedá kapacita odpovedača, odpovedač DME automaticky zníži citlivosť príjmu a bude odpovedať len „bližším“ lietadlám [42].

Dosah DME pri ideálnych podmienkach môže dosahovať až 200 NM. Chyba merania vzdialenosti u zariadení DME/N (Navigation DME) nesmie v 95 % prípadoch prekročiť hodnotu $\pm 0,2$ NM, resp. u starších zariadení $\pm 0,2$ NM + 1,25 % z nameranej vzdialenosti. U systémov DME/P (Precise DME), ktoré sú použité v systémoch presného priblíženia na pristátie, nesmie táto chyba byť väčšia než 200 m (v súčasnosti častejšie ± 30 m). Celková chyba merania môže byť spôsobená vplyvom obvodov palubnej alebo pozemnej časti, poruchami v troposfére, možnými interferenciami so signálmi s malými frekvenčnými odstupmi alebo narušením priamej rádiovnej viditeľnosti medzi palubnou a pozemnou časťou, tzn. vplyvom terénnych nerovností v malých výškach [42].

Zhodnotenie: Takmer všetky prístrojové letiská v súčasnej dobe disponujú približovacími procedúrami VOR/DME. Celkovou snahou je však minimalizovať konvenčné rádionavigačné prostriedky a prechádzať na nové perspektívne procedúry, predovšetkým tak PBN. ICAO navigačný plán [29] poukazuje na postupné odstraňovanie konvenčných navigačných zariadení, ku ktorému by malo dôjsť postupne od roku 2024. S meračmi šikmej vzdialenosti DME je situácia však diametrálne odlišná. Ich počet sa má optimalizovať podľa potreby, predovšetkým tak pre podporu koncepcie PBN. Netreba zabúdať ani na skutočnosť, že kombinácia zariadení DME/DME tvorí v mnohých oblastiach TMA značnú podporu RNAV navigácie. Vo všeobecnosti sa počíta so zariadeniami DME minimálne do roku 2030.

4.2 Priblíženie NDB

NDB (Non-Direction Beacon) je nesmerový maják, pre ktorého vysielanie je vyhradené frekvenčné pásmo 190–1 750 kHz. Civilné NDB vysielajú predovšetkým na frekvenciách v rozmedzí 250–450 kHz. Princíp spočíva v zameraní daného rádiomajáku pomocou palubného prijímača ADF (Automatic Direction Finder) [42]. Majáky sú umiestnené predovšetkým v bode IAF a uľahčujú tak lokáciu daného letiska. Okrem vyznačenia bodu IAF sa využívajú napríklad aj na vyznačenie bodov pre vyčkávanie.

Je treba poznamenať, že sa jedná o jedno z najmenej presných priblížení a odpovedá tomu aj ochranný priestor. Vysielanie je ovplyvňované mnohými faktormi a celková presnosť zamerania je charakterizovaná najčastejšie chybou 5° pre 95 % doby letu [42].

Zhodnotenie: Tento druh nepresného prístrojového priblíženia je jedným z najstarších. Po celom svete je stále veľké množstvo týchto rádiomajákov, avšak pre ich technickú i morálnu zastaranosť nedochádza k ich ďalšej implementácii. Koncepcia PBN vôbec nezahŕňa použitie procedúr priblíženia NDB a taktiež v ČR sa plánuje ich postupné úplne odstavenie. Na druhej strane, pre svoju jednoduchosť si nachádza stále svojich priaznivcov a približovacie procedúry PBN sú stále publikované, napr. aj u letiska Praha-Ruzyně. Napriek tomu nedochádza k obnove týchto nesmerových rádiomajákov a s úplným odstraňovaním sa počíta približne od roku 2024, podobne ako u všesmerových rádiomajákov VOR.

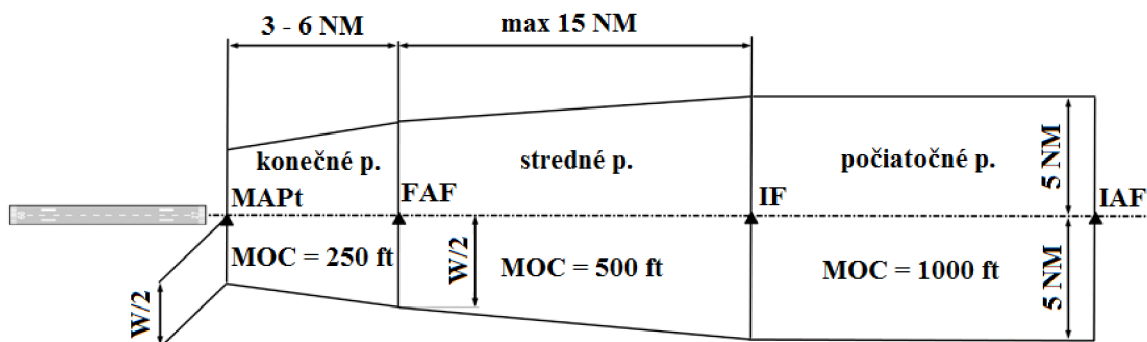
4.3 Priblíženie ILS bez GP

V prípade, že u systému ILS (pozri 6.1) je zostupový maják GP mimo prevádzky, to znamená že nie je dostupná zostupová rovina, stáva sa ILS zariadením pre nepresné prístrojové priblíženie (ILS GP INOP). Existujú však aj letiská, u ktorých bola zástavba ILS plánovaná už od začiatku bez GP. Na týchto letiskách sú postupy ILS vypracované ako postupy pre NPA a priblíženie sa nazýva LLZ ONLY. V týchto prípadoch je chýbajúca informácia o výškovej polohe nahradená pomocou fixov (publikácie), informácie z tabuliek, prípadne výpočtom [55].

Zhodnotenie: V súčasnosti sa už takmer vôbec nestretáme s plánovaním implementácie systému ILS bez možnosti tvorby zostupovej roviny. Implementáciou približovacích procedúr LP koncepcie PBN dosiahnu prevádzkovatelia rovnaké výkonnostné vlastnosti bez nutnosti akejkoľvek zástavby do letísk. Pri implementácii procedúr LPV získame navyše vedenie vo vertikálnej rovine a získavame presnosť presného priblíženia bez nutnosti pozemnej zástavby.

4.4 Priblíženie SRA

Priblíženie prehľadovým radarom (Surveillance Radar Approach), je druhom prístrojového priblíženia, u ktorého je použitý prehľadový radar SRE (Surveillance Radar Equipment). Toto priblíženie sa vyznačuje hlavne tým, že riadiaci letovej prevádzky vyhodnocuje polohu lietadla na trati konečného priblíženia. Pilot následne podľa pokynov upravuje let v smere konečného priblíženia. Priblíženie SRA je z pomedzi všetkých NPA priblížení najmenej presným a tomu aj odpovedá šírka ochranného pásma. Toto priblíženie končí vo vzdialenosti 0,5-2 NM pred prahom dráhy a to z dôvodu, aby mal pilot dostatok času pre záverečný pristávací manéver [55].



Obr. 20 Úseky priblíženia prehľadovým radarom ([55]; upravené autorom)

Poznámka: Skratka p. na Obr. 20 predstavuje priblíženie.

Na rozdiel od priblíženia PAR (pozri 6.3), u priblíženia SRA zodpovedá za rozstup od prekážok pilot a nie riadiaci letovej prevádzky [55].

Na Obr. 20 sú znázornené úseky priblíženia podľa SRA, pričom šírka ochranného priestoru v bode FAF a MAPt sa stanovuje na základe vzdialenosti antény radaru od FAF:

$$\frac{W}{2} = 1,0 + 0,1 \cdot D \text{ (NM)} \quad (1)$$

Kde: W – šírka ochranného pásma v bode FAF a MAPt,
 D – vzdialenosť antény radaru k bodu FAF, resp. MAPt.

Aby bolo lietadlo privedené na trať konečného priblíženia, využíva sa radarové vektorovanie, v priebehu ktorého pilot dostane povolenie od riadiaceho letovej prevádzky: „priblíženie prehľadovým radarom“. To v sebe zahŕňa povolenie klesať do výšky stredného priblíženia. Počas stredného a konečného priblíženia pilot dostáva informácie pre smerové vedenie, a pilot podľa toho uskutočňuje zmeny kurzu. Súčasne riadiaci letovej prevádzky podáva informácie o vzdialenosti lietadla od bodu dotyku a výškach, v ktorých by sa malo lietadlo v dané vzdialenosti nachádzať [55].

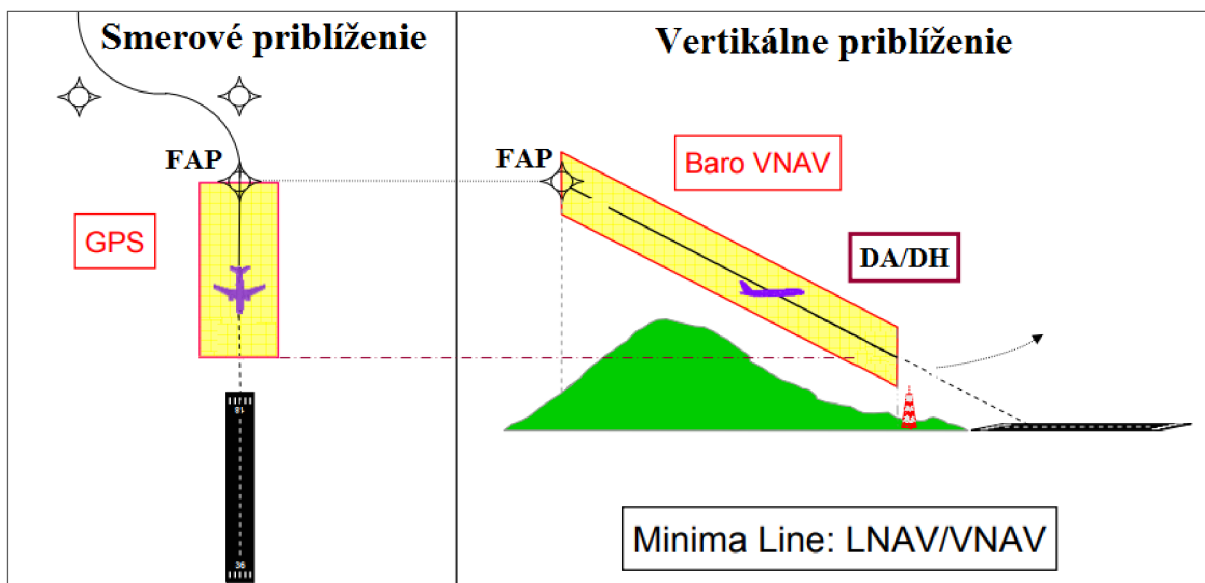
Zhodnotenie: Z pomedzi všetkých nepresných prístrojových priblížení je priblíženie prehľadovým radarom najmenej presné. V dôsledku dostupnosti ostatných približovacích procedúr sa tento spôsob priblíženia používa čo najmenej, napríklad pri núdzových situáciách. Výhoda spočíva v skutočnosti, že na každé riadené letisko môže byť privedené lietadlo touto procedúrou.

5 PŘIBLÍŽENIE S VERTIKÁLNYM VEDENÍM

Priblíženie s vertikálnym vedením APV (Approach Procedure with Vertical guidance) je prístrojové priblíženie, ktoré poskytuje smerové aj vertikálne vedenie, avšak nespĺňa požiadavky pre presné prístrojové priblíženie (s výnimkou LPV-200). Existujú dva základné priblíženia s vertikálnym vedením, APV/SBAS a APV/Baro. Líšia sa od seba v použití odlišných senzorov pre získavanie informácie o vertikálnej polohe. Oba postupy sú postupmi RNAV, čo znamená, že využívajú palubný počítač k stanoveniu zostupovej roviny a nie sú tak závislé od pozemných rádionavigačných zariadení.

5.1 APV/Baro

Je priblíženie podľa prístrojov, u ktorého je smerové vedenie zaistené pomocou údajov z globálnych družicových polohových systémov GNSS (napr. GPS). Vertikálne vedenie je umožnené na základe údajov poskytovaných palubným barometrickým výškomerom. Lietadlo využívajúce priblíženie APV/Baro musí byť vybavené palubným počítačom FMS alebo iným systémom, ktorý je schopný vypočítať vertikálny uhol zostupovej dráhy VPA (Vertical Path Angle), a zobrazíť následné výchylky od stanovenej osi na indikátore. Využitím tohto priblíženia pilot nemusí mať dráhu na dohľad až do výšky 75 m (246 ft). K použitiu tohto priblíženia musí byť zaistená špecifikácia RNP 0,3 alebo nižšia [20, 28]. Zjednodušená schéma priblíženia podľa APV/Baro je zobrazená na Obr. 21.



Obr. 21 Priblíženie APV/Baro ([20]; upravené autorom)

Okrem označenia APV/Baro sa čitateľ môže stretnúť tiež s označením napr. Baro-VNAV, ktoré označuje navigáciu vo vertikálnej rovine (VNAV) založenú na informáciách z barometrického výškomera (Baro). Vo všeobecnosti sa nazýva tiež aj barometrická vertikálna navigácia [55]. Na približovacích mapách sa minimálna výška označuje ako LNAV/VNAV.

Poznámka: Na obr. 21 je pre bod označujúci začiatok konečného priblíženia použitý pojem FAP (Final Approach Point). U priblížení 3D sa používa práve pojem FAP a u priblížení 2D pojem FAF (Final Approach Fix), ktorý musí mať presne definovanú geografickú polohu.

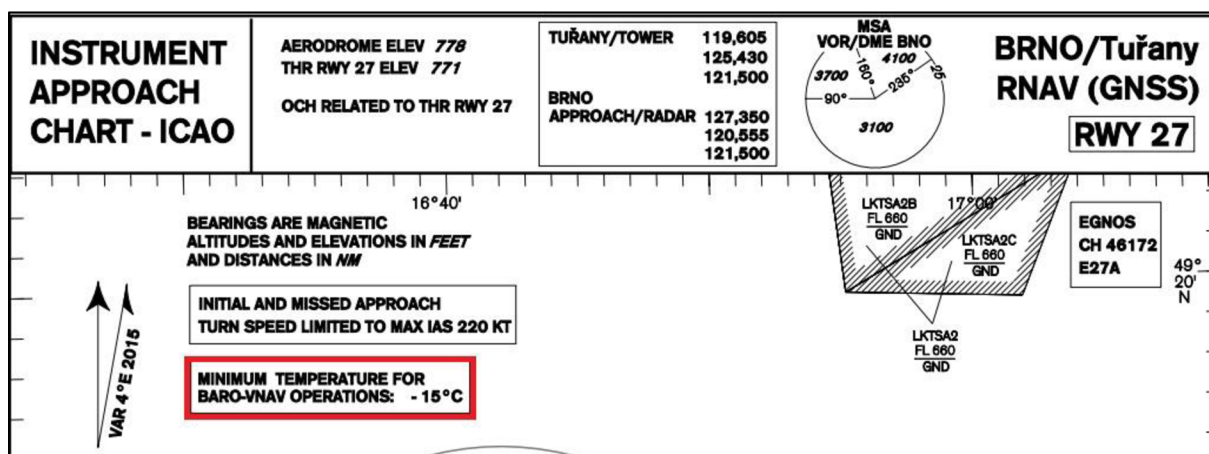
Požiadavky na presnosť: Presnosť systému APV/Baro je charakterizovaná celkovou systémovou chybou TSE [9]:

- V horizontálnej rovine:
 - a) ± 1 NM pre 95 % letu v priebehu počiatočného a stredného priblíženia, prípadne v priebehu postupu pre nevydarené priblíženie,
 - b) $\pm 0,3$ NM pre 95 % letu v priebehu konečného priblíženia na prístátie.
- Požiadavky na presnosť vo vertikálnej rovine sú uvedené v nasledujúcej tabuľke (Tab. 8).

Tab. 8 Požiadavky na presnosť vo vertikálnej rovine systému APV/Baro [9]

Celkový systémová chyba	199 ft (60 m)	238 ft (73 M)	296 ft (90 m)
Výška nad hladinou mora	$\leq 5\,000$ ft (1524 m)	5 000–10 000 (1 524–3 048 m)	10 000–15 000 (3 048–4 572 m)

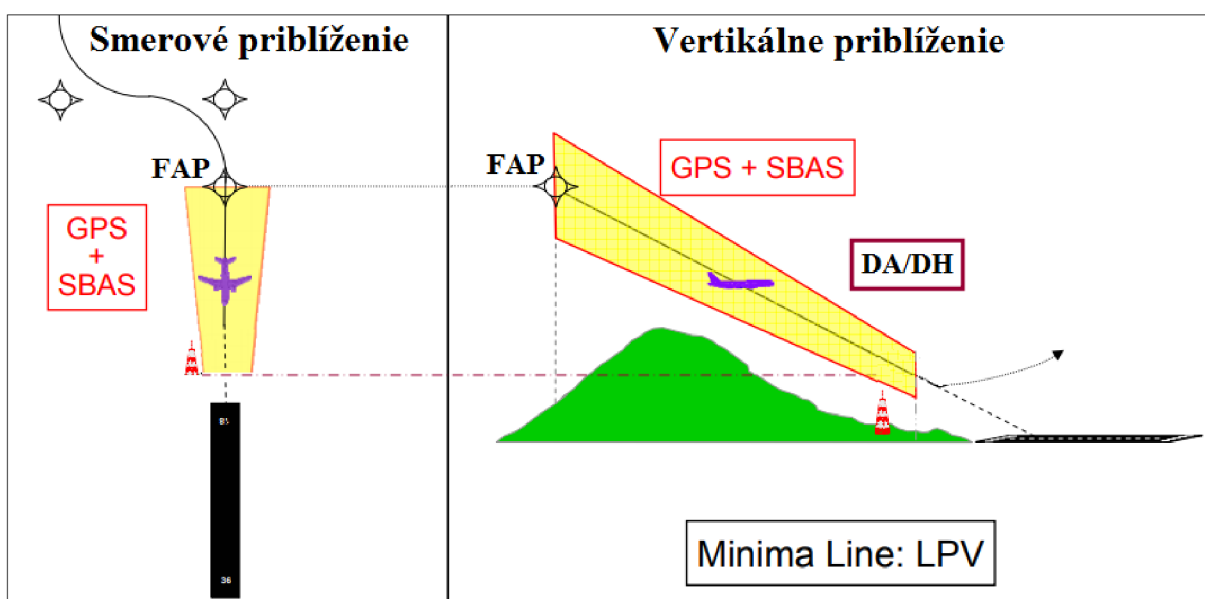
Teplotné obmedzenie: Pri využívaní procedúr APV/Baro v priebehu priblíženia na prístátie, treba dávať veľký pozor na teplotu v okolí letiska priblíženia. Uhol zostupovej trajektórie sa značne mení s teplotou. Pri vyšších teplotách je uhol zostupovej trajektórie vyšší než uhol pri podmienkach štandardnej atmosféry (+15 °C). V praxi to znamená, že lietadlo je vo vyššej výške, než indikuje barometrický výškomer. Pri teplotách nižších je tento zostupový uhol naopak nižší. Tento fakt podstatne vplyva na celkovú bezpečnosť v priebehu priblíženia v dôsledku možnosti zníženia minimálnej výšky nad prekážkami. Závislosť zmeny uhlu zostupovej dráhy v závislosti na teplote je uvedená v Prílohe 3 (Tab. 26). Kvôli vplyvu teploty na uhol zostupovej trajektórie, sú pre procedúry prístrojového priblíženia publikované minimálne teploty pre použitie procedúry Baro-VNAV. Tieto obmedzenia sú publikované v približovacích mapách jednotlivých letísk (Obr. 22). Ak teplota klesne pod minimálnu teplotu, použitie priblíženia APV/Baro nie je povolené. Výnimku tvoria lietadlá vybavené barometrickými výškomermi s automatickou korekciou [28]. Hodnoty, ktoré sú používané ako korekcie, sú uvedené v Prílohe 3 (Tab. 27 a Tab. 28).



Obr. 22 Příklad značení minimální teploty pro použitelnost APV/Baro [52]

5.2 APV/SBAS

U tohto druhu priblíženia s vertikálnym vedením je zaistené smerové, ale i vertikálne vedenie prostredníctvom globálnych družicových polohových systémov v kombinácii s ich rozširujúcim systémom SBAS. V porovnaní so systémom Baro-VNAV, je uhol zostupovej trajektórie definovaný, nie vypočítaný. Celkový zostupový profil je uložený v databáze konečného úseku priblíženia FAS DB (Final Approach Segment Data Block). Užívateľ si tak môže navoliť zostupovú trajektóriu z databázy, pričom najbežnejšia hodnota uhlu zostupovej trajektórie je 3° [32]. Zjednodušený princíp priebehu priblíženia na pristátie pomocou APV/SBAS je znázornený na Obr. 23.



Obr. 23 Priblíženie APV/SBAS ([20]; upravené autorom)

Poznámka: Jednotlivé rozširujúce (augmentačné) systémy globálnych družicových polohových systémov sú podrobnejšie popísané v Kapitole 7, v časti: Augmentačné systémy.

Tab. 9 Výkonnosť APV/SBAS [44]

APV SBAS	Horizontálna presnosť v 95 %	Vertikálna presnosť v 95 %	Integrita	Kontinuita	Dostupnosť	HAL	VAL
APV-I	16 m (52 ft).	20 m (66 ft)	$1-2 \times 10^{-7}$ každé na priblíženie	$1-8 \times 10^{-6}$ za 15 s	0,99 až 0,99999	40 m (130 ft)	50 m (164 ft)
APV-II	16 m (52 ft)	8 m (26 ft)	$1-2 \times 10^{-7}$ na každé priblíženie	$1-8 \times 10^{-6}$ za 15 s	0,99 až 0,99999	40 m (130 ft)	20 m (66 ft)
CAT I	16 m (52 ft)	6 až 4 m (20 až 13 ft)	$1-2 \times 10^{-7}$ na každé priblíženie	$1-8 \times 10^{-6}$ za 15 s	0,99 až 0,99999	40 m (130 ft)	35 až 10 m (115 až 33 ft)

Poznámka: Termíny HAL a VAL uvedené v Tab. 9 označujú limity horizontálnej a vertikálnej výstrahy. Ich podrobnejšie vysvetlenie je uvedené v Kapitole 7 v časti: Výkony systému GBAS.

Výkonnosť: Požadovaná výkonnosť systému APV/SBAS je zhrnutá v Tab. 9. Termíny APV- I a APV-II popisujú dve úrovne priblíženia na pristátie, no v praxi sa nepoužívajú. Približovacie procedúry APV pre CAT I dosahujú zrovnateľnú presnosť určenia polohy lietadla s presnosťou lokalizéru systému ILS, preto sa čitateľ s týmto priblížením stretne predovšetkým pod názvom LPV (Localizer Performance with Vertical guidance).

LPV-200: V samých začiatkoch využívania procedúr APV/SBAS bolo umožnené privedenie lietadla do výšky rozhodnutia (DA/DH) 250 ft. Veľkým prelomom bolo preukázanie systémom LPV-200 schopnosť priviesť lietadlo až do výšky rozhodnutia 200 ft. Tento systém využíva európsky augmentačný systém EGNOS. Pilot tak nemusí vidieť dráhu letiska až do tejto výšky. Táto skutočnosť prináša so sebou celé množstvo výhod. Umožňuje uskutočniť priblíženie na pristátie za zhoršených poveternostných podmienok, tým pádom znižuje počet odklonených letov, čo priamo súvisí s redukciou spotreby paliva, znížením nákladov a v neposlednom rade i znížením celkového vplyvu na životné prostredie. Systém LPV-200 spadá do koncepcie PBN a v súčasnosti je mnohými považovaný za najlepšie a najbezpečnejšie riešenie pre letiská nedisponujúce vybavením pre presné priblíženie [27]. Jeho výkonnosť je uvedená v Tab. 10 a príklad zaistenia vertikálnej presnosti systémom EGNOS v Prílohe 5 (Obr. 56).

Tab. 10 Výkonnosť približovacej procedúry LPV-200 [14]

Horizontálna presnosť v 95 %	Vertikálna presnosť v 95 %	Integrita	Kontinuita	TTA	Dostupnosť
3 m	4 m	$1-2 \times 10^{-7}$ na každé priblíženie	$1-5 \times 10^{-4}$ za 15 s	Menej než 6 s	0,99 až 0,99999

Poznámka: Údaj TTA uvedený v Tab. 10 udáva hodnotu času, do akého musí byť posádka informovaná o chybe systému alebo jeho nedostupnosti (Time To Alert).

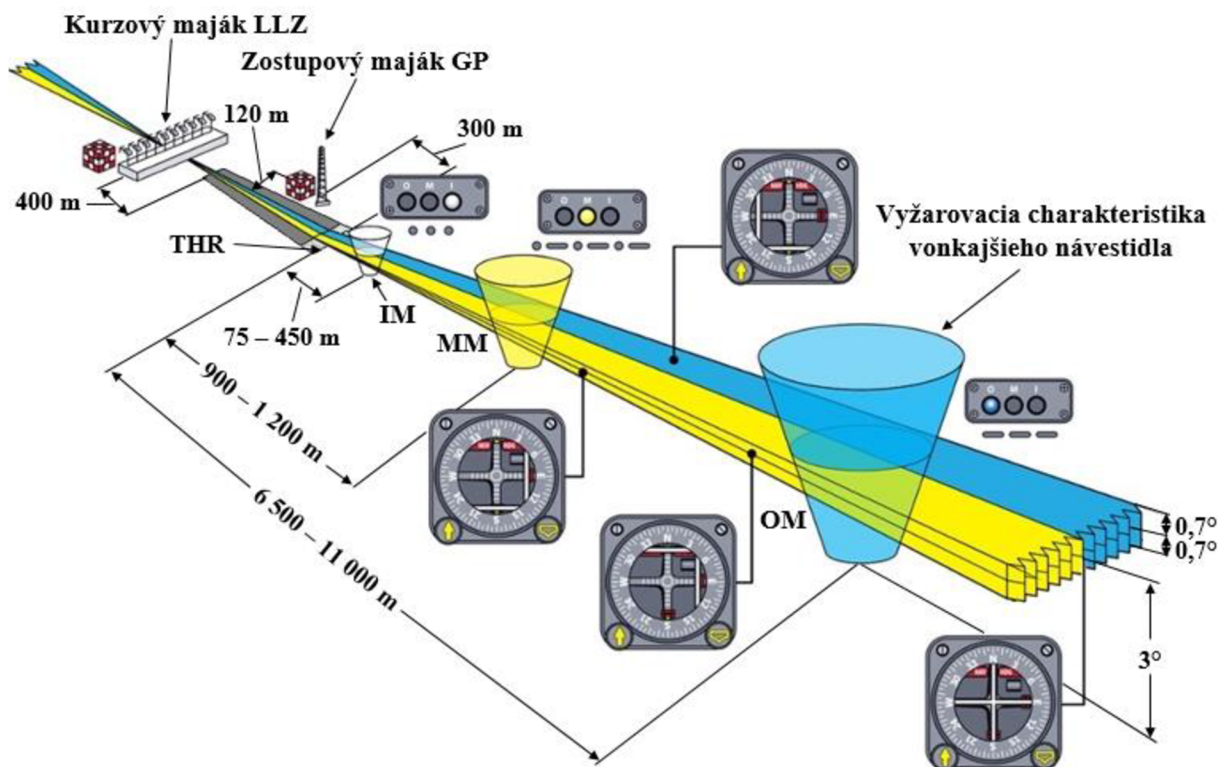
Zhodnotenie: U systému LPV-200 je nutné čitateľovi ozrejmiť podobnosť so systémom presného priblíženia ILS pre CAT I. V oboch prípadoch je možné zaistenie výšky rozhodnutia 200 ft. Avšak medzi oboma systémami je podstatný rozdiel. U systému LPV a všeobecne u procedúr APV, letisko nemusí byť vybavené žiadnymi špecifickými zariadeniami. Naproti tomu, u systémov ILS musí byť letisko opatrené príslušnými rádionavigačnými zariadeniami, ktoré sú podrobnejšie popísané v nasledujúcej kapitole. Implementácia týchto rádionavigačných zariadení je pomerne nákladná a nemalé náklady sú spojené s ich prevádzkou, kalibráciou i certifikáciou. Z uvedených dôvodov je zřejmé, že prevádzkovatelia letísk nemajú v súčasnosti väčšiu potrebu zavádzania systémov presného priblíženia ILS pre CAT I. Veľkú budúcnosť tak majú procedúry APV, predovšetkým LPV-200, ktorý v porovnaní s Baro- VNAV nie je limitovaný teplotnými obmedzeniami a v neposlednom rade umožňuje aj voľbu ľubovoľného uhlu zostupovej trajektórie.

6 PRESNÉ PRIBLIŽENIE

Presné priblíženie (Precision Approach) je druhom priblíženia na pristátie, pri ktorom je lietadlu poskytované kontinuálne (spojité) vedenie v horizontálnom aj vertikálnom smere. Posádke lietadla je teda poskytovaná okamžitá informácie o polohe lietadla voči stanovenej trati konečného priblíženia alebo jej polohy voči zostupovej rovine. Z tohto dôvodu posádka dokáže okamžite uskutočňovať korekcie letu a viesť tak lietadlo presne na zostupovej rovine i v ose dráhy [55].

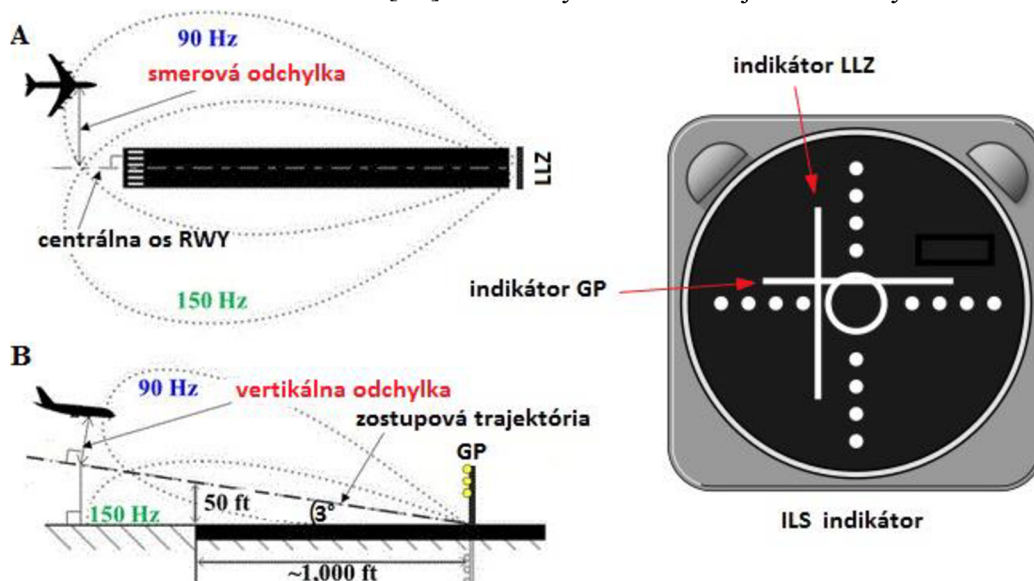
6.1 ILS

Instrument Landing System, je jedným z najpoužívanějších zariadení pre presné priblíženie na pristátie, a to predovšetkým za podmienok zníženej dohľadnosti. Samotný systém má už takmer osemdesiat rokov, pričom jeho prvé komerčné využitie sa uskutočnilo v roku 1939. Jeho hlavná výhoda spočíva v poskytovaní presnej informácie o okamžitej polohe lietadla vzhľadom k vopred stanovenej (referenčnej) trajektórii. Táto trajektória je vytvorená v sektore vyžarovania elektromagnetickej energie pomocou dvoch rádiových majákov, kurzového majáku LLZ (Localizer) a zostupového majáku GP (Glide Path beacon). Umiestnenie rádiových majákov je znázornené na Obr. 24. Informácia o vzdialenosti lietadla od bodu dotyku dosadnutia je poskytovaná buď pomocou okamžiku preletu nad polohovými návestidlami (markermi), alebo v novšej verzii pomocou merača šikmej vzdialenosti DME. Zavedením zariadenia DME do systému ILS získavame nielen informáciu o okamžitej polohe lietadla voči bodu dotyku, ale taktiež aj informáciu o rýchlosti lietadla v priebehu priblíženia [39, 58].



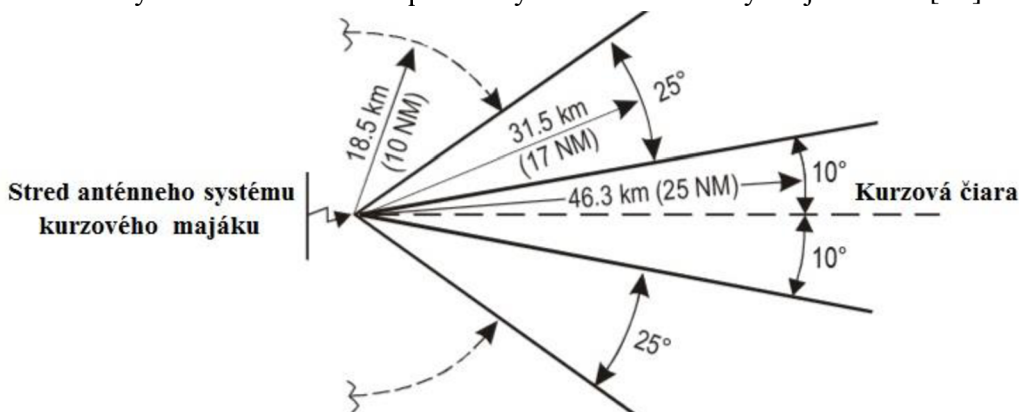
Obr. 24 Schéma systému ILS ([48]; upravené autorom)

Kurzový maják (Localizer) je smerovým rádiovým majákom, ktorého smerovú vyžarovaciu charakteristiku tvoria dva zväzky elektromagnetickej energie. Frekvencia nosného signálu je pre oba zväzky rovnaká, avšak oba sú modulované rozličnou amplitúdovou moduláciou. Zväzok, ktorý je z pohľadu pilota voči pozdĺžnej ose RWY napravo, je modulovaný signálom o frekvencii 150 Hz. Zväzok naľavo od osi RWY je modulovaný signálom 90 Hz. Princíp určovania polohy lietadla voči zvolenej trajektórii spočíva v rozdiel hĺbok modulácií týchto dvoch zväzkov. To znamená, pokiaľ sa nachádza lietadlo v priebehu priblíženia napravo od referenčnej trajektórie, prevláda signál zväzku o frekvencii 150 Hz a indikátor LLZ na palube lietadla sa nachádza napravo od stredu indikátora ILS. Pilot tak musí letieť „viac vľavo“. V prípade, že sa lietadlo nachádza „viac vľavo“, princíp je rovnaký. V prípade, že lietadlo letí v referenčnej trajektórii, rozdiel modulácií zväzkov je nulový a indikátor LLZ sa nachádza v strede indikátora ILS [58]. Pracovný rozsah LLZ je zobrazený na Obr. 26.



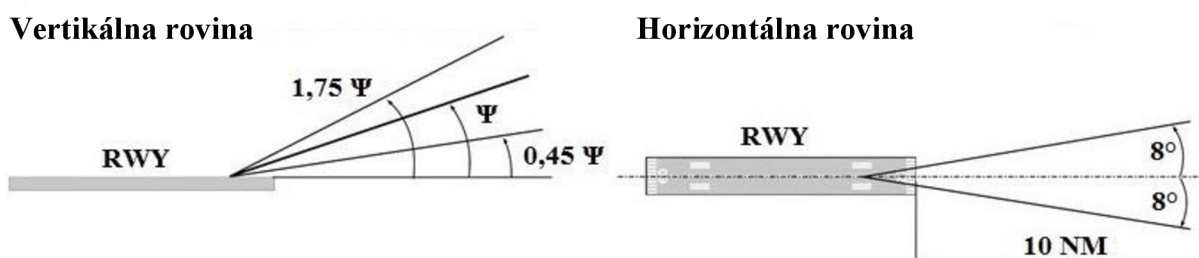
Obr. 25 Princíp určovania polohy lietadla systémom ILS ([50]; upravené autorom)

Tento princíp je zjednodušene zobrazený na Obr. 25A. Z obrázka je zrejmé, že aby lietadlo letelo po zvolenej referenčnej trajektórii, musí pilot letieť „doprava“ a „dole“. Nosná vlna LLZ je vysielaná v pásme VHF na frekvenciách od 108,00–111,975 MHz, avšak len na kanáloch, ktoré majú za desatinnou čiarkou nepárne (liché) číslo. To znamená: 108,1; 108,15 až 111,95. V tomto intervale sa nachádza 40 kanálov oddelených po 50 kHz. Párne (sudé) čísla za desatinným miestom v tomto pásme využíva všesmerový maják VOR [58].



Obr. 26 Pracovná oblasť kurzového majáku ILS ([44]; upravené autorom)

Zostupový maják (Glide Path beacon) pracuje na podobnom princípe ako LLZ, avšak zväzky smerovej vyžarovacej charakteristiky (SVD) sa vytvárajú pomocou odrazených vln od zeme (Obr. 25B). Pre vytvorenie požadovanej zostupovej roviny je preto rozhodujúce, v akej výške sa nachádzajú antény na anténnom stožiare GP. Z tohto dôvodu je v ose zostupovej roviny umiestnená monitorovacia anténa, ktorej výstupný signál potom ovláda nastavenie výšok antén GP nad zemou. Zväzok SVD amplitúdovo modulovaný 150 Hz sa nachádza v profilovom pohľade bližšie k zemi. Nad ním sa nachádza zväzok SVD tiež amplitúdovo modulovaný, ale frekvenciou 90 Hz. Miesto, v ktorom sa zväzky pretínajú, vytvára zostupovú rovinu. Pri vychýlení lietadla z požadovanej zostupovej trajektórie funguje princíp rovnako ako u LLZ, a to na základe rozdielu hĺbok modulácií. Nosná vlna týchto zväzkov je pre oba zväzky SVD opäť rovnaká, ale vysiela sa v pásme UHF na frekvenciách od 329,15–335 MHz. Toto pásmo je rozdelené na 40 kanálov po 150 kHz [58]. Pracovná oblasť GP je zobrazená na Obr. 27.



Obr. 27 Pracovná oblasť zostupového majáku ILS ([58]; upravené autorom)

Maximálne odchýlky od zostupovej referenčnej trajektórie v mieste referenčnej výšky ILS sú definované tzv. „vletovými oknami“ príslušnej kategórie ICAO (Tab. 11). Tieto maximálne odchýlky sú uvedené v Tab. 12.

Poznámka: Referenčná výška ILS, nazývaná aj bod „T“, predstavuje bod ležiaci nad priesečníkom osi dráhy a jej prahu. Tento bod sa musí nachádzať vo výške 15 m (50 ft) s toleranciou +3 m (+10 ft) [44].

Tab. 11 ICAO kategórie presného priblíženia [43]

Kategória	Výška rozhodnutia (DH)	Dráhová dohľadnosť (RVR)	Dohľadnosť (VIS)
CAT I	DH \geq 60 m	RVR \geq 550 m	VIS \geq 800 m
CAT II	30 m \leq DH < 60 m	RVR \geq 300 m	
CAT IIIA	Žiadna alebo < 30 m	RVR \geq 175 m	
CAT IIIB	Žiadna alebo < 15 m	RVR \geq 50 m	
CAT IIIC	Žiadna	Bez limitu	

Tab. 12 Maximálne dovolené odchýlky navedenia systémom ILS [58]

	CAT I	CAT II	CAT III
LLZ	$\pm 10,5$ m	$\pm 7,5$ m	$\pm 3,0$ m
GP	$\pm 3,0$ m	+3/-0 m	+3/-0 m

Polohové návestidlá (Markers) slúžia v systéme ILS ako zdroj doplnkovej informácie o vzdialenosti lietadla od prahu dráhy na základe času preletu nad stanovenými bodmi. Je nutné podotknúť, že táto informácia nie je spojitá a tak neposkytuje posádke údaj o okamžitej vzdialenosti od prahu dráhy. Všetky návestidlá vysielaajú na frekvencii 75 MHz, a líšia sa od seba frekvenciou signálu amplitúdovej modulácie.

Polohové návestidlá:

- vonkajšie návestidlo (Outer Marker – OM),
- stredné návestidlo (Middle Marker – MM),
- vnútorné návestidlo (Inner Marker – IM).

Pri prelete lietadla nad daným návestidlom sa na základe demodulovanej nosnej vlny ozve v reproduktore alebo slúchadlách pilota kód Morse, ktorý je pre jednotlivý marker špecifický. Zároveň začne blikať svetelný indikátor daného návestidla na palube lietadla. Umiestnenie jednotlivých návestidiel a základné charakteristiky sú popísané v Tab. 13. Je treba zdôrazniť, že vonkajšie návestidlo sa umiestňuje do počiatočného bodu priblíženia IAF, alebo býva nahradené iným rádiovým majákom, napr. VOR alebo NDB. Stredné návestidlo sa umiestňuje do bodu konečného priblíženia FAF [42].

Tab. 13 Základná charakteristika polohových návestidiel ([42]; upravené autorom)

Návestidlo	IDENT [s ⁻¹]	Farebné označenie	Modulácia	Vzdialenosť od prahu dráhy	Výška nad rovinou RWY
OM	- -	modrá (blue)	400 Hz	6,5–11 km	~ 1 000 ft
MM	- • -	jantárová (amber)	1 300 Hz	900–1 200 m	200 ft
IM	•••••	biela (white)	3 000 Hz	75–450 m	60 ft

Obmedzenia systému ILS

Hlavným obmedzením systému ILS je jeho citlivosť na okolité prostredie. Kvôli použitým frekvenčným pásmam dochádza k odrazom signálov a viaccestnému šíreniu. Odrazy sú spôsobené odrazom signálov od okolitých terénnych prekážok, budov, lietadiel, i pohybujúcich sa vozidiel na letisku. Táto skutočnosť predstavuje problém predovšetkým u zostupového majáku. Odrazené vlny sa spájajú s priamymi vlnami vysielaanými k lietadlu a dochádza k ich spojeniu. Výsledkom sú rôzne zakrivenia zostupovej trajektórie. Problém nastáva pri dodržaní striktných podmienok pre CAT II a III, kedy musí byť zaistená presnosť ± 4 ft v 95 % prípadoch až do výšky 50 ft (15 m) nad prahom dráhy [39].

Podobný problém nastáva aj u kurzového majáku. Vyžarovacia charakteristika spôsobuje odrazy od vzlietajúcich lietadiel alebo lietadiel, ktoré vykonávajú postup nevydareného priblíženia. Následné ohyby signálu majú veľkosť až ± 60 ft do vzdialenosti 2 NM od LLZ a sú schopné vytrvať v priestore až 10 sekúnd. Celková maximálna povolená výchylka nad prahom dráhy v kurzovej rovine má veľkosť ± 22 ft, a v kombinácii so spomínaným ohybom by mohla spôsobiť výrazné vychýlenie od osi dráhy. Kvôli týmto okolnostiam musia byť zriadené

ochranné a kritické zóny. Prax ukázala, že azda jediné riešenie spočíva práve v aktivácii týchto zón, predovšetkým v priebehu podmienok za zníženej dohľadnosti LVP (pozri 8.3). No práve nutnosť zriadenia týchto zón podstatne znižuje kapacitu letísk [39].

Okrem týchto problémov spôsobuje ďalšie problémy náchylnosť LLZ k interferencii s FM vysielaním. Ďalší problém spôsobuje nedostatočný počet použiteľných kanálov a taktiež absencia tvorby inej než priamej zostupovej trajektórie [58].

Zhodnotenie: Systém ILS je v súčasnosti stále najrozšírenejším systémom presného priblíženia aj napriek jeho viacerým nedostatkom. Jeho najväčšia prednosť spočíva predovšetkým v zaistení podmienok prevádzky pre podmienky CAT II/III, pričom okrem systému MLS žiaden iný približovací systém tieto podmienky nedokáže zaistiť. ICAO počíta so systémom ILS minimálne do roku 2030 a jeho využitie by mohla výraznejšie obmedziť azda jedine certifikácia systému GLS pre podmienky CAT II/III.

6.2 MLS

Microwave Landing System, mikrovlnný približovací systém, bol vyvinutý ako náhrada systému ILS. Cieľom bolo vytvoriť systém, ktorý by odstránil všetky nedostatky systému ILS. Cieľom tak bolo zvýšiť presnosť navedenia na pristátie a predovšetkým zamedziť negatívnym vplyvom v dôsledku odrazu vln využitím mikrovlnného frekvenčného pásma. Využitím tohto pásma by sa tak vyriešil aj problém s nedostatkom voľných vysielacích kanálov. Taktiež bola snaha o vytvorenie systému, ktorý by umožňoval zvoliť aj inú trajektóriu ako priamu, a umožnil tak navedenie aj pre lietadlá typu VTOL a STOL. V neposlednom rade bola snaha o zmenšenie a zjednodušenie pozemného zariadenia a vytvorenie tak aj mobilnej verzie systému [58].

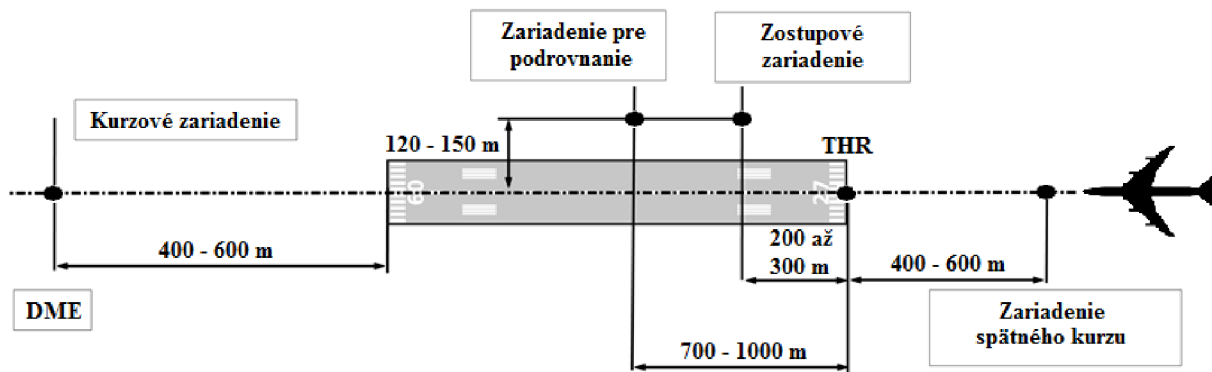
Základná konfigurácia systému MLS obsahuje [4]:

- kurzovú stanicu (Azimuth Guidance Station), slúži na poskytnutie informácie o smerovej odchýlke voči vopred stanovenej kurzovej krivke,
- zostupovú stanicu (Elevation Guidance Station), poskytujúcu informáciu palubnému zariadeniu o výchylke voči zostupovej krivke,
- merač vzdialenosti DME, ktorý poskytuje spojitú informáciu o vzdialenosti lietadla voči bodu dosadnutia.

Postupom času bola táto základná konfigurácia rozšírená o doplnujúce prvky, ktoré zlepšujú charakteristiky systému MLS. Týmito prvkami sú [4]:

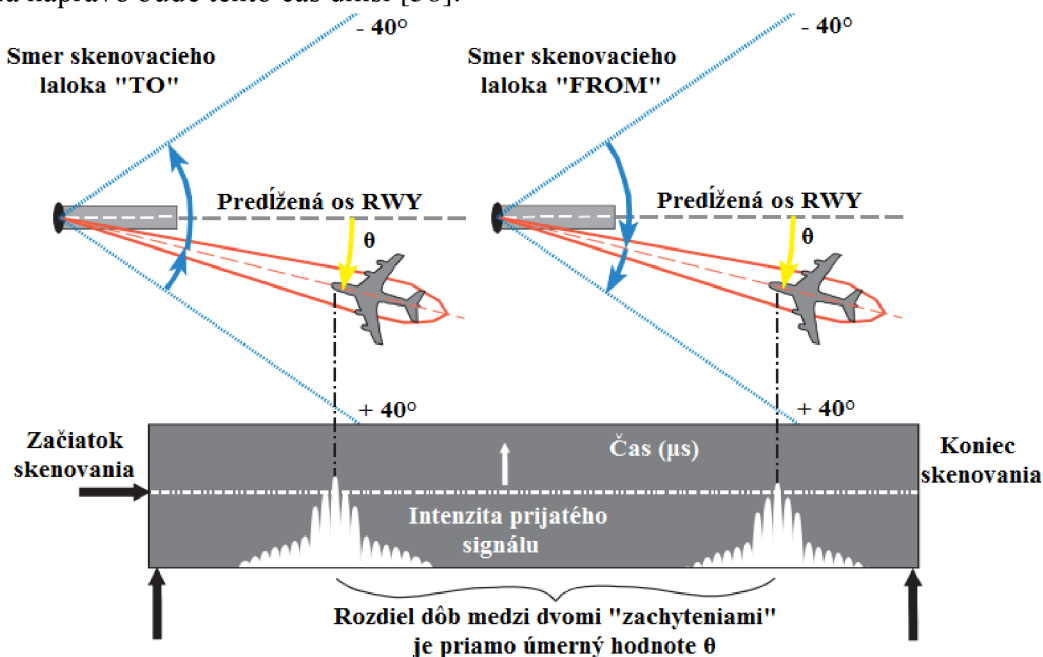
- vybavenie spätného kurzu, ktoré slúži k vedeniu lietadla pri odlete,
- vybavenie uhlovej informácie o podrovnaní,
- merač vzdialenosti DME/P (Distance Measuring Equipment – Precision),
- prostriedky pre vysielanie a kódovanie doplnkových dát,
- možnosť rozšírenia pracovného sektora viac ako $\pm 40^\circ$.

Poznámka: Schéma konfigurácie systému MLS je znázornená na Obr. 28.



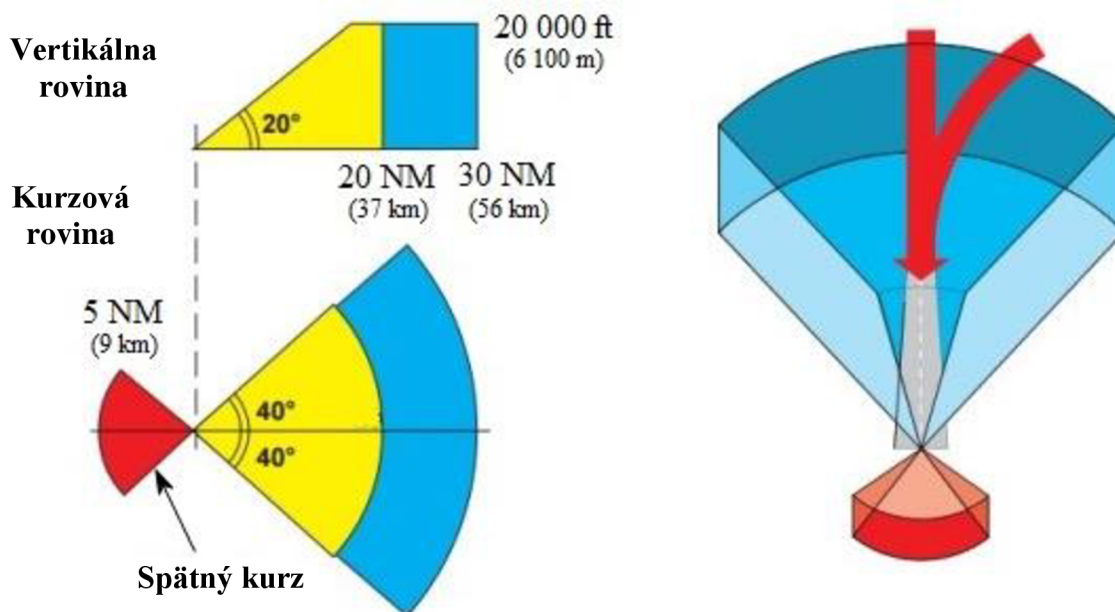
Obr. 28 Schéma konfigurácie MLS ([55]; upravené autorom)

Princíp činnosti: Systém pracuje v pásme SHF (Super High Frequency) v rozmedzí 5 031,0 – 5 090,7 MHz na 200 kanáloch rozdelených po 300 kHz. Poloha lietadla vzhľadom k RWY sa určuje priamo na palube lietadla na základe vyhodnotenia signálov vysielaných pozemnou časťou MLS. Princíp činnosti je zobrazený na Obr. 29. Pozemné kurzové zariadenie vysielá vysokofrekvenčnú energiu v tvare listového laloku, ktorý prechádza a „prehľadáva“ okolie vo svojom pracovnom sektore. Tento vyžarovací lalok začína svoju dráhu na hrane sektoru -40° , a potom pokračuje smerom „TO“ k protiľahlej hrane sektoru. Pri tomto pohybe prechádza cez predĺženú os RWY, ktorá predstavuje nulový smer, až sa dotkne lietadla. Tento kontakt zvýši intenzitu prijatého signálu palubným zariadením MLS a postupuje ďalej k hrane pracovného sektoru $+40^\circ$. V tomto mieste sa lalok na malý okamžik „zdrží“ a vracia sa späť „FROM“ na hranu sektoru -40° . Pri tomto spätnom prechode lalok opäť zachytí lietadlo, čo opäť zvýši intenzitu prijatého signálu. Najdôležitejším parametrom v tomto prípade je doba medzi týmito dvoma „zачyteniami“ lietadla v pracovnom sektore prechádzajúceho laloka. V prípade, že sa lietadlo nachádza priamo v nulovom smere, predstavuje čas medzi dvoma prechodmi práve jednu polovicu celého cyklu. V prípade polohy lietadla naľavo od nulového smeru (v smere priblíženia), bude čas medzi jednotlivými prechodmi menší a v prípade polohy lietadla napravo bude tento čas dlhší [58].



Obr. 29 Princíp činnosti systému MLS [54]

Určenie polohy lietadla vo vertikálnej rovine (elevácii) je rovnaké ako pri určení smeru. V tomto prípade sa lalok nachádza v rozmedzí od $0,9^\circ$ do $7,5^\circ$. Pohyb smerom „TO“ sa uskutočňuje od hrany $0,9^\circ$ a pokračuje k hrane $7,5^\circ$, kde sa následne vracia späť „FROM“. Časový úsek medzi dvoma zachyteniami na palube lietadla je ekvivalentný k určení polohy lietadla vo vertikálnej polohe [58]. Veľkosť pracovnej oblasti systému MLS je zobrazená na Obr. 30.



Obr. 30 Pracovná oblasť systému MLS ([54]; upravené autorom)

Vysielané signály MLS: Systém MLS je schopný poskytovať lietadlu viacero informácií. Aby bolo možné vysielat' na jednom frekvenčnom pásme viacero signálov súčasne, systém MLS využíva technológiu vysielania v presne časovo rozdelenom intervale. Táto technológia sa nazýva TDM (Time Division Multiplexing). Jednotlivé informácie sú vysielané do vopred presne stanoveného časového úseku. Jeden vysielací cyklus trvá 75 milisekúnd a postupnosť jednotlivých informácií je znázornená v Tab. 14. V tomto intervale sa nachádza informácia o zostupe a podrovnaní trikrát. Informácie o spätnom kurze sú vysielané len jedenkrát. Kurzová anténa vysielala dvakrát, pričom prvý krát vyšle informáciu o kurze, a druhý krát vysielala prídavné informácie. Tieto prídavné informácie zahŕňujú identifikáciu pozemnej časti MLS, prevádzkyschopnosť systému, stav dráhy a meteorologické informácie [58].

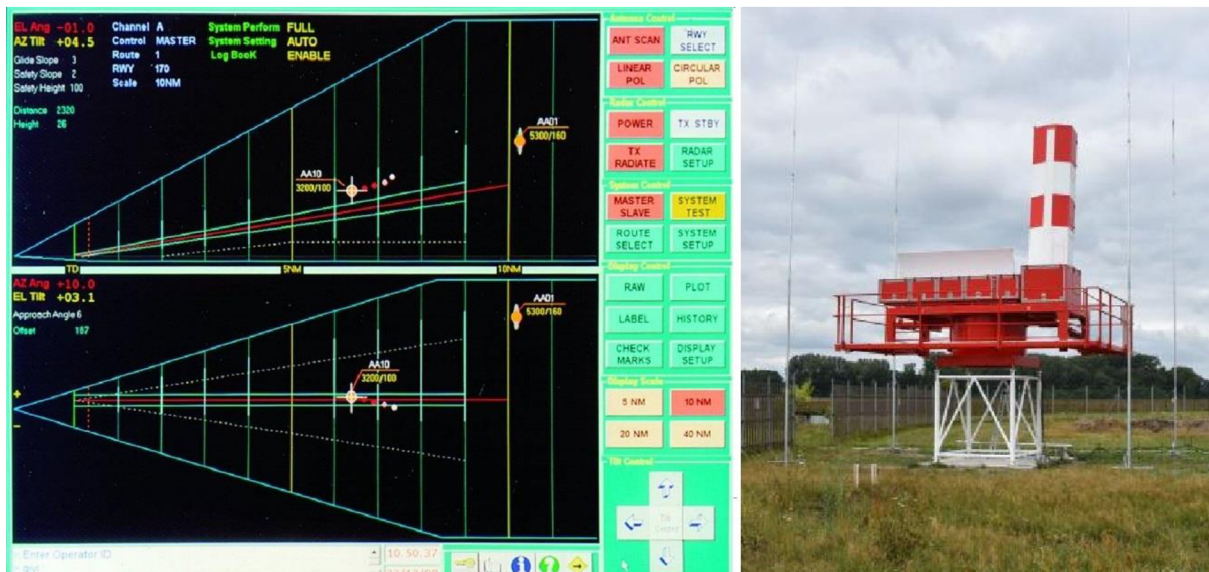
Tab. 14 Časová postupnosť vysielaných signálov MLS ([58]; upravené autorom)

Zostup	Podrovnanie	Kurz	Podrovnanie	Zostup	Spätný kurz	Zostup	Podrovnanie	Prídavné informácie
75 ms →								

Zhodnotenie: Napriek faktu, že systém MLS bol vyvíjaný ako náhrada systému ILS, do dnešného dňa nenašiel väčšie uplatnenie v rámci civilného letectva. Väčší rozmach tohto systému prekazil rozvoj systémov založených na GNSS. Napriek tomu, treba s týmto systémom počítať aj do budúcnosti, kvôli jeho perspektívnym vlastnostiam. Úplne iná situácia je v oblasti vojenského využitia. Systém MLS, predovšetkým jeho mobilná verzia MMLS (Mobile MLS), našla veľké uplatnenie v operačných nasadeniach. Určitá forma systému MLS sa využíva aj pri navádzaní lietadiel na pristátie na lietadlových lodiach.

6.3 PAR

Precision Approach Radar, je presný približovací radar, ktorý je určený k presnej kontrole dráhy letu a výšky lietadla nad terénom pri pristávacom manévri. PAR pracuje na kmitočtovom pásme v rozmedzí 9 000–9 500 MHz. K riadeniu a korekcii lietadla pri pohybe po zostupovej osi sú využívané typové povely medzi pozemným operátorom radaru a posádkou lietadla. Princíp zobrazenia zostupovej osi na obrazovke operátora radaru je zobrazený na Obr. 31 naľavo. Tento druh priblíženia je predovšetkým využívaný ako mobilný prostriedok na operačných letiskách a takmer výlučne využívaný ozbrojenými zložkami [57]. V rámci ČR sa výrobou presných približovacích radarov zaoberá firma ELDIS, ktorej PAR-E je zobrazený na Obr. 31 napravo.



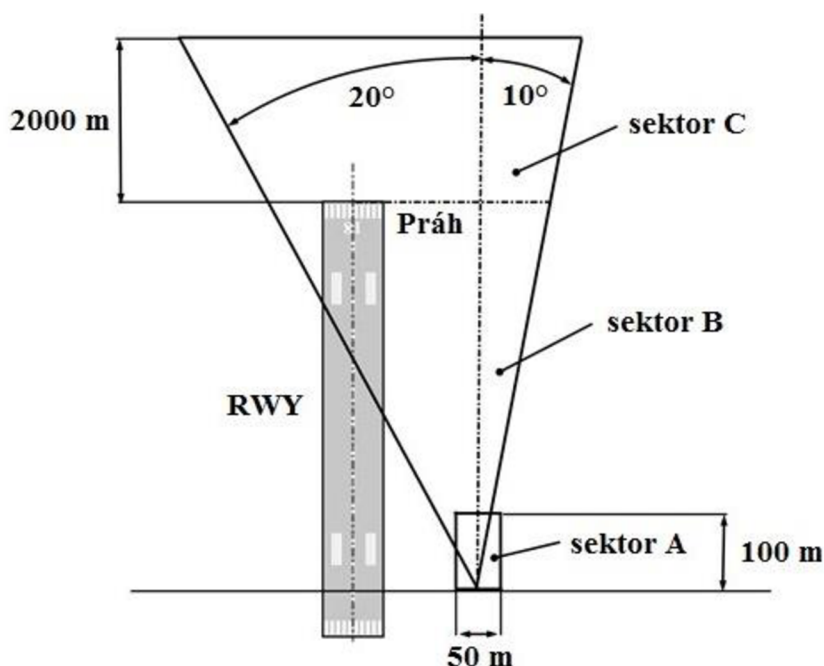
Obr. 31 Monitor operátora radaru (naľavo) [2], ELDIS PAR-E (napravo) [11]

Prevádzkové obmedzenia: Tento približovací systém vytvára taktiež elektronickú sklzovú rovinu a javí sa tak veľmi podobný systému ILS. Avšak medzi týmito systémami existujú určité odlišnosti. Ako už bolo spomenuté u systému ILS, polohu lietadla a výchylky voči stanovenej zostupovej rovine vyhodnocuje pilot. U systému PAR túto polohu a výchylky vyhodnocuje riadiaci letovej prevádzky. Do procesu vedenia v priebehu konečného priblíženia tak vstupuje ďalší prvok, čo znižuje úroveň kvality priblíženia PAR v porovnaní s ILS. V dôsledku vzniku možných väčších výchyliek tomu odpovedá aj väčšie ochranné pásmo (Obr. 32). Kvôli jeho veľkosti sa v ňom môže nachádzať väčšie množstvo prekážok. To zvyšuje riziko, že tieto prekážky budú vyššie, čo v konečnom dôsledku bude mať vplyv na bezpečnú výšku nad prekážkami OCH, ktorá je v prípade systému PAR stanovená na 60 m (200 ft) [55].

Ochranný priestor PAR sa skladá z troch častí [57]:

- sektor A – bez akýchkoľvek prekážok, vrátane zákazu pohybu lietadiel, vozidiel, osôb a pod.,
- sektor B – bez akýchkoľvek prekážok,
- sektor C – prekážky s oceľovou konštrukciou povolené len na základe pozitívneho technického a prevádzkového posúdenia.

Okrem vyššie uvedených obmedzení je vo všetkých sektoroch zakázané vrchné slaboprúdové a silnoprúdové vedenie [57].



Obr. 32 Ochranné pásma PAR ([57]; upravené autorom)

Požadovaný dosah a presnosť: Presný približovací radar musí byť schopný zistiť a určiť polohu cieľa s odrazovou plochou 15 m^2 v horizontálnej rovine o šírke 20° a vo vertikálnej rovine o šírke 7° (-1° až $+6^\circ$) do vzdialenosti minimálne 16,7 km (9 NM). [44].

Podľa predpisu L10/I [44], musí systém PAR byť schopný zaistiť rozlišovaciu schopnosť o veľkosti $1,2^\circ$ v horizontálnej, a 0,6 % vo vertikálnej rovine. Detailnejšie požiadavky na presnosť sú uvedené v spomínanom predpise v Hlave 3 (str. 3-15).

Zhodnotenie: Systém PAR našiel svoje uplatnenie najmä vo vojenskom sektore. Jeho prednosť predstavuje predovšetkým jeho mobilné využitie. Tento systém má aj viaceré už spomenuté nevýhody, kvôli ktorým je preferovaný v civilnom letectve systém presného priblíženia ILS. Napriek uvedeným skutočnostiam, autorovi práce sa javí vhodné v stručnosti priblížiť čitateľovi aj tento druh presného priblíženia.

7 GBAS LANDING SYSTEM

Aj po takmer osemdesiatich rokoch prevádzky je systém presného priblíženia ILS stále primárnym presným približovacím systémom a to predovšetkým pre podmienky CAT II/III. Tento systém odviezol nepochybne množstvo práce a nezmazateľným spôsobom sa zapísal do histórie letectva. Avšak ako mnoho vecí, nie je ani tento systém bezchybný. Mnohé jeho neduhy a obmedzenia sa nepodarilo podstatným spôsobom napraviť a vznikla tak už dávnejšie myšlienka nahradenia tohto systému. Ako prvý mal jeho miesto zaujať systém MLS pracujúci na princípe mikrovlnných signálov, ktorého návrh predstavoval mnohé výhody v porovnaní s predchádzajúcim systémom ILS. Avšak realita sa ukázala podstatne iná. Od jeho postupného zavádzania uplynulo viac ako štyridsať rokov a predsa len nedokázal nájsť väčšie uplatnenie. Azda pravdepodobne väčšej expanzii systému MLS zabránilo hojné využívanie systémov GNSS v letectve a potreba „vylepšenej“ verzie systému ILS sa postupne vytrácala. Je nutné taktiež podotknúť, že v reálnej prevádzke systém MLS nedisponoval až tak značnými výhodami. Systém MLS preto našiel uplatnenie len na pár civilných letiskách a definitívnu bodku za týmto systémom v civilnom sektore znamenalo ukončenie prevádzky tohto systému na letisku Londýn-Heathrow. Okrem civilného sektoru našiel uplatnenie pri navádzaní na pristátie raketoplánov v USA, lenže tieto lety už boli taktiež ukončené. V súčasnosti má tento systém obmedzené využitie len vo vojenskom sektore.

So stále väčším využívaním systémov GNSS sa dospelo k názoru, že by bolo vhodné vytvoriť systém presného priblíženia s využitím práve týchto systémov. Avšak ako sa postupne ukázalo, samotný systém GNSS nie je schopný splniť striktné požiadavky presného priblíženia na pristátie, a to predovšetkým v oblasti presnosti a integrity. Riešením tohto problému bolo zavedenie nových technológií rozširujúcich informácie GNSS, ktoré sa nazývajú tzv. augmentačné systémy. Využitím augmentačného systému založeného na rozšírení pozemnej časti vznikol systém GBAS (Ground-Based Augmentation System). Tento systém je založený na využívaní technológie, ktorá vylepšuje GNSS o tzv. diferenčné korekcie. Zlepšenie presnosti a integrity umožnilo vznik nového systému presného priblíženia GLS (GBAS Landing System). Je nutné poznamenať hneď na úvod, že tento systém je certifikovaný v súčasnosti len pre presné priblíženie CAT I. V súčasnosti sa pracuje taktiež na certifikácii tohto systému pre CAT II/III, ktorej problematike sa autor taktiež v stručnosti venuje v ďalšej časti práce.

Nasledujúca časť práce je rozdelená do dvoch častí. Prvá časť je venovaná rešeršnému popisu systému GLS vrátane jeho základných charakteristík, analýzy výhod systému, súčasného využitia, problémov súvisiacich s implementáciou a pod. Ďalšia časť je venovaná stručnej analýze aplikácie tohto systému u letiska s viacerými RWY, pričom k tomuto účelu bolo vybrané Letisko Václava Havla Praha (Praha-Ruzyně), u ktorého je práve od roku 2022 naplánovaná výstavba novej paralelnej dráhy.

Na úvod tejto časti je potrebné čitateľa upozorniť na určitú nejednotnosť v terminológii. Názov GLS pre tento systém nie je veľmi používaný a preto sa rozhodol autor práce v ďalšej časti používať názov GBAS, s ktorým sa čitateľ stretne predovšetkým v zahraničnej literatúre.

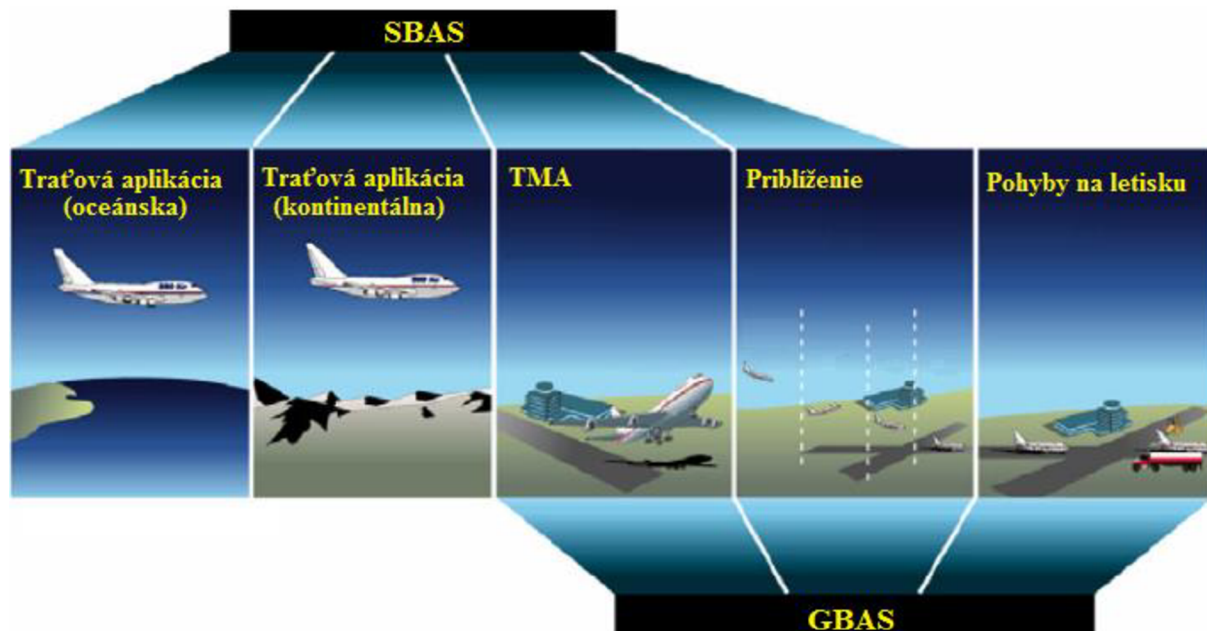
Súčasne treba taktiež čitateľa upozorniť, že názov GBAS pomenúva augmentačný systém a nie systém presného priblíženia ako takého. Okrem názvu GLS a GBAS sa čitateľ môže stretnúť tiež s názvom LAAS, ktorý sa používa predovšetkým v Spojených štátoch amerických. Názov LAAS (Local-Area Augmentation System) charakterizuje augmentáciu (rozšírenie) systému GNSS na obmedzenom území v okolí letísk.

7.1 Augmentačné systémy

Hneď od počiatku využívania GNSS signálu bol zreteľný potenciál tejto technológie. Avšak s postupom času sa ukázalo, že táto služba sama o sebe nedokáže splniť požiadavky predovšetkým pre pravidlá letu IFR. Kvôli splneniu týchto požiadaviek boli vytvorené tzv. augmentačné systémy, ktoré rozširujú využiteľnosť signálu GNSS. Podľa rozšírenia daného subsystému rozlišujeme tri augmentačné systémy a to:

- ABAS - Airborne-Based Augmentation System (palubné rozšírenie),
- SBAS - Satellite-Based Augmentation System (satelitné rozšírenie),
- GBAS - Ground-Based Augmentation System (pozemné rozšírenie).

Všetky tri systémy zlepšujú vlastnosti predovšetkým v oblasti integrity. Systémy SBAS a GBAS podstatnou mierou prispievajú k zlepšeniu presnosti, čo malo za následok ich využitie nie len na letových tratiach, ale predovšetkým v oblasti TMA [30]. V súčasnosti posledné dva zmienené systémy nachádzajú veľké uplatnenie v civilnom letectve a ich využitie je znázornené na Obr. 33.



Obr. 33 Využitie systému SBAS a GBAS ([17]; upravené autorom)

7.1.1 ABAS

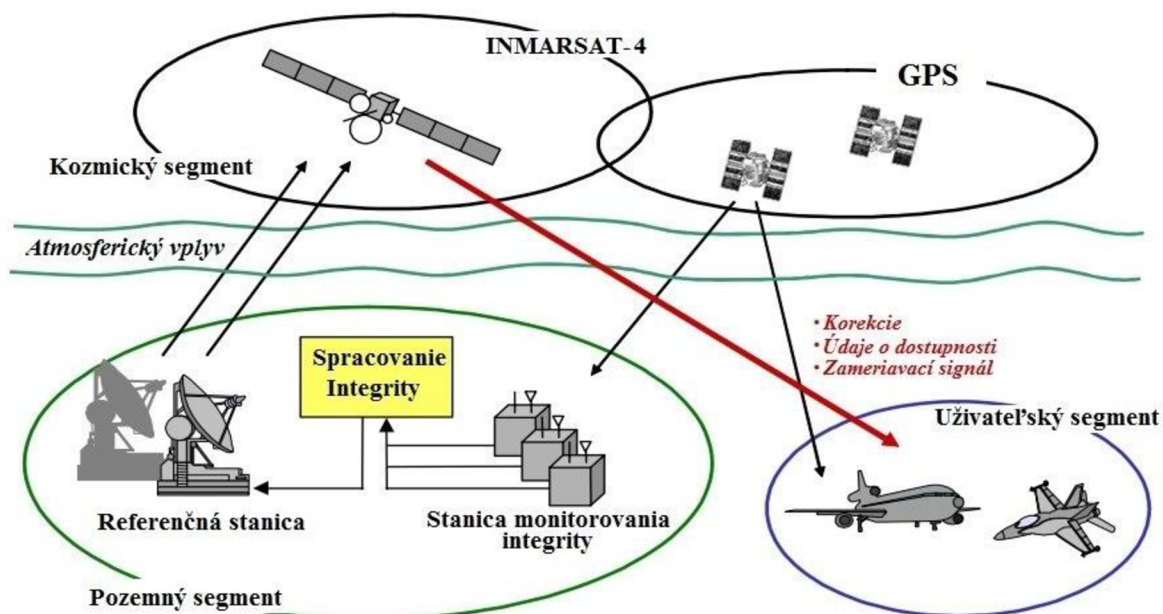
Jedným zo spôsobov rozšírenia signálu GNSS sa stalo rozšírenie palubnej časti systému a zaistenie predovšetkým integrity systému. U augmentačného systému ABAS rozlišujeme dve techniky prevedenia, ktoré figurujú pod skratkami RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring) a AAIM (Aircraft Autonomous Integrity Monitoring).

RAIM je najbežnejšou technikou systému ABAS, znamená tzv. nezávislé monitorovanie integrity systému. Systém nezávisle vyhodnocuje prijímané GNSS signály a porovnáva ich na základe viacnásobného merania. Ako je vo všeobecnosti známe, pre určenie polohy užívateľa je potrebná viditeľnosť najmenej štyroch družíc. V prípade, že družíc je dostupných viac, systém je schopný vybrať signál od pre neho najvhodnejších družíc a ostatné vyčleniť [30].

AAIM je ďalšou technikou, ktorá je založená na spolupráci s ostatnými navigačnými palubnými senzormi, najčastejšie s inerčnými navigačnými systémami, ktoré môžu kontrolovať integritu systému na základe porovnania určenia okamžitej polohy systémom GNSS a ostatnými palubnými navigačnými zariadeniami [12].

7.1.2 SBAS

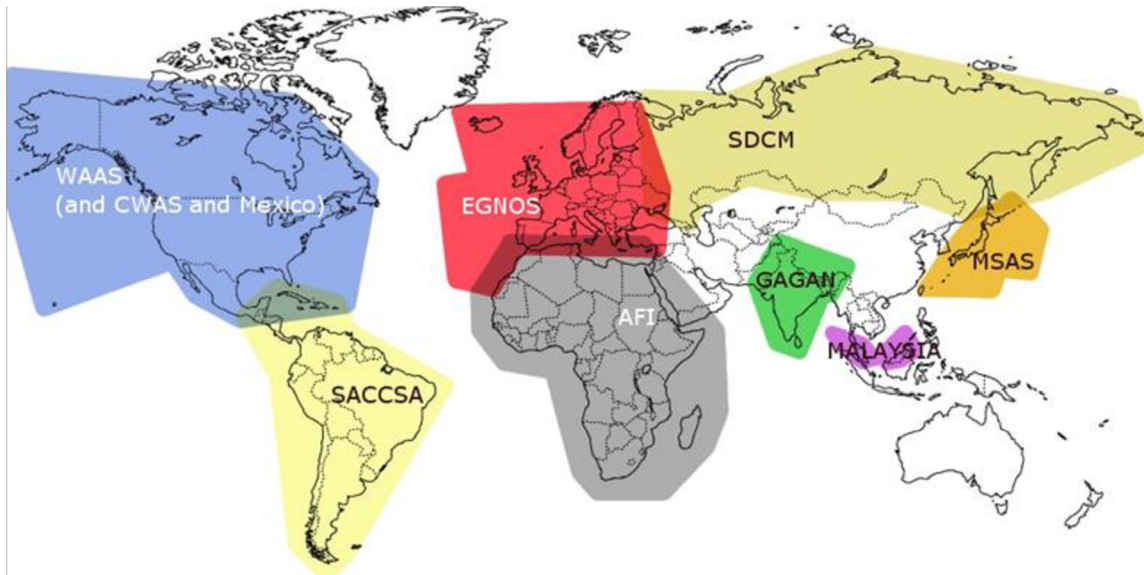
Rozširujúci systém SBAS zlepšuje využitie GNSS signálu v oblasti integrity a presnosti určovania polohy užívateľa prostredníctvom korekčných informácií. Ako je vo všeobecnosti známe, systém GNSS je tvorený troma základnými segmentami: kozmický, pozemný a užívateľský. Rozširujúci systém SBAS zlepšuje jednotlivé segmenty doplnením o ďalšie prvky, a to predovšetkým kozmického segmentu systému GNSS o geostacionárne družice (napr. INMARSAT-4). Schematické znázornenie systému SBAS je uvedené na Obr. 34.



Obr. 34 Augmentačný systém SBAS ([50]; upravené autorom)

Referenčné stanice, ktoré sú umiestnené na rozsiahlych územiach, monitorujú satelitné signály a nepretržite poskytujú dáta riadiacim staniciam. Tie následne tieto dáta využívajú k posudzovaniu platnosti daného signálu a vypočítajú korekcie vzhľadom k chybe efemeríd, chybe satelitných hodín a korekciu chyby spôsobenú pri prechode signálu ionosférov. Tieto stanice taktiež generujú SBAS správu, ktorá je vysielaná ku geostacionárnym družiciam, ktoré sú umiestnené tak, aby pokryli takmer celý povrch Zeme s výnimkou polárnych oblastí [30]. Jednotlivé systémy SBAS a ich pokrytie je znázornené na obr. 35.

Poznámka: efemeridy predstavujú údaje o polohách nebeských telies v určitom čase.



Obr. 35 SBAS systémy vo svete [16]

Európska aplikácia augmentačného systému SBAS sa nazýva EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service). Poskytuje rozširujúci signál globálnemu systému určovania polohy GPS a v budúcnosti sa počíta aj poskytovaním služby európskemu systému určovania polohy GALILEO. Príklad dostupnosti systému EGNOS je znázornený v Prílohe 5 (Obr. 55).

EGNOS poskytuje tri typy služieb [13]:

- voľne dostupnú službu (Open Service),
- službu pre komerčnú distribúciu dát (EGNOS Data Access System),
- poskytovanie najstriktnejšej služby z hľadiska bezpečnosti, používanú v leteckej navigácii (Safety of Life Service).

Štruktúra systému EGNOS [13]:

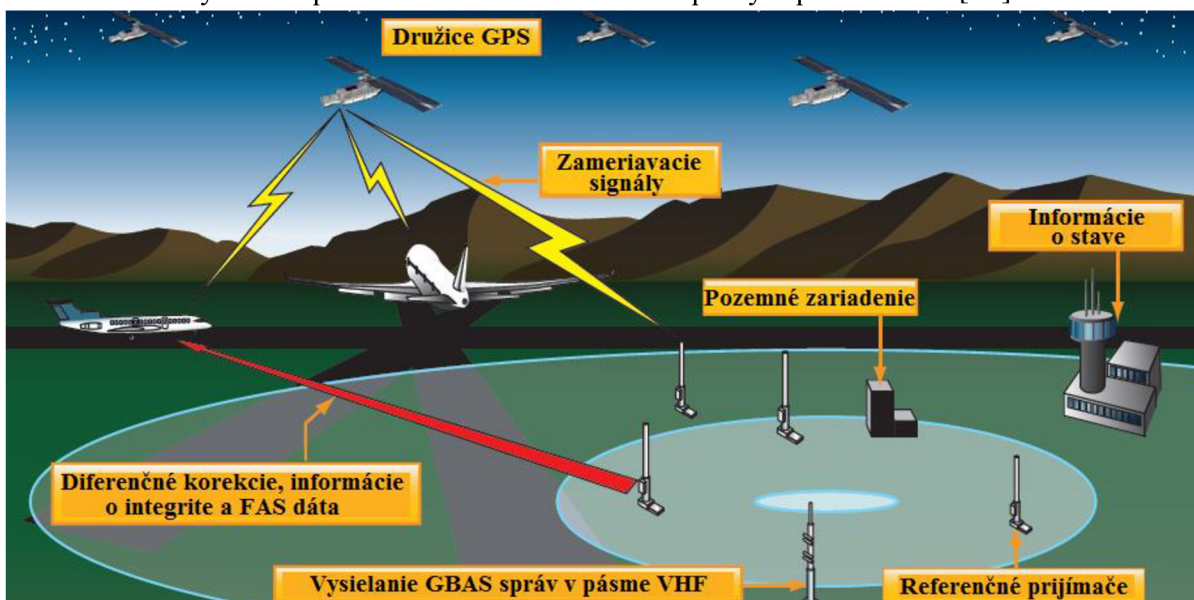
- **Pozemný segment:**
 - a) 40 referenčných staníc RIMS (Ranging and Integrity Monitoring Stations), ktoré nepretržite monitorujú družice GPS,
 - b) 2 kontrolné centrá MCC (Mission Control Centres),
 - c) 6 vysielacích staníc NLES (Navigation Land Earth Stations).
- **Kozmický segment:** zahŕňa 3 geostacionárne satelity vysielajúce signál EGNOS nad celým územným poskytovaním služieb.
- **Užívateľský segment:** prijímače a koncoví užívatelia.

Plán rozvoja systému EGNOS [13]:

- **2011–2020:** Služba „Safety of Life Service“ je poskytovaná od roku 2011 a jej poskytovanie je garantované do roku 2030. Vysielanie však len na GPS frekvencii L1.
- **2020+:** Plánovaná implementácia verzie EGNOS V3, ktorá počíta už s multifrekvenčným vysielaním L1/L5.

7.1.3 GBAS

Systém GBAS plní predovšetkým dve funkcie. Prvou funkciou je schopnosť zaistiť presné priblíženie na pristátie a druhá je poskytovanie služby určovania polohy, ktorá poskytuje informáciu o polohe v horizontálnej rovine pre procedúry navigácie PBN 2D v priestore TMA. Pozemná časť systému GBAS je umiestnená v blízkosti letiska a jej úlohou je monitorovanie GNSS signálov, ich korekcia a následné odoslanie opravených parametrov užívateľovi v TMA prostredníctvom vysielania VDB (VHF Data Broadcast). Zjednodušená schéma princípu systému GBAS je zobrazená na Obr. 36. Korekcie signálu GNSS podstatnou mierou prispievajú k zvýšeniu presnosti, ktorej hodnota v horizontálnej aj vertikálnej rovine je vo väčšine prípadov menšia ako jeden meter. Korekcia signálu je založená na technológií, figurujúcej pod názov Differential GNSS (DGNSS), resp. DGPS v prípade systému GPS. Okrem korekcií sú odosielané aj informácie o integrite a dáta segmentu konečného priblíženia na pristátie. Tieto informácie sú vysielané prostredníctvom tzv. GBAS správy v pásme VHF [30].



Obr. 36 Princíp augmentačného systému GBAS [23]

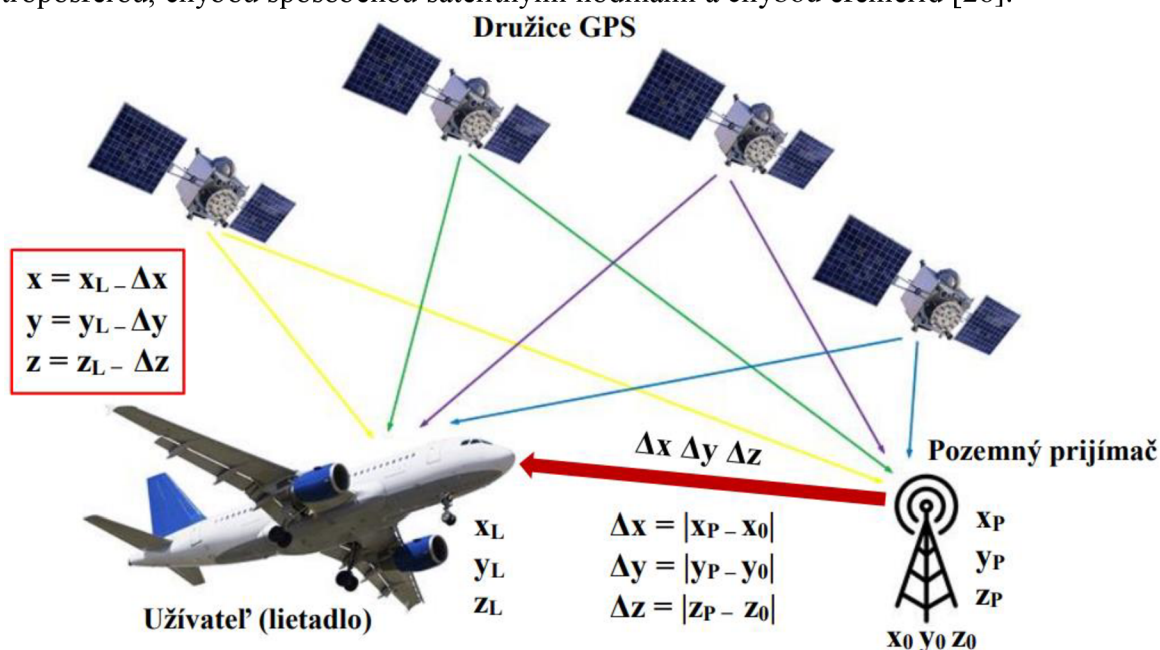
Podobne ako u systému ILS alebo MLS, palubné prijímače systému GBAS zaisťujú smerové a vertikálne vedenie vzťahované k zvolenému približovaciemu kurzu a zostupovej rovine (Obr. 37 naľavo). Prijímač zahŕňa voľbu prijímacích kanálov (Obr. 37 napravo), pričom každý kanál predstavuje jednu frekvenciu VDB zahrňujúcu práve jednu procedúru presného priblíženia na pristátie.



Obr. 37 Primárny palubný displej (naľavo), voľba kanálu GLS (napravo) [5]

7.2 DGNSS

Ako už bolo spomenuté v predchádzajúcich častiach, samotná služba GNSS nie je schopná zaistiť parametre presnosti, vyžadované striktnými podmienkami procedúr presného priblíženia na pristátie. Technológia založená na vysielaní diferenčných (rozdielových) korekcií priniesla schopnosť určiť polohu užívateľa s presnosťou menšou než jeden meter. Princíp spočíva predovšetkým vo vložení ďalšieho prvku do systému GNSS a to tzv. referenčnú stanicu so známou polohou. Na základe osobitných meraní medzi družicami a referenčnou stanicou je možné eliminovať väčšinu chýb pri prenose GNSS signálov. Faktory, ktoré spôsobujú chybu zamerania sú predovšetkým chyby, ktoré vznikli v dôsledku prechodu signálu ionosférou a troposférou, chybou spôsobenou satelitnými hodinami a chybou efemeríd [26].



Obr. 38 Princíp činnosti DGPS ([58]; upravené autorom)

Diferenčné technológie sa dajú prakticky aplikovať na akýkoľvek systém GNSS. Ako je vo všeobecnosti známe, najpoužívanejším systémom GNSS je Globálny lokalizačný (polohový) systém GPS. Princíp diferenčného systému GPS (DGPS) je schematicky znázornený na Obr. 38. Pozemný referenčný prijímač GPS má známou hodnotu svojej polohy, ktorá bola určená geodeticky vo všetkých osách súradnicovej sústavy (x_0, y_0, z_0) . Následným štandardným autonómnym meraním pomocou GNSS získa údaje o svojej polohe (x_P, y_P, z_P) , ktoré sú však zaťažené chybami systému GNSS. Tie sa značne menia s časom. Po tomto určení polohy, je pozemná stanica DGNSS (referenčná stanica) obsahujúca GPS prijímač, schopná vyhodnotiť odchýlku Δ medzi týmito dvoma určeními polohy prijímača [58].

Palubný prijímač GPS, ktorý je umiestnený v lietadle, dokáže určiť svoju polohu len na základe autonómneho GNSS merania (x_L, y_L, z_L) . V tomto prípade nedokáže určiť veľkosť okamžitých hodnôt chýb. Pokiaľ sa lietadlo nachádza v dostatočnej blízkosti voči referenčnej stanici, je možné hodnoty týchto diferenčných korekcií spolu s ďalšími informáciami odoslať užívateľovi (lietadlu) prostredníctvom VHF vysielania, a tým podstatnou mierou zvýšiť úroveň presnosti určenia polohy lietadla (v dosahu komunikácie). Vo všeobecnosti platí, že čím bližšie sa lietadlo voči referenčnej stanici nachádza, tým je presnosť určenia polohy lietadla väčšia [58].

V praxi sa však v leteckej navigácii využíva viac sofistikovanejši prístup stanovenia korekcií, než je porovnávanie geodetických a nameraných súradníc polohy. Hlavné metódy sú založené na meraní pseudovzdialeností alebo na porovnávaní fáz nosných vln signálov [50].

Meranie pseudovzdialeností – táto metóda využíva pseudomerania referenčnej stanice k určeniu pseudovzdialeností a súčasne polohových korekcií užívateľa. Popri meraní pseudovzdialeností, referenčná stanica vypočíta skutočnú vzdialenosť voči družici, ktorej presnú polohu pozná prostredníctvom navigačnej správy. Táto skutočná vypočítaná vzdialenosť nie je zaťažená vplyvom chýb. Následne stanoví korekcie pre každú „viditeľnú“ družicu odčítaním skutočnej vzdialenosti od nameranej pseudovzdialenosti. Mobilný užívateľský prijímač (lietadlo) musí použiť merania rovnakých družíc, pre ktoré boli určené korekcie. Výhoda tejto metódy je v jednoduchosti výpočtov, avšak nevýhodou tejto metódy je fakt, že referenčný prijímač a užívateľský prijímač musia využívať presne tie isté družice. Toto môže byť dosiahnuté koordináciou výberu družíc medzi referenčným a užívateľským prijímačom, alebo dostupnosťou výpočtov referenčnej stanice pre všetky dostupné družice [50].

***Poznámka:** Pseudovzdialenosť – zdanlivá vzdialenosť medzi GNSS prijímačom a družicou. Určená na základe znalosti rýchlosti šírenia družicového signálu a rozdielu času medzi jeho vysielaním a prijímaním. Od skutočnej vzdialenosti sa líši vplyvom chýb merania času na družici i u užívateľa.*

Fázové meranie – táto metóda je založená na určení rozdielu fázy nosnej vlny signálu prijatého prijímačom referenčnej stanice a prijímačom užívateľa. Jedná sa o relatívnu polohovaciu techniku, preto užívateľský prijímač musí poznať polohu referenčnej stanice. Referenčný a užívateľský prijímač súčasne uskutočňujú fázové merania, pričom podstatné je, aby medzi nimi prebiehalo trvalé rádiové spojenie. Princíp potom spočíva v okamžitom prenose nameraných údajov referenčným prijímačom do pohybujúceho (užívateľského) prijímača. Ten následne spracuje tieto fázové merania („svoje“ a referenčnej stanice), a vytvorí diferencie. Keďže toto meranie prebieha v neustálom spojení a vysielaní dát, jedná sa o spracovanie dát v reálnom čase. Čitateľ sa stretne s touto metódou predovšetkým pod názvom RTK (Real-Time Kinematic), resp. KCPT (Kinematic Carrier Phase Tracking). Je treba poznamenať, že v leteckej navigácii je táto metóda najvyužívanejšia [26, 50].

Diferenčné korekcie sú odosielané k užívateľovi formou tzv. korekčných správ. Ich prenos k užívateľovi je realizovaný viacerými spôsobmi. V leteckej aplikácii je to predovšetkým rádiovým spojením. V ostatných sektoroch použitia sú to bezdrôtové dátové siete či internet. Aplikáciou týchto korekcií je možné odstrániť vplyv väčšiny chýb. Možné veľkosti týchto chýb sú uvedené v Tab. 15. Z týchto údajov je zjavné, že technológiou DGPS nie je možné odstrániť chyby spojené priamo s prijímačom signálu (šum prijímača a viacestné šírenie).

Tab. 15 Zdroje chýb určenia polohy užívateľa systémom GPS a DGPS [50]

Zdroj chýb	GPS [m]	DGPS [m]
Efemeridy	5 - 20	0 - 1
Ionosféra	15 - 20	2 - 3
Troposféra	3 - 4	1
Satelitné hodiny	3	0
Viaccestné šírenie	2	2
Šum prijímača	2	2

Technológia DGPS je pomerne jednoducho implementovateľná. Bežnému užívateľovi stačí štandardný GPS prijímač a prístup na internet. Po registrácii na príslušných internetových portáloch (napr. CZEPOS alebo SKPOS®) je možné za určitý poplatok prijímať tieto korekcie, buď mobilnou sieťou alebo prostredníctvom internetového pripojenia. Z tohto dôvodu táto technológia nachádza stále väčšie uplatnenie vo viacerých oblastiach, ako geodézia, námorníctvo a pod. V oblasti letectva je táto technológia pochopiteľne potrebná na vyššej úrovni a existuje v dvoch aplikáciách: LADGNSS a WADGNSS.

LADGNSS (Local Area DGNSS) predstavuje lokálne využitie systému v dosahu jediného vysielateľa referenčnej stanice. Čím bližšie je užívateľ voči referenčnej stanici, tým je väčšia presnosť určenia polohy. Vo všeobecnosti sa dá povedať, že do vzdialenosti 150 km je možné v horizontálnej rovine dosiahnuť presnosť 1 m. Na princípe lokálnej DGNSS je postavený augmentačný systém GBAS [26]. U systému GBAS je pracovná oblasť obmedzená dosahom VHF vysielateľov, ktorý býva spravidla do 42 km.

WADGNSS (Wide Area DGNSS) má za cieľ poskytovať čo najväčšiu presnosť v rozlohe kontinentu alebo území daného štátu. Hlavný rozdiel oproti lokálnemu využitiu DGNSS je využitie veľkého množstva referenčných staníc umiestnených na rozsiahlom území a následne jednotlivé dáta zhromažďovať do riadiacej stanice, odkiaľ sú po spracovaní odosielané užívateľom. Technológiu WADGNSS využíva augmentačný systém SBAS [26].

***Poznámka:** Autor sa v tejto práci bližšie nevenuje diferenčným technológiám ako takým, ale viac upriamuje pozornosť priamo na približovacie systémy využívajúce tieto technológie (GBAS a SBAS). Bližšia analýza výhod a nevýhod týchto systémov je uvedená v časti 5.2 (APV/SBAS) a 7.7 (Výhody systému GBAS). Celkové zhrnutie možnosti implementácie týchto systémov je zhodnotené v časti 8.6, ktoré bolo aplikované na konkrétne letisko (LKPR).*

7.3 Zloženie systému GBAS

Systém GBAS pozostáva z troch základných podsystémov [15]:

- pozemný podsystém,
- lietadlový podsystém,
- satelitný podsystém.

7.3.1 Pozemný podsystém

Základnými úlohami pozemného podsystému sú [15]:

- príjem a dekódovanie signálov z družíc,
- výpočet diferenčných korekcií,
- monitorovanie stupňa integrity,
- generovanie a vysielanie správ systému GBAS.

Pozemný podsystém je tvorený [15]:

- z dvoch až štyroch GNSS referenčných prijímačov a ich antén,
- vysielateľa v pásme VHF,
- monitorovacieho systému,
- približovacej databázy FAS (Final Approach Segment data),
- zostavy spracovania dát.

7.3.2 Lietadlový podsystém

Základnými funkciami lietadlového subsystému sú [15]:

- príjem a dekodovanie satelitných GNSS a GBAS signálov,
- určenie polohy lietadla,
- zaistenie dostupnosti služby,
- výpočet odchýlok od požadovanej letovej trajektórie na základe dát FAS databázy,
- poskytovanie navigačných signálov a informácií o integrite.

Základné prvky lietadlového subsystému [15]:

- palubný GNSS prijímač, ktorý prijíma, sleduje a dekoduje satelitné signály,
- VHF dátový prijímač, ktorý prijíma a dekoduje správy vysielané pozemnou časťou GBAS systému,
- palubná zostava spracovania dát, ktorá prijíma určenie polohy lietadla na základe vysielania pseudonáhodných kódov GNSS satelitmi, aplikuje diferenčné korekcie prijaté VHF prijímačom a vypočíta polohu lietadla opravenú o diferenčnú korekciu. V neposlednom rade zaisťuje určenie odchýlky od zvolenej trajektórie.

7.3.3 Satelitný podsystém

Zaisťuje vysielanie pseudonáhodných kódov pozemným a lietadlovým prijímačom, na základe ktorých sa určuje poloha. Minimálne požiadavky na službu určenia polohy sú do značnej miery obmedzené civilným využitím a preto býva systém GBAS často doplnený najmä o systém SBAS [15].

7.4 Navigačná informácia

Typy správ zahrnuté v systéme GBAS sú zobrazené v nasledujúcej tabuľke (Tab. 16).

Tab. 16 Typy navigačných správ systému GBAS [15]

Kódové označenie	Názov správy
0	Rezervné
1	Diferenčná korekcia
2	Súvisiace údaje
3	Rezervované pre pozemné zameriavacie zdroje
4	Dáta úseku konečného priblíženia (FAS)
5	Údaje o dostupnosti
6	Rezervované
7	Rezervované pre národné aplikácie
8	Rezervované pre testovacie účely
9-255	Rezervné

Správy kódového označenia 1, 2 a 4 sú najdôležitejšie, a sú vysielané k lietadlu pomocou signálu vysielaného v pásme VHF v rozmedzí 108–117,950 MHz. Najnižšou použiteľnou frekvenciou je 108,025 MHz a najvyššou 117,950 MHz. Jednotlivé použiteľné frekvencie sú od seba oddelené po 25 kHz [15].

7.5 Výkonnosť systému GBAS

Výkonnosť systému GBAS je definovaná predovšetkým podľa požiadaviek na bezpečnosť v civilnom letectve. Rozhodujúcimi parametrami hodnotenia výkonnosti sú vlastnosti z pohľadu presnosti, integrity, kontinuity (spojitosti) a dostupnosti systému. Tieto požiadavky sú rozlíšené pre jednotlivé letové operácie a sú uvedené v nasledujúcej tabuľke (Tab. 17).

Tab. 17 Požiadavky výkonnosti systému GBAS [44]

Typická operácia	Horizontálna presnosť (95 %)	Vertikálna presnosť (95 %)	Integrita	Kontinuita [h ⁻¹]	Dostupnosť
Let po trati	3,7 km (2,0 NM)	N/A	1×10 ⁻⁷ /h	1×10 ⁻⁴ až 1×10 ⁻⁸ /h	0,99 až 0,99999
Let po trati, konečná fáza	0,74 km (0,4 NM)	N/A	1×10 ⁻⁷ /h	1×10 ⁻⁴ až 1×10 ⁻⁸ /h	0,99 až 0,99999
Úsek počiatočného a stredného priblíženia, NPA, odlet	220 m (720 ft)	N/A	1×10 ⁻⁷ /h	1×10 ⁻⁴ až 1×10 ⁻⁸ /h	0,99 až 0,99999
Priblíženie s vertikálnym vedením (APV-I)	16 m (52ft)	20 m (66ft)	1 až 2×10 ⁻⁷ /priblíženie	1 až 8 ×10 ⁻⁶ na 15 s	0,99 až 0,99999
Priblíženie s vertikálnym vedením (APV-II)	16 m (52ft)	8 m (26ft)	1 až 2×10 ⁻⁷ /priblíženie	1 až 8 ×10 ⁻⁶ na 15 s	0,99 až 0,99999
PA CAT I	16 m (52ft)	6 m–4 m (20ft až 13ft)	1 až 2×10 ⁻⁷ /priblíženie	1 až 8 ×10 ⁻⁶ na 15 s	0,99 až 0,99999

Poznámka: N/A - Not Available (údaj nie je dostupný)

Základné ukazovatele definujúce výkonnosť:

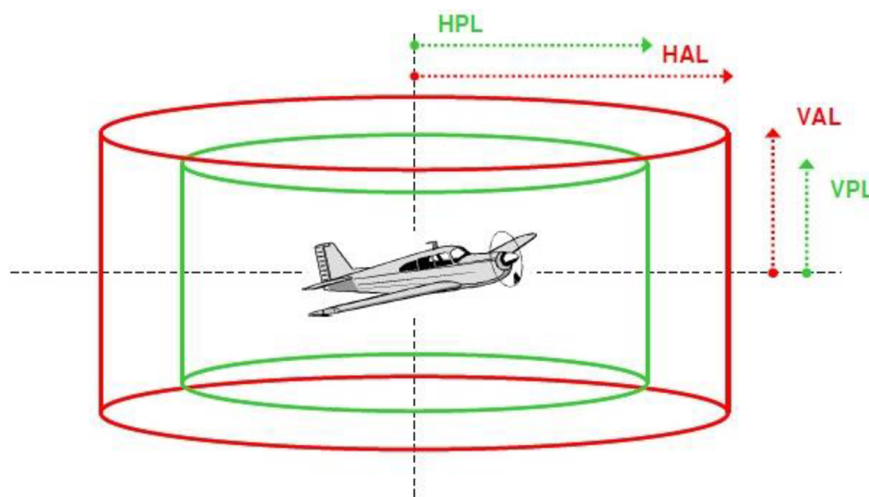
Presnosť (Accuracy): je vyjadrená mierou chyby navigačného systému (NSE). Predstavuje rozdiel medzi skutočnou polohou lietadla a polohou nami predpokladanou na základe navigačných zariadení [15].

Integrita (Integrity): predstavuje mieru dôvery v pravdivosť poskytovaných informácií daného systému. Integrita zahŕňa aj schopnosť systému zaistiť včasnú výstrahu užívateľovi v prípade, že poskytovaná služba je nedostačujúca. Z kvantitatívneho hľadiska predstavuje integrita mieru rizika definovaného pravdepodobnosťou, že nenastane neočakávaná chyba pri bezchybnej prevádzke bez včasného varovania [17].

Miera rizika je vzťahnutá k ďalším dvom faktorom [17]:

- **Limit varovania** (Alert Limit) – predstavuje maximálnu povolenú hodnotu NSE pre danú vykonávanú operáciu. Je definovaný horizontálnou (HAL) a vertikálnou (VAL) zložkou.
- **Čas do varovania** (Time to Alert) – predstavuje maximálny povolený čas, do ktorého musí systém varovať užívateľa o chybe integrity.

Podľa vyššie uvedených definícií by bolo potrebné stanoviť okamžitú chybu NSE a porovnať ju s limitom varovania pre danú vykonávanú operáciu. V prevádzke užívateľ nemá možnosť stanoviť túto chybu a preto sa k problému pristupuje odlišným spôsobom. NSE sa stanoví pre najhorší možný prípad a porovná sa s príslušným limitom varovania. Tieto limitné hodnoty NSE sa označujú ako úroveň ochrany a obdobne ako u limitu varovania majú horizontálnu (HPL) a vertikálnu (VPL) zložku [17]. Schematické znázornenie úrovne ochrany a limitu varovania je na Obr. 39 .



Obr. 39 Úroveň ochrany a limit varovania pre chybu navigačného systému NSE [17]

Kontinuita (Continuity): predstavuje pravdepodobnosť, že požadovaný výkon systému bude zaručený počas celého trvania operácie pri predpoklade, že systém pred začatím operácie fungoval správne. Nedostatok kontinuity prináša mieru rizika, pri ktorom musí byť prerušená nami vykonávaná operácia [15].

Dostupnosť (Availability): je pravdepodobnosť toho, že navigačná služba je dostupná na začiatku plánovanej operácie. Systém GBAS považujeme za dostupný, pokiaľ požiadavky na presnosť, integritu a kontinuitu sú splnené v celej oblasti pokrytia.

7.6 Základné technické špecifikácie

Modulácia - dáta systému GBAS sú prenášané symbolmi o kapacite 3 bity a sú vysielané rýchlosťou 10 500 symbolov za sekundu [35].

Polarizácia - vysielanie v pásme VHF môže byť zaistené horizontálnou (GBAS/H) alebo eliptickou (GBAS/E) polarizáciou [35].

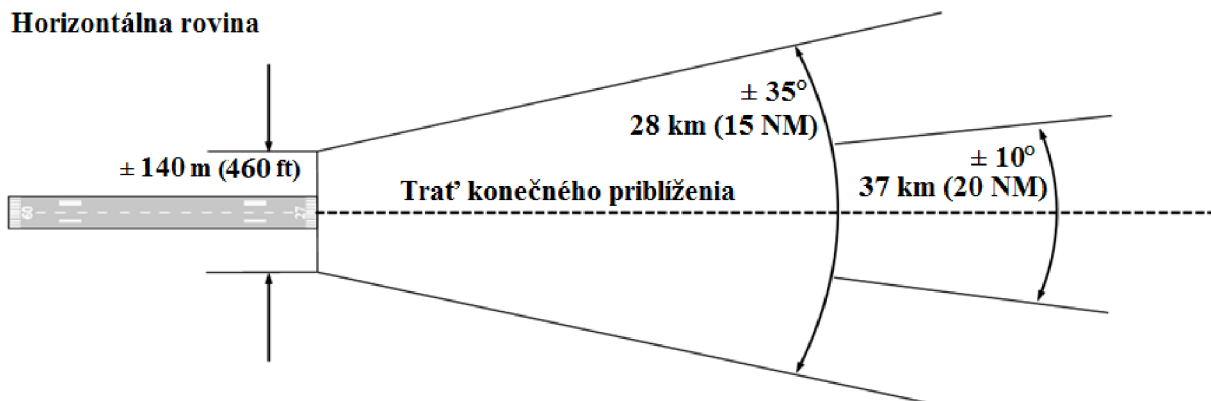
Kanálové číslo - každé priblíženie prostredníctvom systému GBAS je definované kanálovým číslom v rozmedzí 20 001 až 39 999. Systém tvorby kanálového čísla [35]:

$$\text{kanálové číslo} = 20\,000 + 40(F - 108,0) + 411(S) \quad (2)$$

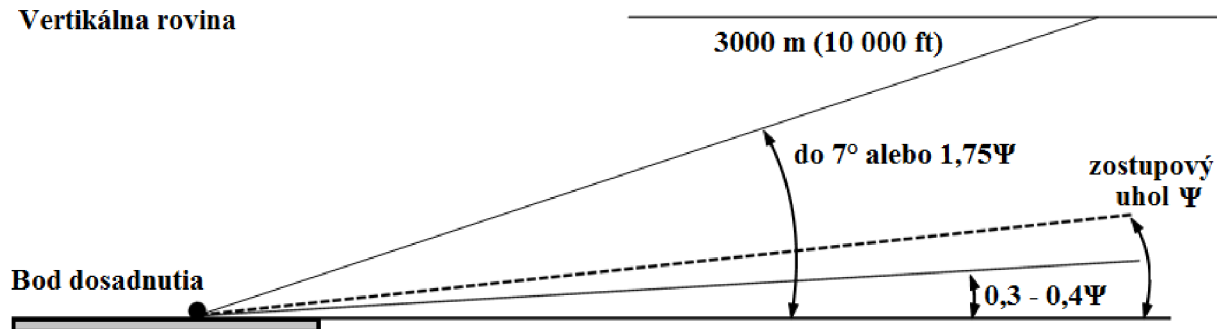
Kde: F: frekvencia VHF vysieláča pozemnej stanice GBAS,
S: RPDS (Reference Path Data Selector), týkajúci sa daného bloku FAS dát, alebo RSDS (Reference Station Data Selector), kt. závisí sa danej GBAS stanici.

Pokrytie - minimálne požiadavky na pokrytie systému GBAS sú definované v leteckom predpise L10/I a zobrazené na nasledujúcom obrázku (Obr. 40).

Horizontálna rovina



Vertikálna rovina



Obr. 40 Minimálne pokrytie systému GBAS ([44]; upravené autorom)

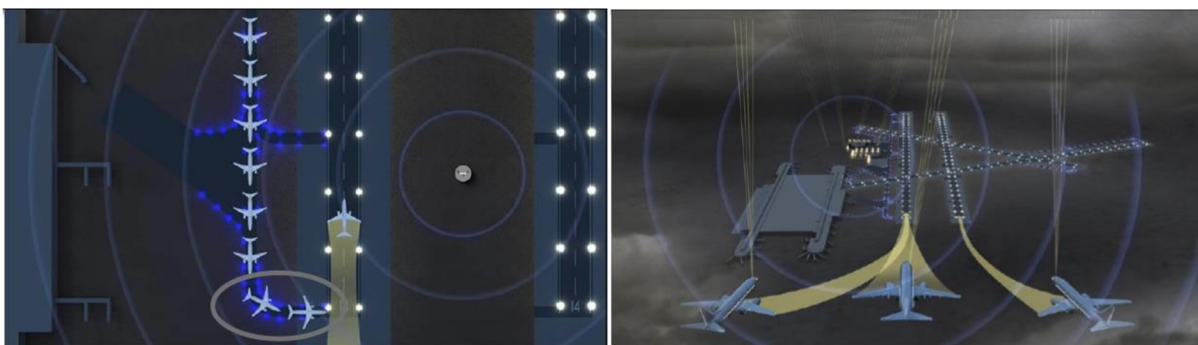
7.7 Výhody systému GBAS

V porovnaní so súčasnými systémami presného priblíženia prináša systém GBAS celú radu výhod. V nasledujúcej časti sú popísané najvýznamnejšie z nich.

Redukcia sektorových oblastí: Ako bolo spomenuté u systému ILS, jeho LLZ a GP majú definovanú smerovú vyžarovaciu charakteristiku, pričom akákoľvek nežiadúca prekážka v tejto vyžarovacej oblasti spôsobuje odchýlky vo vyžarovanom signáli smerom k lietadlu. Aby nedochádzalo k narušovaniu tohto vyžarovania, museli byť zriadené ochranné sektorové oblasti. Systém GBAS nevyužíva antény so smerovými vyžarovacími charakteristikami a tým je umožnené zredukovať veľkosť potrebnej ochrannej oblasti (Obr. 41 naľavo), čo má v konečnom dôsledku veľký vplyv na prevádzkové možnosti daného letiska [35].

Zakrivené priblíženie: Jednou z viacerých nevýhod systému ILS je jeho absencia tvorby zakrivenej približovacej trajektórie. Tento problém mal vyriešiť presný približovací systém MLS, ktorý určitým spôsobom túto požiadavku zabezpečoval, no systém ako taký sa v civilnom letectve neujal. Riešenie v tomto prípade zaručuje systém GBAS. V tomto prípade je možné zvoliť zakrivenú približovaciu trajektóriu v horizontálnom smere, ale aj vo smere vertikálnom. Táto skutočnosť prináša so sebou mnoho výhod, ako predovšetkým možnosť vyhnúť sa terénnym prekážkam v priebehu približenia a v dnešnej dobe čoraz častejšie vyhýbanie sa zaľudneným oblastiam v dôsledku redukovania hlukových emisií [35]. Priblíženie viacerých lietadiel súčasne zakrivenou trajektóriou je zobrazené na Obr. 41 napravo.

Obsluha viacerých RWY súčasne: ICAO prostredníctvom SARPs udáva, že systém GBAS je schopný konfigurácie pre obsluhu súčasne až 48 rôznych priblížení s rôznymi parametrami a pre rôzne RWY [35]. To znamená, že v porovnaní so systémom ILS nie je definovaný jeden typický spôsob približenia. Obsluha viacerých dráh súčasne prináša ohromnú výhodu pre prevádzkovateľa predovšetkým z ekonomického hľadiska. Pri použití najpoužívanejšieho systému pre presné priblíženie ILS, potrebujeme tento približovací systém pre každý smer približenia k danej RWY zvlášť. Táto skutočnosť predstavuje veľké náklady jednak na zakúpenie tohto systému a jednak náklady spojené s údržbou, prevádzkou a nákladmi spojenými s predĺžením certifikácie. V porovnaní so systémom ILS potrebujeme u systému GBAS prakticky len jeden pozemný segment pre obsluhu súčasne viacerých RWY a viacerých smerov približenia. Avšak nesmieme zabudnúť ani na obmedzenie spôsobené dosahom systému GBAS a s tým spojený obmedzený počet súčasne obsluhujúcich RWY z dôvodu minimálnych bezpečnostných vzdialeností medzi jednotlivými RWY.



Obr. 41 Redukcia sektorových oblastí (naľavo), zakrivená približovacia trajektória (napravo)[8]

Viaceré zostupové uhly: Z dôvodu využitia rôznych parametrov pre jednotlivé trajektórie približenia, môže byť na základe FAS databázy zvolený rôzny zostupový uhol, ktorý najlepšie odpovedá danému typu lietadla [35].

Poznámka: Údaje obsiahnuté v dátovom bloku úseku konečného približenia (FAS) sú uvedené v Prílohe 6 (Tab. 29) a zobrazené na Obr. 57.

Posunutú prahu dráh: V prípade posunutia prahu dráhy, či už dočasne alebo nastalo, systém GBAS sa môže relatívne rýchlo prekonfigurovať vzhľadom na nové umiestnenie dráhy. Táto skutočnosť predstavuje značnú výhodu v porovnaní so systémom ILS, u ktorého musia byť jeho časti doslova fyzicky premiestnené a opäť kalibrované na novú pozíciu [35].

Postup nevydareného priblíženia: SARPs v súčasnosti nedefinujú tento postup s použitím systému GBAS, avšak tento systém je schopný poskytnúť vedenie v priebehu postupu nevydareného priblíženia, čo by podstatnou mierou podieľalo na zvýšení bezpečnosti [35].

Určenie polohy lietadla: GBAS zaručuje zvýšenú presnosť určenia polohy lietadla, čo významne podporuje RNAV navigáciu a redukuje tak separačné minimá v oblasti TMA [35].

Táto skutočnosť sa dá potvrdiť pomocou jednoduchého výpočtu. Podľa predpisu L10/I, systém MLS nesmie disponovať v celom pracovnom rozsahu chybou väčšou než $PFE = \pm 0,25^\circ$ a $PFN = \pm 0,15^\circ$. Vezmeme v úvahu horší prípad, teda chybu PFE. Výpočet bude vyjadrovať chybu zamerania polohy lietadla v horizontálnej rovine pre 95 % prípadov pre vybranú vzdialenosť 40 km od umiestnenia kurzového majáka. Po následnom výpočte dospejeme k záveru, že chyba určenia polohy lietadla systémom MLS vo vzdialenosti 40 km sa bude rovnať ± 175 m. Napriek faktu, že táto chyba vyhovuje požiadavkám P-RNAV pre riadenie letov v TMA, jej hodnota je podstatne vyššia v porovnaní s chybou určenia polohy systémom GBAS (menej než ± 1 m).

*Poznámka: PFE (Path Following Error) – chyba zadania trajektórie,
PFN (Path Following Noise) – šum sledovania trajektórie.*

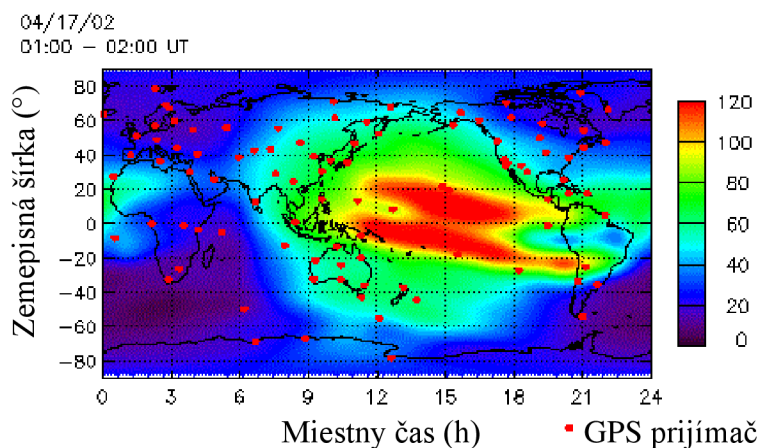
7.8 Prekážky v rozvoji GNSS priblížení

Spolu s celou radou výhod, ktoré prinášajú systémy založené na GNSS signáloch, prichádzajú aj viaceré problémy. Tieto problémy sú jednak spojené buď so samotnou certifikáciou systému alebo s prevádzkou ako takou. V nasledujúcej časti autor poukazuje na najvýznamnejšie problémy spojené s využívaním GNSS signálu v letectve zahrňujúc systém GBAS.

7.8.1 Vplyv ionosféry

Ionosféra ovplyvňuje vysielanie GNSS signálu predovšetkým dvoma spôsobmi. V prvom rade sa jedná o tzv. „skupinové oneskorenie“ (group delay), u ktorého je spôsobená oneskorená modulácia kódu neseného signálom GNSS. Táto chyba spôsobuje chybu o veľkosti desiatin metra. Druhý prípad sa nazýva tzv. „iskrenie“ (scintillation), kedy sa jedná o rýchle kolísanie výkonu a fázy prijatého signálu.

Chovanie ionosféry a ovplyvňovanie rádiových signálov je závislé predovšetkým na čase a umiestnení prijímača. Ionizovanie vrchnej časti atmosféry je ovplyvnené žiarením slnka, hustotou a rozložením voľných elektrónov, slnečným cyklom, ročnou dobou, časťou dňa a pod. Vo všeobecnosti sa dá povedať, že vplyv ionosféry v stredných zemepisných šírkach nie je príliš výrazný. Skupinové oneskorenie je postupné a iskrenie prakticky neexistuje. Nemusí to byť pravda v prípade ionosférickej búrky, avšak tie sú ojedinelé a dajú sa detegovať. Znázornenie ionosférickej búrky je na Obr. 42. V oblasti nižších zemepisných šírok je vplyv výraznejší a môže spôsobovať silné amplitúdové a fázové iskrenie, predovšetkým v miestnych večerných hodinách v priebehu vrcholu slnečného cyklu. Vo vyšších zemepisných šírkach je vplyv väčší než v stredných šírkach, ale menší než nižších zemepisných šírkach. V tomto prípade sa vyskytuje predovšetkým fázové iskrenie v priebehu zvýšenej ionosférickej aktivity [35].



Obr. 42 Ionosférická búrka [49]

Diferenčné systémy GNSS riešia tieto problémy viacerými prístupmi. Systém GBAS opravuje signál GNSS o viaceré chyby diferenčnými korekciami súčasne, vrátane chyby satelitných hodín, efemeríd a chýb spôsobených pri prechode signálov ionosférou a troposférou. Po aplikácii diferenčnej korekcie sú eliminované alebo značne zredukované všetky podstatné chyby. Hlavným problémom sú predovšetkým spomínané chyby spôsobené ionosférickým oneskorením, ktoré sa môže meniť v závislosti na vzdialenosti od prijímača. Tento problém predstavuje značnú prekážku pre splnenie požiadaviek pre presné priblíženie CAT I a najväčší problém pre splnenie požiadaviek PA CAT II/III. Hlavný problém v oblasti certifikácie predstavuje dokázať adekvátnym spôsobom, že systém disponuje požadovanou presnosťou a integritou aj v priebehu ionosférických búrok, kedy toto oneskorenie spôsobuje chybu značne meniacu sa s časom a priestorom [35].

7.8.2 Interferencia

Pri využívaní systému GBAS treba počítať aj s problémami interferencie signálov, ktoré môžu viesť až k úplnému zablokovaniu signálu. Interferencia sa týka vysielania v pásme VHF, ale aj v pásme vysielania GNSS signálu. Spolu s vysielaním GBAS správ v pásme VHF v rozmedzí 108,0–118,0 MHz je toto frekvenčné pásmo využívané aj lokalizérom systému ILS a rádiomajakom VOR, u ktorých je problém interferencie pomerne známy. U vysielania GNSS signálu boli viackrát zaznamenané problémy interferencie spôsobené v dôsledku využívania rôznych rušičiek [35].

7.8.3 Zabezpečenie signálu GNSS

Ďalším problémom spojeným s priblížením pomocou signálu GNSS je zabezpečenie samotného signálu pred úmyselným rušením. Hlavnou snahou rušenia je zamedzenie jeho využívania užívateľom alebo zámerné poškodenie užívateľa [40].

S narastajúcim počtom užívateľov GNSS vo svete celkovo, narastá úmerne aj počet prípadov rušenia tohto signálu. Z tohto dôvodu sa kladie veľký dôraz na vylepšenie zabezpečenia proti takýmto pokusom, avšak žiaľbohu, rušičky sú vyvíjané tiež čoraz viac sofistikovanejšie. Dôvodov rušenia signálu môže byť viacero. Či už ide len o pokus, či je to naozaj možné, cez rušenie signálu z dôvodu zamedzenia informácie o osobnom pohybe, až po cieľavedomé rušenie signálu protivníka vo vojnovom konflikte [40].

V súčasnej dobe prebieha napríklad na Ústave leteckej dopravy projekt s názvom: „*Systém pro odhalování nezákonného rušení GNSS signálu v blízkosti strategické infrastruktury*“, ktorý je podporovaný Ministerstvom vnútra Českej republiky. Hlavným cieľom tohto projektu je vytvorenie zariadenia, ktoré by bolo schopné detegovať všetky súčasné rušičky signálu na trhu. Nutnou súčasťou projektu je aj vypracovanie návrhu na umiestnenie tohto zariadenia. Vhodné umiestnenie týchto zariadení dokáže zvýšiť odolnosť voči rušeniu predovšetkým včasnou informáciou o probléme. Je nutné podotknúť, že možnosť rušenia signálu vrhá tiež nespôľahlivosti na väčšie využitie GNSS a je potrebné sa týmto prevádzkovým obmedzením zaoberať [40].

7.8.4 Zložitosť hodnotenia bezpečnosti

Tento problém vychádza zo samotnej novosti systémov. Priblíženia s využitím signálov GNSS sa využívajú relatívne krátko, čo má za následok často krát nedôveru v samotný systém a vedie ku skepticizmu prevádzkovateľov. Preukázanie bezpečnosti sa stretáva s množstvom prekážok a problémov, ktorým nepomáha ani akási subjektivita v posudzovaní daných kritérií. Tento problém je pomerne ťažko riešiteľný a azda najvýznamnejšie riešenie spočíva v spoľahlivosti systému overeného časom a počtom realizovaných pokusov.

7.9 Súčasné využitie

Hneď na úvod treba opäť poznamenať, že v súčasnosti je systém certifikovaný len pre priblíženie CAT I. Stanice systému GBAS sú umiestnené takmer po celej zemeguli a ich počet postupne narastá. Umiestnenie staníc GBAS v rámci oblasti Európy je znázornené na Obr. 43.



Obr. 43 Rozmiestnenie GBAS staníc v Európe ([24]; upravené autorom)

Zelená značka predstavuje stanice ktoré sú operačné pre CAT I, avšak nie sú pre verejnosť publikované. Väčšina z nich je umiestnená v Rusku. Fialová značka taktiež predstavuje operačné stanice CAT I, ale tieto sú verejne publikované. V rámci európskeho kontinentu je ich väčšina umiestnená na nórskom pobreží. Červená značka predstavuje stanice, ktoré boli vytvorené za účelom výskumnej činnosti. V Európe je to napríklad v Palerme alebo v nemeckom meste Braunschweig. Letiská, u ktorých prebieha štúdium implementácie systému GBAS, sú znázornené bielou značkou a jedným z týchto letísk je aj londýnske letisko Heathrow. Posledným typom staníc GBAS umiestnených v Európe sú stanice vybudované ako prototypy pre presné priblíženie CAT III (modrá značka). Vo francúzskom meste Toulouse prebieha testovanie systému GBAS firmy Thales pre CAT III už od roku 2012 [24].

7.10 Problém certifikácie systému GBAS pre CAT II/III

Jedným z hlavných zámerov vývoja systému pre presné priblíženie GLS bolo nahradenie súčasných systémov a odstránenie tak ich nedostatkov. Systém GLS, ktorý by splňal náročné podmienky presného priblíženia CAT II/III, by dokázal zaistiť automatické pristávanie a spolu s ďalšími výhodami, ktoré už boli spomenuté, by značným spôsobom zmenil smerovanie civilného letectva. Pri analýze súčasného využitia systému GLS autor narazil na viacero nezrovnalostí. Ako je dobré známe, GLS pre CAT I sa využíva v civilnom letectve už značnú dobu a už od začiatku vývoja tohto systému sa hovorilo o schopnosti plnenia požiadaviek pre CAT II/III. Čo sa týka bližšieho termínu implementácie systému GLS pre túto kategóriu, takmer všetky zdroje uvádzajú rozdielne údaje. S postupnou implementáciou sa počítalo približne od roku 2010 až po súčasnosť.

Problémy spojené s implementáciou tejto kategórie by sa dali rozdeliť do viacerých skupín. Okrem už spomenutých problémov, ktoré sú popísané v predchádzajúcej časti, by sa mohol na prvý pohľad javiť ako najväčší problém zaistenie požadovanej presnosti a integrity.

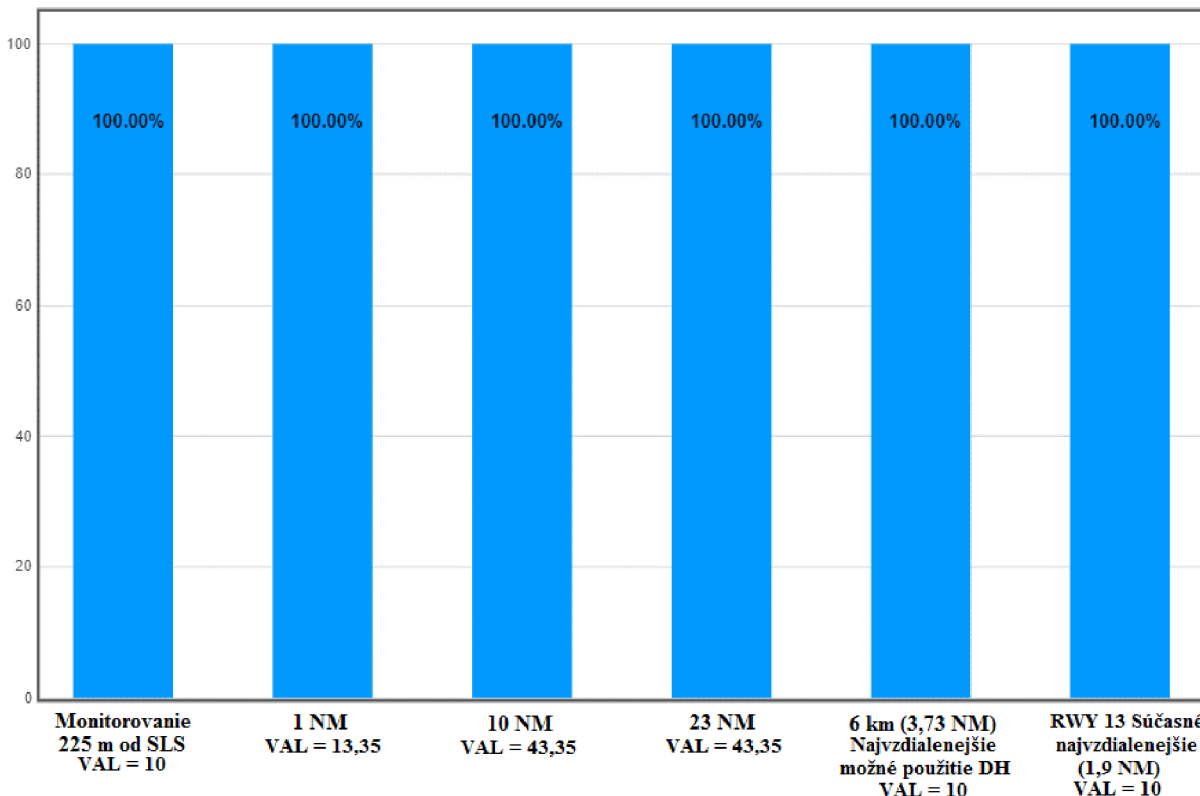
Pre monitorovanie výkonu systému GBAS organizácia FAA zriadila 6 testovacích stanovišť GBPM (Ground Based Performance Monitor), u ktorých prebieha sledovania integrity, presnosti, dostupnosti a kontinuity. Sledovaným systémom v USA je predovšetkým systém vyrobený firmou Honeywell označovaný ako SLS-4000 (SmarthPath Landing System 4000) [21]. Jedným z týchto testovacích stanovišť systému SLS-4000 je aj na letisku v Atlantic City v USA (ACY), ktorého konfigurácia a umiestnenie GBAS systému je zobrazené na Obr. 44.



Obr. 44 Letisko ACY v Atlantic City ([25]; upravené autorom)

Systém SLS-4000, ktorý je inštalovaný na letisku ACY je certifikovaný pre presné priblíženie CAT I a tiež figuruje ako prototyp zaisťujúci požiadavky pre CAT II/III. Pre demonštráciu splnenia požiadaviek autor uvádza príklady sledovaných parametrov systému, ktoré sú monitorované nepretržite a sú uverejnené organizáciou FAA [21]. Údaje pochádzajú z dňa 01.06.2018 z už spomínaného letiska ACY.

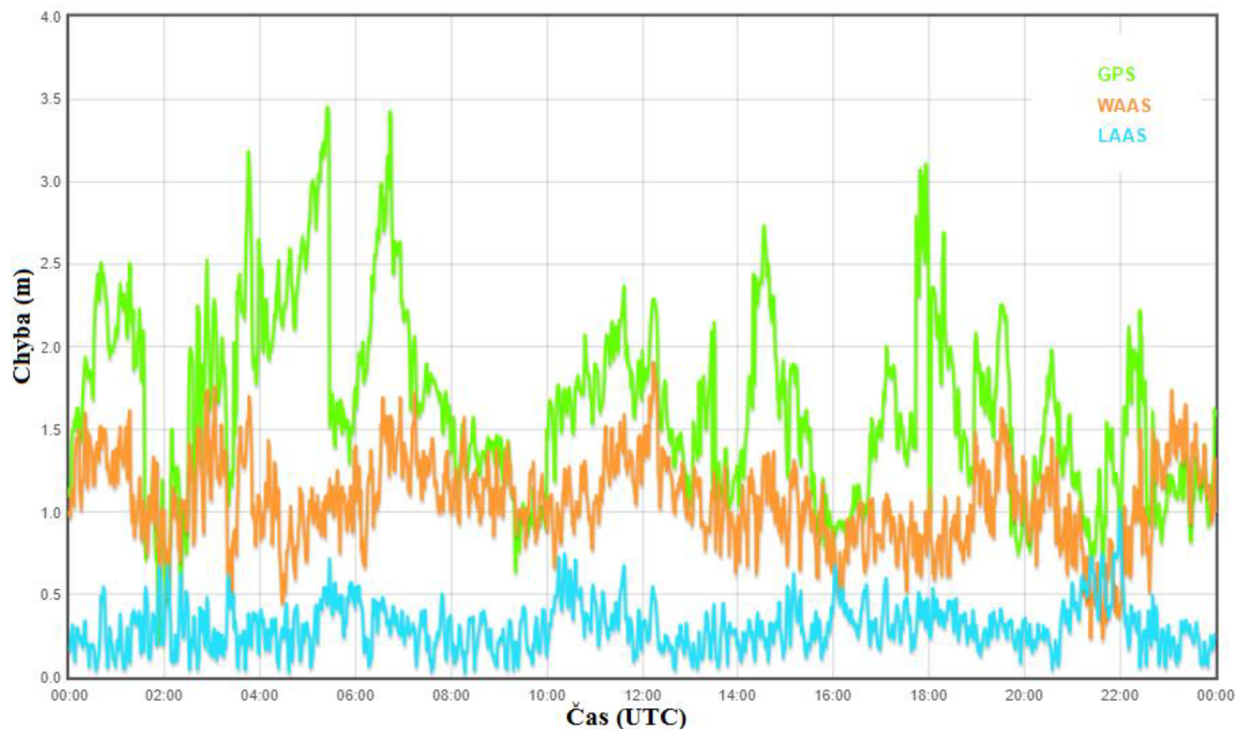
Prvým údajom je nepretržité sledovanie dostupnosti v priebehu 24 hodín z uvedeného dňa. Údaje sú zobrazené na Obr. 45 a je zjavné, že úroveň dostupnosti je viac než dostačujúca až do vzdialenosti 23 NM (42 km), ktorá predstavuje približný dosah VDB vysielateľov.



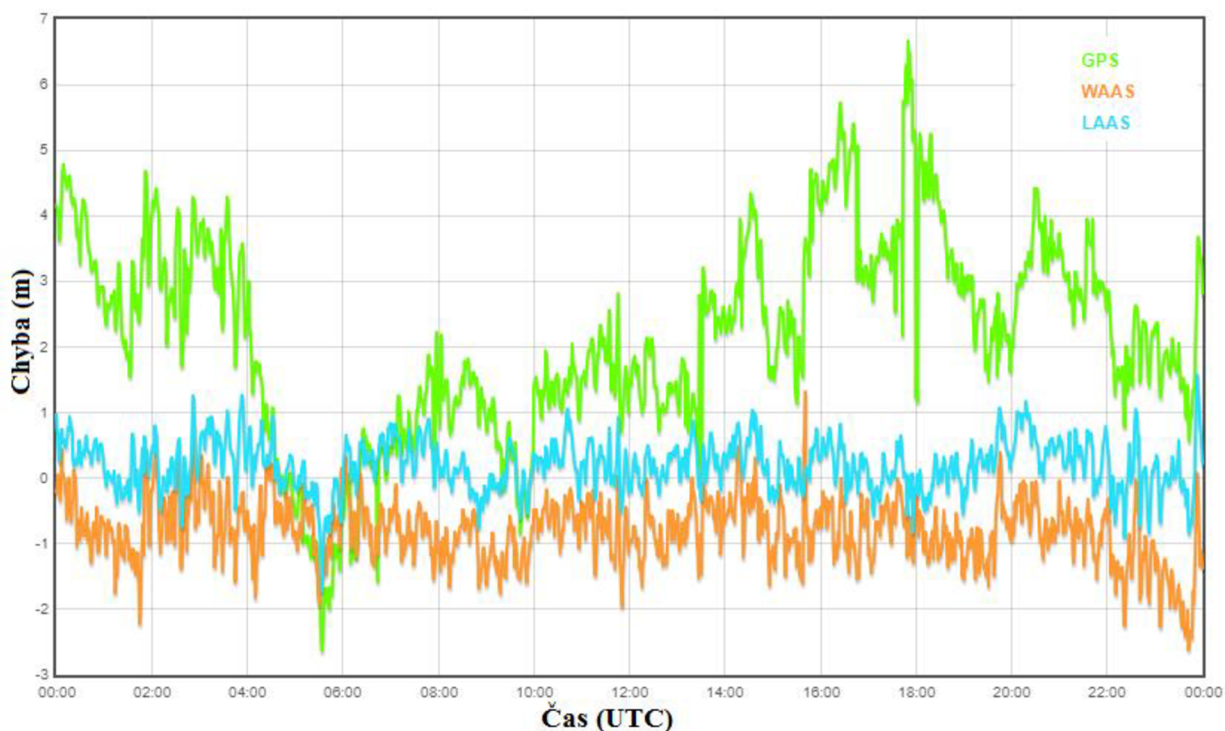
Obr. 45 Dostupnosť do vzdialenosti 23 NM [21]

Ďalšími sledovanými parametrami sú hodnoty presnosti v horizontálnej aj vertikálnej rovine, rovnako v priebehu 24 hodín. Spomenuté údaje sú zobrazené na Obr. 46 pre horizontálnu rovinu a na Obr. 47 pre vertikálnu rovinu. Z uvedených údajov je znateľné, že presnosť v horizontálnej rovine je dosiahnuteľná na vyššej úrovni než v rovine vertikálnej. No napriek tomuto faktu, v oboch prípadoch úroveň presnosti pomerne prevyšuje úroveň požadovanú pre CAT I. Pre PA CAT I je v horizontálnej rovine požadovaná presnosť 16 metrov, pričom v tomto prípade úroveň presnosti vo väčšine prípadov nepresahuje 1 meter. Obdobné je to u vertikálnej roviny, kde je požadovaná presnosť 4 až 6 metrov, a v tomto prípade taktiež presnosť podstatným spôsobom nepresahuje 1 meter.

Z týchto záverov je zrejmé, že úroveň zaistenia presnosti v 95 % prípadoch je dostačujúca aj pre CAT II/III. Pre lepšiu ilustráciu čitateľovi sú na uvedených obrázkoch znázornené úrovne presnosti nie len pre systém GBAS (v tomto prípade LAAS), ale aj presnosť samotného systému GPS a presnosť zaistenia presnosti signálov augmentačným systémom SBAS, v tomto prípade systémom WAAS.

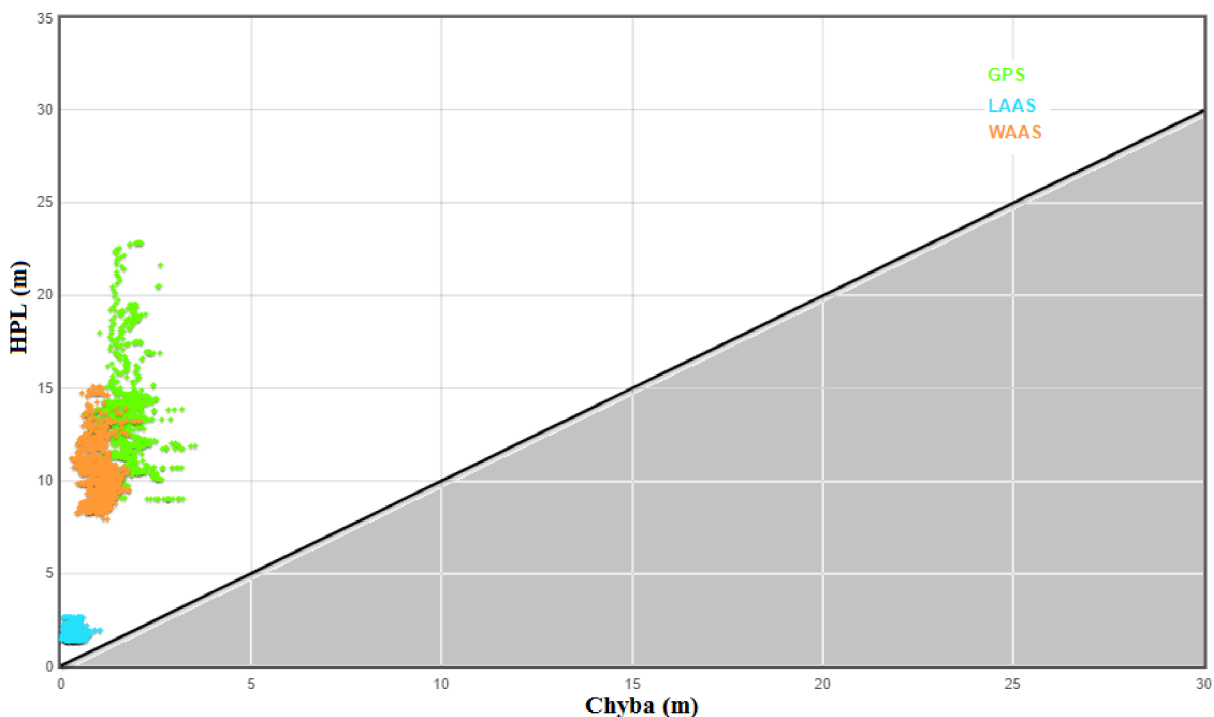


Obr. 46 Horizontálna presnosť [21]

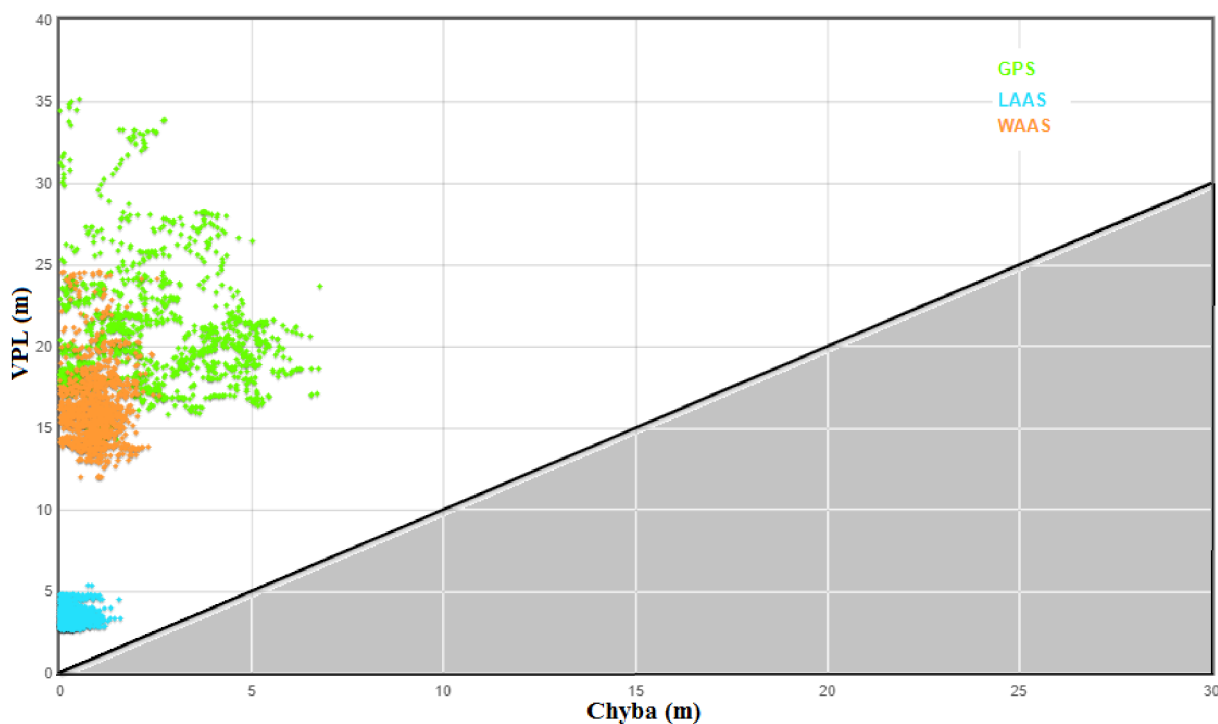


Obr. 47 Vertikálna presnosť [21]

Posledné údaje znázorňujú úroveň ochrany (Protection Level) v porovnaní s celkovou chybou. Úroveň ochrany v horizontálnej rovine je znázornená na Obr. 48 a vo vertikálnej rovine na Obr. 49. Je treba poznamenať, že znázornené bodové údaje sa nesmú nachádzať pod čiarou v tmavej časti obrázku, čo by znamenalo, že celková chyba by presahovala úroveň ochrany.



Obr. 48 Úroveň ochrany v horizontálnej rovine HPL ([21]; upravené autorom)



Obr. 49 Úroveň ochrany vo vertikálnej rovine VPL ([21]; upravené autorom)

Kvôli nepostačujúcim dostupným informáciám autor oslovil firmu Honeywell, ktorá je v súčasnosti jedným z popredných výrobcov systémov GLS. Stanovisko firmy udáva, že v súčasnosti disponujú systémami pre CAT II/III, avšak všetko záleží predovšetkým na dopyte po tomto systéme zo strany prevádzkovateľov. V prípade zvýšeného záujmu, je nutné len postaviť certifikačné stredisko, a samotná certifikácia GBAS pre CAT II/III by nemala predstavovať problém [37].

8 IMPLEMENTÁCIA SYSTÉMU GBAS NA LETISKU LKPR

8.1 Úvod

Jeden z najväčších problémov spojený s nárastom leteckej prepravy predstavuje nedostatočná kapacita letísk. Tento problém je celosvetový a výnimkou nie je ani Letisko Václava Havla Praha, ktoré v súčasnej dobe odbavuje približne 93 % všetkých cestujúcich v Českej republike. Kapacitný problém bol vyriešený z časti otvorením nového Terminálu 2 v roku 2006, ktorý však vyriešil len terminálovú kapacitu pre odbavenie cestujúcich. Naopak dráhový systém neprešiel výraznými zmenami od 60. rokov minulého storočia a v súčasnej dobe predstavuje hlavný problém v očakávanom raste civilnej dopravy na danom letisku [47]. Vývoj rastu odbavených cestujúcich v časovom období medzi rokmi 2013-2018 je zobrazený na Obr. 50.



Obr. 50 Počet odbavených cestujúcich na Letisku LKPR ([46]; upravené autorom)

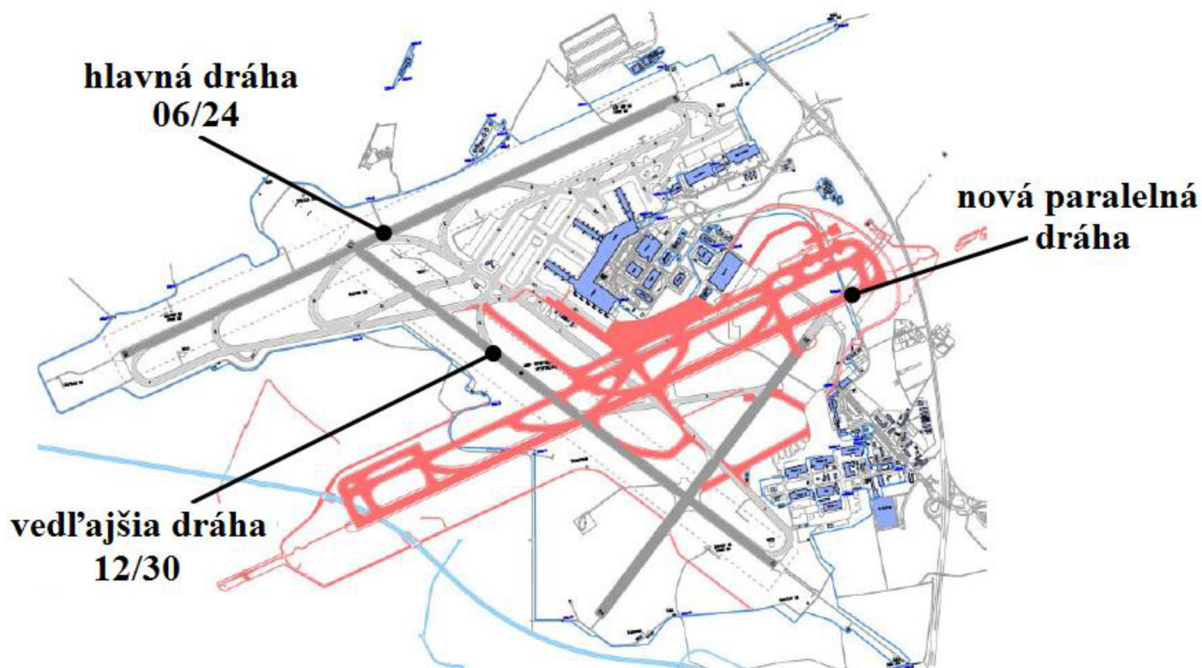
Tento spomínaný kapacitný problém by vyriešila výstavba paralelnej dráhy k súčasnej hlavnej dráhe 06/24. Myšlienka výstavby paralelnej dráhy nie je ničím novým a s jej výstavbou sa počítalo prakticky už od 60. rokov minulého storočia. Počiatkom 70. rokov bola zapracovaná do územnej plánovanej dokumentácie a v roku 2011 získal prevádzkovateľ letiska kladný posudok od Ministerstva životného prostredia Českej republiky ohľadom dopadu výstavby paralelnej dráhy na životné prostredie. Napriek kladnému napredovaniu došlo k značnému zdržaniu kvôli súdnym sporom s organizáciami tvorenými prevažne obyvateľmi priľahlých obcí, ktorí nesúhlasia s výstavbou dráhy najmä kvôli následnej hlukovej záťaži [7, 47].

Spolu s riešením kapacitného problému letiska prichádzajú ďalšie výhody ako napr. [47]:

- zníženie prevádzky na vedľajšej dráhe 12/30, ktorá podstatne zaťažuje hlukom obyvateľov Prahy a Kladenska,
- zaistenie efektívnejšej prevádzky a zníženého vplyvu na životné prostredie,
- zvýšenie kapacity cestujúcich umožní väčší rozvoj cestovného ruchu Českej republiky,
- priamy vplyv na zvýšenie HDP Českej republiky,
- v neposlednom rade podpora zamestnanosti obyvateľov Prahy a Stredočeského kraja.

8.2 Analýza súčasného stavu

Najnovšie správy poukazujú na zamietnutie všetkých sťažností a s výstavbou sa počíta približne v roku 2022. Samotná výstavba by mala trvať približne 4 roky a odhadovaná cena výstavby bola stanovená na 9 miliárd českých korún. Podľa predbežných plánov by mala paralelná dráha slúžiť primárne pre pristátie lietadiel a celková kapacita pohybov lietadiel na letisku by sa mala navýšiť až na 72 za hodinu, čo by malo zaistiť odbavenie až 21 miliónov cestujúcich za rok [7]. Návrh umiestnenia paralelnej dráhy je zobrazený na Obr. 51.



Obr. 51 Umiestnenie novej paralelnej dráhy na LKPR ([1]; upravené autorom)

Poznámka: Okrem oficiálneho názvu Letisko Václava Havla Praha, sa čitateľ môže stretnúť i s predchádzajúcim pomenovaním Praha-Ruzyně, no autor v ďalšej časti práce bude používať len ICAO kód letiska LKPR.

S novou dráhou nastáva aj otázka použitia približovacích systémov. V súčasnej dobe pre dráhy 06/24 a 12/30 sú publikované postupy približenia na pristátie pomocou navigačných zariadení uvedených v nasledujúcej tabuľke (Tab. 18). Pre novú paralelnú dráhu budeme uvažovať o použití predovšetkým systému GBAS. V poslednej časti práce autor v stručnosti porovnáva aj implementáciu ďalších systémov presného približenia.

Tab. 18 Publikované približenia na pristátie letiska LKPR (k dňu 8.11.2018) [52]

RWY 06	RWY 24	RWY 12	RWY 30
ILS (CAT I, LOC)	ILS (CAT I, II, IIIA, IIIB, LOC)	ILS (CAT I, LOC)	ILS (CAT I, LOC)
NDB/DME	NDB/DME	VOR/DME	VOR/DME
RNAV (GNSS)	RNAV (GNSS)	RNAV (GNSS)	RNAV (GNSS)

Poznámka: V rámci procedúr RNAV(GNSS) sú pre všetky dráhy publikované minimá LNAV a LNAV/VNAV.

8.3 Analýza meteorologických podmienok

Pri uvažovaní o implementácii systému GBAS na letisku LKPR treba zohľadniť nepochybné aj meteorologické podmienky. V súčasnej dobe systém GBAS je certifikovaný len pre priblíženie CAT I, ktoré neumožňuje prevádzku v priebehu aktivácie postupov za zníženej dohľadnosti. Jedinými približovacími systémami, ktoré túto prevádzku umožňujú, sú presné približovacie systémy ILS a MLS pre CAT II a CAT III.

Samotné postupy za zníženej dohľadnosti LVP (Low Visibility Procedures) predstavujú súbor pravidiel, ktoré musia byť vytvorené pre zaistenie vzletov a priblížení na pristátie s dostatočnou bezpečnosťou v priebehu kritických meteorologických podmienok. Príprava na zahájenie LVP postupov začína pri RVR TDZ alebo MID 1500 m alebo nižšou, pri predpokladanej klesajúcej tendencii, alebo pri výške spodnej základe oblačnosti 300 ft (91 m) alebo nižšej, s predpokladanou klesajúcou tendenciou. Aktiváciu prípravy LVP postupov vykonáva meteorológ (pozorovateľ) na základe vyhodnotenia meteorologickej situácie. Následná aktivácia postupov LVP, tzn. podmienok CAT II a CAT III, nastane pri poklese RVR TDZ 600 m alebo menej, alebo pri výške základne spodnej oblačnosti 60 m alebo nižšej. Aktiváciu postupov za zníženej dohľadnosti zaisťuje riadiaci TWR, súčasne sa vedúci služby APP postará o vysielanie správy ATIS v znení: „*Low visibility procedures in operation, use category II/III holding points*“ [55].

*Poznámka: RVR TDZ – dráhová dohľadnosť v dotykovej zóne (TouchDown Zone),
RVR MID – dráhová dohľadnosť v strede dráhy (MID-point).*

Potrebu implementácie systému GBAS pre CAT II/III na letisku Ruzyně autor práce analyzoval na základe početnosti podmienok LVP. Údaje o početnosti týchto postupov poskytol *Odbor letecké meteorologie ČHMÚ* [38]. Tieto údaje popisovali časové údaje o početnosti aktivácie príprav a postupov LVP na danom letisku. Pre analýzu tejto problematiky boli spracované len údaje o početnosti postupov LVP a ich početnosť je uvedená v Tab. 19. Z uvedených údajov je zjavné, že početnosť postupov za zníženej dohľadnosti tvorila nezanedbateľnú časť celej prevádzky v danom období. Pri uvažovaní o najhoršom možnom prípade budeme vychádzať z údajov z roku 2016, kedy postupy LVP boli aktivované v priebehu 56 dní pri priemernom trvaní 7 h 46 min. Letisko LKPR má stanovenú maximálnu kapacitu v priebehu podmienok LVP na 24 pohybov za hodinu [55]. Teda v priebehu priemerného trvania podmienok v roku 2016 mohlo byť uskutočnených približne 186 pohybov. Ak by v tom čase boli k dispozícii približovacie procedúry len pre CAT I, museli by byť tieto lety divergované na náhradné letiská, prípadne by museli vyčkávať až do zlepšenia meteorologických podmienok. Z tohto dôvodu je nutné uvažovať o implementácii systému GBAS pre CAT II/III, avšak pre jeho súčasnú absenciu je táto úvaha možná len na teoretickej úrovni.

Tab. 19 Početnosť podmienok LVP na letisku LKPR v období 2016–2018 ([38], spracované autorom)

	2016	2017	2018
Počet dní s LVP	56	44	49
Priemerné trvanie LVP	7 h 46 min	6 h 27 min	5 h 05 min
Celkové trvanie LVP	419 h 10 min	276 h 57 min	249 h 04 min

8.4 Postup implementácie

Za stručný postup implementácie je možné uviesť ako príklad implementáciu systému GBAS na letisku vo Frankfurtu [59]:

1. spracovanie operačného konceptu,
2. analýza pozemného priestoru plánovaného pre umiestnenie pozemnej časti systému GBAS (GNSS prijímače, VDB vysielateľ ...),
3. koordinácia použiteľných frekvencií v pásme VHF, úradné schválenia, príprava priestoru,
4. návrh procedúr (FAS dáta, AIP),
5. prvotné testovanie FAT (Factory Acceptance Testing),
6. samotná inštalácia pozemnej časti systému GBAS, konfigurácia pre dané umiestnenie,
7. zahrnutie do systému ATC,



8. pozemné testovanie,
9. letové testovanie certifikovaným lietadlom pre systém GBAS,
10. druhotné testovanie SAT (Site Acceptance Testing), inštalácia musí odpovedať prvotným požiadavkám,
11. zriadenie konceptu údržby,
12. hodnotenie prevádzkovej bezpečnosti,
13. ATCO tréning,
14. technické a prevádzkové schválenie.



Schválená certifikácia

8.5 Umiestnenie antén

Pre umiestnenie pozemného subsystému GBAS musia byť dodržané určité špecifické požiadavky. Základné požiadavky kladené na antény sú popísané v nasledujúcej časti.

8.5.1 Antény referenčných staníc

Priestor pre umiestnenie antén referenčných staníc musí byť bez prekážok, ktoré by ovplyvňovali elevačný uhol príjmu GNSS signálu. Tento elevačný uhol musí byť čo najmenší a v súčasnosti sú dosiahnuté hodnoty v rozmedzí 5°–10°. Pri umiestňovaní antén sa musí dbať aj na zníženie rizika viaccestného šírenia signálu, ktorý by ovplyvnil požadovaný signál. Umiestnením antény blízko zemského povrchu sa zníži riziko viaccestného šírenia spôsobeného odrazom smerom dole od antény. Avšak na druhej strane, výška antény musí byť dostatočná s ohľadom na snehovú pokrývku a akýkoľvek iný zásah okolitej prevádzky. Taktiež treba brať do úvahy kovové predmety v dosahu ovplyvniteľnosti antén. V neposlednom rade musí konštrukcia antén odolať pôsobeniu vetra a zaťaženiu spôsobeného snehovou pokrývkou [35]. Referenčná anténa je vyobrazená na Obr. 52 naľavo.

8.5.2 VHF anténa

Anténa pre vysielanie v pásme VHF musí byť umiestnená tak, aby bola viditeľná z akéhokoľvek bodu v dosahu každého podporovaného úseku konečného priblíženia na pristátie. Aby bol zaistený požadovaný dosah pre viaceré FAS súčasne a aby bola zaistená väčšia flexibilita umiestnenia antény, dosah VHF vysieláčov by mal byť väčší ako požadovaný pre jednotlivé úseky konečného priblíženia. Schopnosť zaistiť tento dosah závisí na samotnom umiestnení antény s ohľadom k danej RWY a samotnej výške antény. Dostatočná výška antény je potrebná pre zaistenie adekvátnej intenzity signálu užívateľom v nízkej letovej výške, ale súčasne vedie k nežiadanej viaccestnému šíreniu signálu. Vhodná výška antény preto musí byť založená na analýze zahrňujúcej aj vplyv budov a okolitého terénu s ohľadom na požadovanú intenzitu signálu [35]. VHF anténa je zobrazená na Obr. 52 napravo.



Obr. 52 Referenčná anténa (naľavo), VHF anténa (napravo) [59]

8.6 Porovnanie implementácie jednotlivých systémov

Táto časť je zameraná na porovnanie viacerých systémov presného priblíženia pre aplikáciu na letisku LKPR. Pre implementáciu uvažujeme s už vybudovanou plánovanou paralelnou dráhou 06R/24L. Pre porovnanie jednotlivých aplikácií boli vybrané okrem systému GBAS presné približovacie systémy ILS a MLS. Hoci systém MLS nie je v súčasnosti využívaný v civilnom letectve, autorovi sa javí vhodné zahrnúť pre porovnanie aj tento systém, kvôli jeho stálej dostupnosti a schopnosti operovať i za podmienok LVP. Okrem týchto systémov presného priblíženia je analyzované použitie približovacej procedúry PBN s názvom LPV-200, ktorá je schopná prevádzky za podmienok CAT I. Jednotlivé aplikácie sú porovnané predovšetkým s implementáciou systému GBAS.

8.6.1 Variant I

V tejto časti autor uvažuje o implementácii systému GBAS. Zhrnutie najpodstatnejších výhod a nevýhod je uvedené v Tab. 20. Z analýzy početnosti postupov LVP sme dospeli k záveru, že je nutné použiť systém, kt. je schopný zaistiť podmienky CAT II/III. Pokiaľ použijeme systém GBAS pre CAT I pre paralelnú dráhu, autor navrhuje ponechať systém ILS zaisťujúci podmienky CAT II/III na dráhe 24R. Systém ILS pre CAT I na dráhe 12/30 a 06L ponechať len do doby životnosti systému, s následným nepredĺžením životnosti a to z dvoch dôvodov. Jedným z dôvodov je celková snaha znížiť prevádzku na dráhe 12/30 z dôvodu hlukovej záťaže v priľahlých oblastiach a jednak z možnosti obsluhy tejto dráhy systémom GBAS zaisťujúci podmienky CAT I aj na tejto dráhe.

Tab. 20 Zhodnotenie systému GBAS

Výhody	Nevýhody
✓ Redukcia sektorových oblastí	✗ Súčasná absencia podpory CAT II/III
✓ Nižšie prevádzkové náklady	✗ Náklady spojené s výstavbou
✓ Možnosť zakriveného priblíženia	✗ Skepticizmus prevádzkovateľov
✓ Obsluha viacerých RWY súčasne	✗ Palubný prijímač GBAS
✓ Možnosť posunutia prahu dráhy	✗ Zaistenie bezpečnosti GNSS signálu
✓ Možnosť voľby zostupového uhlu	✗ Vplyv Ionosféry
✓ Určenie polohy lietadla	✗ Interferencia VHF signálu
✓ Veľké množstvo frekvenčných kanálov	
✓ Schopnosť poskytnutia vedenia v priebehu postupu nevydareného priblíženia	

Omnoho perspektívnejšie je implementovanie systému GBAS zaisťujúce podmienky CAT II/III, teda prevádzku v podmienkach LVP. O tomto prípade bohužiaľ musíme uvažovať len na teoretickej úrovni, kvôli súčasnej absencii jeho certifikovanej verzie. Implementácia systému GBAS pre CAT II/III sa javí vo všeobecnosti ako veľmi perspektívna v prípade vybudovania paralelnej dráhy. V tomto prípade je zjavná najpodstatnejšia výhoda systému, a to možnosť obsluhy viacerých dráh súčasne pri vybudovaní len jednej pozemnej časti systému. Nezanedbateľné sú ani celkové nižšie náklady spojené s prevádzkou systému v porovnaní so systémom ILS. Tieto celkové náklady spojené s implementáciou a prevádzkou systémov GBAS a ILS pre CAT II/III sú uvedené v Tab. 21.

Pri použití systému GBAS CAT II/III autor navrhuje ponechať systém ILS CAT I na dráhe 12/30 a 06L do doby jeho životnosti bez ďalšieho jej predlžovania. Presný približovací systém ILS na dráhe 24R autor navrhuje ponechať predovšetkým ako zálohu v prípade výpadku systému GBAS. Treba však poukázať na skepticizmus prevádzkovateľov kvôli samotnej novosti systému a jeho krátkodobej prevádzke, a predovšetkým tak absencii systému pre podmienky CAT II/III.

Tab. 21 Implementačné náklady systému GBAS a ILS pre CAT II/III [1]

	GBAS CAT II/III	ILS CAT II/III
Infraštruktúra CAT II/III	1 000 000 €	400 000 €
Inštalácia	120 000 €	175 000 €
Náklady na prácu	44 000 €	195 000 €
Kalibrácia	30 000 €	30 000 €
Prevádzkové náklady (10 rokov)	430 000 €	1 050 000 €
Celkové náklady	1 624 000 €	1 850 000 €

Poznámka: Implementačné náklady uvedené v Tab. 21 pochádzajú z roku 2012 [1], preto ich uvedenie má skôr ilustratívny charakter a nemusí odpovedať skutočnosti.

8.6.2 Variant II

Ďalší variant popisuje možnosť aplikácie systému ILS na novej paralelnej dráhe 06R/24L. V súčasnej dobe sa jedná o najpoužívanejší systém presného priblíženia a jeho aplikácia sa javí ako najviac pravdepodobná. Celkové zhrnutie výhod a nevýhod presného približovacieho systému ILS je uvedené v Tab. 22.

Ako bolo spomenuté u predchádzajúceho systému, z početnosti podmienok LVP autor usudzuje, že nový systém by mal disponovať možnosťou prevádzky za podmienok CAT II/III. Hoci súčasná hlavná dráha disponuje systémom ILS pre CAT II/III, v prípade ďalšieho tohto systému dostávame zálohu v prípade poruchy jedného z nich. Avšak z ekonomického hľadiska by ďalší systém ILS pre CAT II/III bol veľmi nákladný, či už z implementačného alebo prevádzkového hľadiska. Nezanedbateľným faktom je aj skutočnosť, že v prípade systému ILS potrebujeme vybudovať jednotlivé pozemné zariadenia pre oba smery priblíženia. V neposlednom rade, systém LPV-200 dokáže zaistiť prevádzku CAT I bez akejkoľvek ďalšej pozemnej zástavby v blízkosti letiska. Z týchto uvedených faktov navrhuje autor v prípade aplikácie systému ILS použiť systém schopný zaistiť podmienky CAT II/III, avšak len z jedného smeru priblíženia. Dráha tak bude poskytovať zálohu v prípade problémov s približovacím systémom na dráhe 24R. Pre opačný smer priblíženia autor navrhuje použiť procedúry LPV, ako aj u dráhy 12/30 a 06L, ktorých systém ILS pre CAT I sa z dlhodobého hľadiska javí ako neperspektívny.

Tab. 22 Zhodnotenie systému ILS

Výhody	Nevýhody
✓ Podpora priblíženia CAT II/III	✗ Implementačné a prevádzkové náklady
✓ Prevádzka v podmienkach LVP	✗ Schopnosť obsluhy len jedného smeru
✓ Najpoužívanejší PA systém	✗ Veľké sektorové oblasti
✓ Systém overený časom	✗ Malý počet frekvenčných kanálov
	✗ Interferencia s FM vysielaním
	✗ Možnosť len priameho priblíženia
	✗ Nemožnosť umiestnenia v členitom teréne

8.6.3 Variant III

Ďalší variant aplikácie systému presného priblíženia na letisku LKPR predstavuje mikrovlnný systém MLS. Celkové zhrnutie výhod a nevýhod daného systému je uvedené v Tab. 23. Na prvý pohľad by sa dalo predpokladať, že z uvedených informácií sa tento systém javí ako jednoznačne najlepší. Avšak súčasné využitie tohto systému je diametrálne odlišné. Ako už bolo spomínané v predchádzajúcich častiach, systém MLS bol vytvorený ako náhrada za systém ILS, aby vyriešil jeho hlavné nedostatky. Jeho postupná implementácia prišla v čase rozmachu rozširovania využívania systémov GNSS a v súčasnej dobe sa so systémom MLS takmer vôbec nepočíta. Posledné väčšie uplatnenie našiel na letisku Heathrow, u ktorého však bol nahradený najnovšou verziou systému ILS. Z uvedených skutočností je teda zjavné, že implementácia tohto systému na letisku LKPR sa javí ako najmenej pravdepodobná.

Tab. 23 Zhodnotenie systému MLS

Výhody	Nevýhody
✓ Podpora priblíženia CAT II/III	✗ Implementačné a prevádzkové náklady
✓ Prevádzka v podmienkach LVP	✗ Praktická absencia v civilnom letectve
✓ Možnosť zakriveného priblíženia	
✓ Možnosť voľby zostupového uhla	
✓ Veľké množstvo frekvenčných kanálov	
✓ Vysielať v pásme SHF	
✓ Najväčší pracovný rozsah	
✓ Navedenie lietadiel typu VTOL a STOL	
✓ Vysielať doplnkových informácií	
✓ Schopnosť poskytnutia vedenia v priebehu postupu nevydareného priblíženia	

8.6.4 Variant IV

Posledný variant sa zaoberá možnosťou implementácie procedúr LVP-200 na novej paralelnej dráhe 06R/24L. Stručné zhrnutie výhod a nevýhod danej procedúry sú uvedené v Tab. 24. Ak uvažujeme o implementácii týchto procedúr, dosiahneme podmienky prevádzky len pre CAT I, no za cenu minimálnych nákladov. Treba opäť zdôrazniť, že sa jedná o procedúru koncepcie PBN a letisko nepotrebuje k jej prevádzke žiadne dodatočné pozemné zariadenie. Podstatné je, aby lietadlo disponovalo palubným SBAS prijímačom a bola vypracovaná približovacia procedúra pre daný smer priblíženia. V rámci aplikácie LPV procedúr pre zmienené letisko autor navrhuje, aby boli vypracované približovacie procedúry pre novú paralelnú dráhu 06R/24L a ponechaný systém ILS pre CAT II/III na dráhe 24R, a to predovšetkým kvôli početnosti podmienok LVP. Ďalej navrhuje, aby boli vypracované približovacie procedúry súčasne na dráhe 12/30 a 06L s postupným odstraňovaním systému ILS pre CAT I pre dané smery priblíženia, z už spomenutých dôvodov v predchádzajúcej časti. Rovnaké prevádzkové podmienky budú zaistené systémom LPV-200. V neposlednom rade, implementácia procedúr LPV na letisku LKPR je plánovaná na december 2019 (pozri 2.3.3).

Tab. 24 Zhodnotenie systému LPV-200

Výhody	Nevýhody
✓ Podpora priblíženia CAT I	✗ Absencia podpory CAT II/III
✓ Žiadne dodatočné vybavenie letísk	✗ Palubný prijímač SBAS
✓ Praktické nulové náklady letísk	✗ Zaistenie bezpečnosti GNSS signálu
✓ Čoraz viac používaný systém	✗ Vplyv Ionosféry
✓ Možnosť zakriveného priblíženia	
✓ Možnosť využitia v členitom teréne	
✓ Znížená záťaž pilotov	
✓ Nižší dopad na životné prostredie	

8.7 Zhodnotenie systému GBAS pre letisko LKPR

V tejto časti práce autor uvažoval o možnosti implementácie systému GBAS na letisku LKPR, s uvažovaním vybudovanej plánovanej paralelnej dráhy. Súčasne bola analyzovaná možnosť implementácie ostatných systémov presného priblíženia pre dané letisko. V spolupráci s ANS ČR autor dospel k nasledujúcim záverom.

Z analyzovaných faktov sa systém GBAS javí ako veľmi perspektívny, predovšetkým tak kvôli možnosti obsluhy viacerých dráh súčasne pri zástavbe len jedinej pozemnej časti. Na druhej strane, samotná táto okolnosť predstavuje aj podstatnú nevýhodu. Vzhľadom na fakt, že všetky agregáty sú zahrnuté len do jedného pozemného systému pre všetky dráhy, v prípade výpadku systému GBAS by tak prišli všetky tieto dráhy o prevádzkyschopnosť. Je preto nutné riešiť určitú formu zálohovania, napríklad ďalšími systémami ILS. V tomto prípade však nie je príliš ekonomické prevádzkovať oba systémy súčasne. Hoci samotná prevádzka systému GBAS je podstatne nižšia než prevádzka systému ILS, podľa [36] sú náklady spojené s výstavbou systému GBAS zrovnateľné s nákladmi na výstavbu štyroch systémov ILS. Čo sa týka samotného výpadku systému, ten v súčasnosti môže nastať z viacerých príčin. Ako bolo spomínané v predchádzajúcich častiach, stále väčší problém predstavuje zabezpečenie signálu GNSS pred rušením a blokovaním tohto signálu. Skepticizmus prevádzkovateľov zvyšujú ďalšie možnosti ovplyvnenia GNSS signálu, ako napríklad ionosférické búrky, ktoré podstatnou mierou vplyvajú na kvalitu prijatého signálu. Jeden z ďalších problémov predstavuje i samotné poskytovanie služby GPS. Ako je vo všeobecnosti známe, tento systém je vojenský a je pod správou USA. Hoci sa poskytovateľ tejto služby zaviazal, že túto službu nevypne, omnoho väčšia záruka by mohla byť zaistená európskym systémom Galileo, ktorého plná prevádzka sa predpokladá v najbližších rokoch.

Ako bolo už viac krát spomínané, ďalšia z podstatných nevýhod implementácia systému GBAS na letisku LKPR je súčasná absencia systému pre podmienky CAT II/III. Vzhľadom aj na početnosť podmienok LVP, je súčasný systém pre CAT I nedostačujúci. Pri uvažovaní potreby tohto systému je nutné zväziť i početnosť lietadiel, ktoré disponujú GBAS palubnými prijímačmi. V Tab. 25 je uvedená štatistika vybavenosti lietadiel, ktoré smerovali na letisko LKPR v období jún-september 2018. Z uvedených údajov je zjavné, že len 3,04 % všetkých letov na LKPR bolo vybavených palubným prijímačom GBAS, a teda že sú schopné priblíženia na pristátie týmto systémom. V súčasnej dobe je tento podiel letov samozrejme nedostačujúci.

Tab. 25 Štatistika vybavenia lietadiel v období 06/18-09/18 [36]

ICAO kód	Vybavenie	Podiel letov
LKPR	RNP APCH (LNAV,LNAV/VNAV)	86,69 %
LKPR	RNAV 5	99,74 %
LKPR	RNAV 1	97,84 %
LKPR	LPV	3,08 %
LKPR	GBAS Landing System	3,04 %

Na záver treba len dodať, že ak by sa pristúpilo k implementácii tohto systému na letisku LKPR, tak by sa jednalo primárne o snahu zviditeľniť letisko LKPR a celkovo ČR [36].

ZÁVER

Súčasná využívané technológie pre riadenie lietadiel v priebehu priblíženia na pristátie disponujú viacerými nedostatkami. Celkovým trendom je nahrádzanie konvenčných rádionavigačných zariadení a využívanie systémov založených na družicových polohových systémov GNSS. Avšak tieto systémy nie sú schopné splňať striktné podmienky presného priblíženia, predovšetkým v oblasti presnosti a integrity. Riešenie tak spočíva vo využívaní augmentačných systémov založených na diferenčných technológiách. Letisková aplikácia tohto systému GBAS, predstavuje podľa mnohých budúcnosť systémov presného priblíženia a nahradí tak rokmi overený systém ILS. Netreba však zabúdať ani na stále viac implementované procedúry PBN, predovšetkým tak LPV. Táto procedúra, využívajúca diferenčné technológie pre rozsiahle územia, umožňuje priblíženie za podmienok CAT I. Na viacerých letiskách tieto podmienky nemusia stačiť, avšak treba zdôrazniť, že tieto podmienky sú zaistené bez akéhokoľvek ďalšieho potrebného pozemného zariadenia umiestneného na danom letisku.

Hlavným cieľom práce bolo vytvorenie kvalifikovaného rozboru perspektívnych a používaných technológií riadenia lietadiel v priebehu priblíženia na pristátie, s dôrazom kladeným predovšetkým na systémy využívajúce diferenčné technológie. Jednotlivé systémy zahrňujú základnú charakteristiku a predikciu možnosti ich využitia do budúcnosti. Celkovou snahou autora bolo vytvorenie jednoduchého a prehľadného celku, a to z dôvodu ďalšieho využitia práce pre účely samoštúdia pilotov a študentov špecializácie Letecký provoz.

Súčasťou práce bolo i zhodnotenie možnosti implementácie približovacieho systému GBAS na Letisku Václava Havla Praha. Z analýzy početnosti podmienok prevádzky za zníženej dohľadnosti autor usudzuje, že je potrebné použiť približovací systém zaisťujúci podmienky CAT II/III. Avšak súčasná absencia certifikovanej verzie systému GBAS pre túto kategóriu umožňuje túto úvahu uskutočniť len na teoretickej úrovni. Systém GBAS nepochybne poskytuje veľké množstvo výhod, ako predovšetkým možnosť prevádzky viacerých dráh súčasne len jedným pozemným zariadením, a pod. No pri uvážení i ďalších dôležitých aspektov, ako je problematika zabezpečenia GNSS signálu či nedostatočný počet vybavených lietadiel GBAS prijímačmi, autor nepredpokladá implementáciu tohto systému pre plánovanú paralelnú dráhu na danom letisku. Ak by malo dôjsť implementácii daného systému, podľa ANS ČR by sa jednalo len o snahu zviditeľniť letisko LKPR a celkovo tak Českú republiku.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] AMBRÓŽOVÁ, I., PLENINGER, S. *Implementation of GBAS system at the Václav Havel airport* [online]. 2013 [cit. 2019-01-15]. Dostupné z: <http://pernerscontacts.upce.cz/30_2013/Ambrozova.pdf>.
- [2] AviationChief. *Precision Approach Radar (PAR)*. AviationChief.Com [online]. ©2018 [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: <<http://www.aviationchief.com/par.html>>.
- [3] BIDAR, Behnam. *VHF Direction Finder (VDF)-Procedures*. aviatraining.ir [online]. 2019 [cit. 2019-02-02]. Dostupné z: <<https://aviatraining.ir/vhf-direction-finder-vdf-procedures/navigation/796/>>.
- [4] BLOUDÍČEK, Radim. *Přistávací systémy letectva I*. 1. vyd. Brno: Vydavatelská skupina UO, 2008. 103 s. ISBN: 978-80-7231-542-0.
- [5] BOEING. *Global Navigatuion Satellite System: Landing System* [online]. 2003 [cit. 2018-12-30] Dostupné z: <http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_21/gnss.pdf>.
- [6] BOEING. *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents*. boeing.com [online]. ©2018 [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: <https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/company/about_bca/pdf/statsum.pdf>.
- [7] ČTK. *Stavba nové ranveje pražského letiště by měla začít za čtyři roky*. archiweb.cz [online]. ©1997-2019 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <<https://www.archiweb.cz/news/stavba-nove-ranveje-prazskeho-letiste-by-mela-zacit-za-ctyri-roky>>.
- [8] DAVIS, Brian. *SmartPath© SLS-4000 Ground Based Augmentation System* [online]. 2012 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <<https://www.slideshare.net/IPPAI/gbas-honeywell-arijit>>.
- [9] EASA. *AMC 20-27. Airworthiness Approval and Operational Criteria for RNP APPROACH (RNP APCH) Operations Including APV BARO-VNAV* [online]. 2009 [cit. 2019-02-02]. Dostupné z: <<https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/agency-measures-docs-agency-decisions-2009-2009-019-R-Annex-III---AMC-20-27.pdf>>.
- [10] ENGINEERING SERVICE. *Link Trainer: Uso del VOR*. e-ser.eu [online]. 2019 [cit. 2019-02-02]. Dostupné z: <<http://www.e-ser.eu/Aeronautica/lt05.htm>>.
- [11] ELDIS. *PAR-E Precision Approach Radar*. eldis.cz [online]. ©2019 [cit. 2019-03-04]. Dostupné z: <<http://www.eldis.cz/en/par-e-precision-approach-radar>>.
- [12] ESA. *Aviation Applications* [online]. 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Aviation_Applications#ABAS>.
- [13] ESA. *EGNOS General Introduction*. gssc.esa.int [online]. 2019 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/EGNOS_General_Introduction>.

- [14] ESA. *EGNOS Performances*. gssc.esa.int [online]. 2019 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/EGNOS_Performances>.
- [15] ESA. *GBAS Fundamentals* [online]. 2018 [cit. 2018-12-21]. Dostupné z: <https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GBAS_Fundamentals>.
- [16] ESA. *SBAS in the world* [online]. 2011 [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: <https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/File:SBAS_in_the_world.png>.
- [17] ESTEVES, P.A.F. *Operational Evaluation of a GBAS system* [online]. 2007 [cit. 2018-12-30] Dostupné z: <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137480875/dissertacao.pdf>>.
- [18] EUROCONTROL. *European Airspace Concept Handbook for PBN Implementation* [online]. ©2013 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <<https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/handbook-pbn-implement-2013-ed-3a.pdf>>.
- [19] EUROCONTROL. *PBN Approach Map Tool* [online]. ©2017 [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: <https://ext.eurocontrol.int/airport_map_tool>.
- [20] EUROCONTROL. *Vertical Navigation (for PBN)* [online]. 2012 [cit. 2019-02-02]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/field_tabs/content/documents/events/Presentations/120925-2nd-cns-vertical-navigation-dds.pdf>.
- [21] FAA. *ACY Data* [online]. 2007 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://laas.tc.faa.gov/ACY_Graph.html>.
- [22] FAA. *Terminal Procedures and Airport Diagrams* [online]. 2019 [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://www.faa.gov/air_traffic/flight_info/aeronav/digital_products/dtpp/search/results/?cycle=1904&ident=PSP>.
- [23] Flight Literacy. *Approaches (Part Twelve). Advantages Of WAAS Enabled LPV Approaches*. flightliteracy.com [online]. ©2015–2019 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <<https://www.flightliteracy.com/approaches-part-twelve/>>.
- [24] FlyGLS. *GBAS Sites* [online]. 2013 [cit. 2018-12-24]. Dostupné z: <<http://flygls.net>>.
- [25] GOOGLE. *Google Maps* [online]. 2019 [cit. 2019-01-10]. Dostupné z: <<https://www.google.com/maps>>.
- [26] GROVES, P.D. *GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems*, ARTECH House, Boston/London, 2008, ISBN-13: 978-1-58053-255-6.
- [27] GSA. *EGNOS LPV 200 Enables Safer Aircraft Landings*. gsa.europa.eu [online]. ©2016 [cit. 2019-02-02]. Dostupné z: <<https://www.gsa.europa.eu/news/egnoss-lpv-200-enable-s-safer-aircraft-landings>>.

- [28] ICAO AC EUR APV/baro-VNAV. *AIRCRAFT AND OPERATORS APPROVAL FOR APPROACH OPERATIONS WITH VERTICAL GUIDANCE/BAROMETRIC VERTICAL NAVIGATION (APV/baro-VNAV)* [online]. 2013 [cit. 2019-02-02]. Dostupné z: <<https://www.icao.int/EURNAT/Other%20Meetings%20Seminars%20and%20Workshops/PBN%20TF/PBN%20TF8/Att%20C%20-%20AC%20EUR%20APV-baro-VNAV.pdf>>.
- [29] ICAO Doc 9750-AN/963. *Global Air Navigation Plan 2016-2030* [online]. ©2016 [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <<https://www.icao.int/airnavigation/documents/ganp-2016-interactive.pdf>>.
- [30] ICAO Doc 9849. *Global Navigation Satellite System (GNSS) Manual* [online]. 2005 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <[https://www.icao.int/Meetings/PBN-Symposium/Documents/9849_cons_en\[1\].pdf](https://www.icao.int/Meetings/PBN-Symposium/Documents/9849_cons_en[1].pdf)>.
- [31] ICAO EUR Doc 001. *European Region Area Navigation (RNAV) Guidance Material* [online]. 2003 [cit. 2018-12-07]. Dostupné z: <<https://www.icao.int/EURNAT/Other%20Meetings%20Seminars%20and%20Workshops/PBN%20TF/PBN%20TF1/PBN%20TF1%20IP05%20-ICAO%20EUR%20Doc%20001.pdf>>.
- [32] ICAO EUR DOC 025. *EUR RNP APCH Guidance Material* [online]. 2012 [cit. 2019-02-02]. Dostupné z: <<https://www.icao.int/EURNAT/EUR%20and%20NAT%20Documents/EUR%20Documents/025%20-%20EUR%20RNP%20APCH%20Guidance%20Material/EUD%20Doc%20025%20RNP%20APCH.pdf>>.
- [33] ICAO EUR Doc 9613. *Performance-based Navigation (PBN) Manual* [online]. ©2008 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <<https://www.icao.int/sam/documents/2009/samig3/pbn%20manual%20-%20doc%209613%20final%205%2010%2008%20with%20bookmarks1.pdf>>.
- [34] ICAO. *CHARACTERISTICS OF AN ALTERNATIVE POSITION, NAVIGATION AND TIMING FOR THE ASIA/PACIFIC REGION* [online]. 2013 [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <https://www.icao.int/APAC/Meetings/2013_CNS%20SG_17/IP07%20-%20AUS%20AI%206.5%20-%20Alternative%20PNT.pdf>.
- [35] ICAO. *GUIDE FOR GROUND BASED AUGMENTATION SYSTEM IMPLEMENTATION* [online]. 2013 [cit. 2018-12-22]. Dostupné z: <<https://www.icao.int/SAM/eDocuments/GBASGuide.pdf>>.
- [36] Informácie poskytnuté od pána Ing. Iva Lengála - ŘLP ČR
- [37] Informácie poskytnuté od pána Ing. Michala Šveca - Honeywell
- [38] Informácie poskytnuté od pána Mgr. Pavla Pačesa - Odbor letecké meteorologie ČHMÚ
- [39] KAYTON, M., FRIED, W. R. *Avionics Navigation Systems, second edition*, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1997, ISBN 0-471-54795-6.

- [40] KRAUS, J. *Přiblížení na přistání a využití GNSS navigace*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2017. 39 s. ISBN 978-80-01-06352-1.
- [41] KULČÁK, Ludvík, a kol. *Air Traffic Management*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 314 s. ISBN 80-7204-229-7.
- [42] KULČÁK, Ludvík, a kol. *Učebnice pilota prtluniku PPL(H) část II*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. 450 s. ISBN: 978-80-7204-638-6.
- [43] L 6. *Letecký předpis Provoz Letadel -Část I*. Praha: Ministerstvo dopravy ČR, 2012. 178 s. Uveřejněno pod číslem jednacím 35/2012-220-SP/2. Dostupné z: <<https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>>.
- [44] L 10. *Letecký předpis o civilní letecké telekomunikační službě svazek I – Radionavigační prostředky L 10/I*. Praha: Ministerstvo dopravy ČR, 2018. 480 s. Uveřejněno pod číslem jednacím 1285/2003-220-SP/1. Dostupné z: <<https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>>.
- [45] L 8168. *Letecký předpis provoz letadel – letové postupy*. Praha: Ministerstvo dopravy ČR, 2017. 240 s. Uveřejněno pod číslem jednacím 946/2006-220-SP/1. Dostupné z: <<https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-8168/index.htm>>.
- [46] Letiště Praha. *Letiště Praha pokořilo další rekord: dosáhlo hranice 16 milionů odbavených cestujících za rok*. prg.aero [online]. ©2018 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <<https://www.prg.aero/letiste-praha-pokorilo-dalsi-rekord-dosahlo-hranice-16-milionu-odbavenych-cestujicich-za-rok>>.
- [47] Letiště Praha. *Paralelní dráha*. prg.aero [online]. ©2018 [cit. 2019-01-14]. Dostupné z: <<https://www.prg.aero/paralelni-draha-detail>>.
- [48] MARK, Rob. *How an Instrument Landing System Works*. flyingmag.com [online]. ©2019 [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <<https://www.flyingmag.com/how-an-instrument-landing-system-works>>.
- [49] NASA. *Monitoring Global Ionospheric Weather*. iono.jpl.nasa.gov [online]. [cit. 2019-12-29]. Dostupné z: <<https://iono.jpl.nasa.gov/storm.html>>.
- [50] NATO STO. AC/323(SCI-135)TP/189. *Differential Global Positioning System (DGPS) for Flight Testing* [online]. 2008 [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: <[https://www.sto.nato.int/publications/pages/results.aspx?k=Differential%20Global%20Positioning%20System%20\(DGPS\)%20for%20Flight%20Testing&s=Search%20All%20STO%20Reports](https://www.sto.nato.int/publications/pages/results.aspx?k=Differential%20Global%20Positioning%20System%20(DGPS)%20for%20Flight%20Testing&s=Search%20All%20STO%20Reports)>.
- [51] ŘÍZENÍ LETOVÉHO PROVOZU ČR. AIC A 1/12. *Koncepce rozvoje navigačního prostředí České republiky v období do roku 2020*. Jeneč: Letecká informační služba, 2012. Dostupné z: <http://lis.rlp.cz/ais_data/aic/data/a_2012-001.pdf>.

- [52] ŘÍZENÍ LETOVÉHO PROVOZU ČR. AIP ČR. *Letecká informační příručka České republiky*. Jeneč: Letecká informační služba, 2019. Dostupné z: <https://lis.rlp.cz/ais_data/www_main_control/frm_cz_aip.htm>.
- [53] SESAR. *SESAR Solution: PRNAV in a Complex TMA* [online]. ©2019 [cit. 2018-12-06]. Dostupné z: <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/solutions/1_PRNAV_in_a_Complex_TMA_Contextual_note.pdf?issuosl=ignore>.
- [54] Shoaibibrahim. *Microwave Landing System*. shoaibibrahim.wordpress.com [online]. 2015 [cit. 2018-12-12]. Dostupné z: <<https://shoaibibrahim.wordpress.com/2015/11/18/microwave-landing-system/>>.
- [55] SOLDÁN, Vladimír. *Letové postupy a provoz letadel*. 1. vyd. Jeneč: Letecká informační služba Řízení letového provozu České republiky, 2007, 214 s. ISBN 978-80-239-8595-5.
- [56] ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ. *Konsolidované české znění nařízení (EU) č. 965/2012* [online]. 2012 [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <<http://www.caa.cz/file/7114/>>.
- [57] VAŠEK, Milan. *Přistávací systémy letectva III*. Brno: Vydavatelská skupina UO, 2008. 88 s. ISBN 978-80-7231-518-5.
- [58] VOSECKÝ, Slavomír. *Radionavigace (062 00): Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL-1*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. 244 s. ISBN 978-80-7204-764-2.
- [59] WEBER, O. *GBAS Operational Implementations* [online]. 2018 [cit. 2019-01-13]. Dostupné z: <https://www.pansa.pl/_site/GNSS/prezentacje/GBAS%20Operational%20Implementations_Warsaw20150624.pdf>.
- [60] Wikipedia. *Instrument landing system localizer*. wikipedia.org [online]. 2018 [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Instrument_landing_system_localizer>.

ZOZNAM SKRATIEK A SYMBOLOV

€	Euro	Euro (menová jednotka)
AAIM	Aircraft Autonomous Integrity Monitoring	Autonómne monitorovanie integrity palubného prijímača GNSS
ABAS	Airborne-Based Augmentation System	Augmentačný systém rozširujúci palubnú časť GNSS
ACC	Area Control Center	Oblasťná služba riadenia
ACY	Atlantic City International Airport	Kódové označenie medzinárodného letiska v Atlantic City (USA)
ADF	Automatic Direction-Finding equipment	Rádiokompas
AIP	Aeronautical Information Service	Letecká informačná príručka
ANS	Air Navigation Services	Letové navigačné služby, v rámci ČR je to Řízení letového provozu ČR, s.p.
APNT	Alternative Position, Navigation and Timing strategy	Strategický plán rozvoja nového systému zaisťujúceho navigačnú zálohu, v prípade výpadku systémov GNSS, predovšetkým v oblastiach Pacifiku a Ázie
APP	Approach control service	Približovacia služba riadenia
APV	Approach (Procedure) with Vertical Guidance	Priblíženie s vertikálnym vedením
A-RNP	Advanced Required Navigation Performance	RNP navigačná špecifikácia určená pre všetky fázy letu
ATC	Air Traffic Control	Riadenie letovej prevádzky
ATCO	Air Traffic Control Officers	Riadiaci letovej prevádzky
ATIS	Automatic Terminal Information Service	Automatická informačná služba koncovej riadenej oblasti
ATS	Air Traffic Service	Letové prevádzkové služby
Baro-VNAV	Barometric Vertical NAVigation	Barometrická vertikálna navigácia
B-RNAV	Basic aRea NAVigation	Základná forma navigačnej metódy RNAV
BVOR	Broadcast VOR	VOR vysielajúci medzi medzerami jednotlivých signálov informácie o letisku a počasí
CAT	Category	Kategórie priblíženia na pristátie
CDFA	Continuous Descent Final Approach	Technika konečného priblíženia stálym klesaním
CDI	Course-Deviation Indicator	Indikátor odchýlok od určenej trajektórie letu (tiež indikátor VOR/ILS)
CRC	Cyclic Redundancy Check	Kontrola cyklickým kódom

CTR	ConTRol zone	Riadený okrsok
CVOR	Conventional VOR	Prvá generácia rádiomajáku VOR (klasický VOR)
ČR		Česká republika
D	Distance	Vzdialenosť antény radaru k bodu FAF, resp. MAPt [NM]
DA	Decision Altitude	Nadmorská výška rozhodnutia vzťahnutá k výške nad morom (QNH)
DGNSS	Differential GNSS	Diferenčná GNSS (metóda)
DGPS	Differential GPS	Diferenčná GPS
DH	Decision Height	Výška rozhodnutia
DME	Distance Measuring Equipment	Merač šikmej vzdialenosti
DME/N	Navigation DME	DME pre navigáciu po trati
DME/P	Precise DME	DME v systéme pre presné priblíženie (MLS a pod.)
DOC	Designated Operational Coverage DOCument	Zaručené prevádzkové dosahy navigačných zariadení Dokument, vydaný napríklad organizáciou ICAO
DVOR	Doppler VOR	Druhá generácia rádiomajáku VOR (Dopplerov VOR)
ECAC	European Civil Aviation Conference	Európska konferencia pre civilné letectvo
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service	Služba európskeho segmentu globálnej navigácie (európsky SBAS)
eLORAN	Enhanced LONG Range Air Navigation system	Vylepšená (najnovšia) verzia rádionavigačného systému ďalekého dosahu
F	the data broadcast Frequency	Frekvencia VHF vysieláča pozemnej stanice GBAS (MHz)
FAA	Federal Aviation Administration	Federálna správa letectva (USA)
FAF	Final Approach Fix	Fix konečného priblíženia
FAP	Final Approach Point	Bod konečného priblíženia
FAS	Final Approach Segment	Segment (úsek) konečného priblíženia na pristátie
FAS DB	Final Approach Segment Data Block	Databáza profilov úsekov konečného priblíženia
FAT	Factory Acceptance Testing	Prvotné testovanie systému GBAS
FL	Flight Level	Letová hladina
FM	Frequency Modulation	Frekvenčná modulácia (rádiového signálu)

FPAP	Flight Path Alignment Point	Bod podrovnania letovej trate
FRP	Fixed Radius Paths	Zatačka s konštantným polomerom
FRT	Fixed Radius Transition	Zatačka s konštantným polomerom s presne definovaným polomerom zatačania
ft	feet (dimensional unit)	Stopa (rozmerová jednotka)
FTE	Flight Technical Error	Letovo technická chyba
FTP	Fictitious Threshold Point	Fiktívny bod prahu dráhy
GALILEO		Európsky globálny satelitný navigačný systém
GBAS	Ground-Based Augmentation System	Augmentačný systém rozširujúci pozemnú časť GNSS
GBAS/E	GBAS Elliptical polarization	Augmentačný systém GBAS vysielajúci elipticky polarizovaný VHF dátový signál
GBAS/H	GBAS Horizontal polarization	Augmentačný systém GBAS vysielajúci horizontálne polarizovaný VHF dátový signál
GBPM	Ground Based Performance Monitor	Monitorovacie stanice systému GBAS (LAAS)
GP	Glide Path beacon Glide Path	Zostupový maják systému ILS Zostupová rovina
GPA	Glide Path Angle	Uhol zostupovej dráhy
GPIP	Glide Path Intercept Point	Priesečník zostupovej dráhy s pristávacou dráhou
GPS	Global Positioning System	Globálny lokalizačný (polohový) systém
h	hour	Hodina (3 600 s)
HAL	Horizontal Alert Limit	Horizontálna zložka maximálnej povolenej chyby NSE
HDP (GDP)	Gross Domestic Product	Hrubý domáci produkt
HL	Height Loss	Strata výšky
HPL	Horizontal Protection Level	Horizontálna zložka úrovne ochrany zabezpečenia integrity systému
Hz	Hertz (cycle per second)	Hertz (cykly za sekundu)
IAF	Initial Approach Fix	Fix počiatočného priblíženia
IAS	Indicated AirSpeed	Indikovaná vzdušná rýchlosť
ICAO	International Civil Aviation Organization	Medzinárodná organizácia pre civilné letectvo
IDENT (ID)	IDENTification	Identifikácia
IF	Intermediate approach Fix	Fix stredného priblíženia

IFR	Instrument Flight Rules	Pravidlá pre let podľa prístrojov
ILS	Instrument Landing system	System pre presné priblíženie a pristátie
IN	Inner Marker	Vnútorne polohové návestidlo
INMARSAT	INternational Marine/Maritime SATellite system	Medzinárodný námorný družicový systém (telekomunikačná spoločnosť)
INOP	INOPerative	Nepracujúci, nečinný
INS	Inertial Navigation System	Inerčný (Inerciálny) navigačný systém
IRS	Inertial Reference System	Inerčný (Inerciálny) referenčný systém
IRU	Inertial Reference Unit	Jednotka inerčného referenčného systému
KCPT	Kinematic Carrier Phase Tracking	Kinematická fázová metóda DGNS, realizovaná v reálnom čase pri stálom vysielaní dát referenčnej stanice užívateľovi (synonymum RTK)
kHz	kilohertz	Kilohertz (1 000 Hz)
km	kilometer	Kilometer (1 000 m)
kt	Knot	Uzol (0,514 m·s ⁻¹)
LAAS	Local-Area Augmentation System	Rozšírenie systému GNSS na malom území
LADGNSS	Local-Area Differential GNSS	Rozšírenie systému GNSS diferenčnými korekciami na malom území
LDACS	L-band Digital Aeronautical Communication System	Dátový komunikačný systém, vysielajúci v pásme L (1–2 GHz)
LKPR		ICAO kód letiska Václava Havla Praha (Praha-Ruzyně)
LLZ (LOC)	Localizer	Kurzový rádiový maják (lokalizér)
LLZ ONLY	LocaLiZer ONLY	System ILS bez zostupového majáku
LNAV	Lateral NAVigation	Navigácia v horizontálnej rovine
LNAV/VNAV	Lateral NAVigation/Vertical NAVigation	Navigácia v horizontálnej i vertikálnej rovine, označenie priblíženia APV Baro
LOCATA		Pozičný systém austrálskej spoločnosti založený na pozemných stanicích (pásma Wi-Fi)
LP	Localizer Performance	Navigácia v horizontálnej rovine s presnosťou zrovnateľnou s kurzovým majákom systému ILS
LPV	Localizer Performance with Vertical guidance	Postup priblíženia s vertikálnym vedením s presnosťou zrovnateľnou s kurzovým majákom systému ILS

LRNS	Long Range Navigation Specification	Podmienky pre navigáciu na veľké vzdialenosti
LTP	Landing Threshold Point	Bod prahu dráhy pre pristátie
LVP	Low Visibility Procedures	Postupy za zníženej dohľadnosti
m	meter	Meter (rozmerová jednotka)
MAPt	Missed Approach Point	Bod nevydareného priblíženia
MCC	Mission Control Centres	Kontrolné centrá systému EGNOS
MDA	Minimum Descent Altitude	Minimálna nadmorská výška pre klesanie
MDH	Minimum Descent Height	Minimálna výška pre klesanie
MHz	Megahertz	Megahertz (10^6 Hz)
min	minutes	Minúta (60 s)
MKR	MarKeR radio beacon	Rádiové návestidlo 75 MHz
MLS	Microwave Landing System	Mikrovlnný pristávací systém
MM	Middle Marker	Stredné polohové návestidlo
MMLS	Mobile Microwave Landing System	Mobilná verzia systému MLS
MN	Magnetic North	Magnetický sever
MOC	Minimum Obstacle Clearance	Minimálna požadovaná výška nad prekážkami
NAVAIDs	NAVigational AIDs	Navigačné prostriedky (zariadenia)
NDB	Non-Direction Beacon	Nesmerový maják
NLES	Navigation Land Earth Stations	Vysielacie stanice systému EGNOS
NM	Nautical mile	Námorná míľa (1 852 m)
NPA	Non-Precision Approach	Nepresné prístrojové priblíženie
NPA GNSS	Non-Precision Approach GNSS	Nepresné prístrojové priblíženie s využitím informácií systémov GNSS
NSE	Navigation System Error	Chyba navigačného systému
OCH	Obstacle Clearance Height	Bezpečná výška nad prekážkami
OM	Outer Marker	Vonkajšie polohové návestidlo
PA	Precision Approach	Presné prístrojové priblíženie
PAR	Precision Approach Radar	Presný približovací radar
PBN	Performance-Based Navigation	Navigácia založená na výkonnosti
PDE	Path Definition Error	Chyba definovania požadovanej trajektórie letu
PEE	Positioning Estimation Error	Rozdiel medzi odhadovanou polohou a skutočnou polohou lietadla
PFE	Path Following Error	Chyba zadania trajektórie
PFN	Path Following Noise	Šum sledovania trajektórie

P-RNAV	Precise aRea NAVigation	Pokročilá forma navigačnej metódy RNAV
QDM		Magnetický smerník lietadlo-zem
QDR		Magnetický smerník zem-lietadlo
QTE		Zemepisný smerník zem-lietadlo
R	Radius	Polomer ochranného pásma približenia okruhom [km]
RAIM	Receiver Autonomous Integrity Monitoring	Nezávislé monitorovanie integrity systému
REP	REporting Point	Hlásny bod
RF	Radius to Fix	Zatáčka s konštantným polomerom do fixu
RIMS	Ranging and Integrity Monitoring Stations	Referenčné stanice systému EGNOS
RNAV	aRea NAVigation	Priestorová navigácia (metóda)
RNP	Required Navigation Performance	Požadovaná navigačná výkonnosť
RNP APCH	Required Navigation Performance APproaCH	Špecifikácia označujúca RNP približovacie procedúry
RNP AR APCH	Required Navigation Performance Authorization Required APproaCH	Špecifikácia označujúca RNP približovacie procedúry vyžadujúca zvláštne oprávnenie
RPDS	Reference Path Data Selector	Parameter ovplyvňujúci tvorbu kanálového čísla GLS (týkajúci sa FAS dát)
RSDS	Reference Station Data Selector	Parameter ovplyvňujúci tvorbu kanálového čísla GLS (závisí sa danej stanici GBAS)
RTK	Real-Time Kinematic	Kinematická fázová metóda DGNSS, realizovaná v reálnom čase pri stálom vysielaní dát referenčnej stanice užívateľovi (synonymum KCPT)
RVR	Runway Visual Range	Dráhová dohľadnosť
RVR MID	RVR MID-point	Dráhová dohľadnosť v strede dráhy
RVR TDZ	RVR TouchDown Zone	Dráhová dohľadnosť v dotykovej zóne
RWY	RunWaY	Vzletová a pristávacia dráha
S	Selector (RPDS or RSDS)	Parametre ovplyvňujúce tvorbu kanálového čísla GLS
SARPs	Standards And Recommended Practices	Štandardy a doporučené postupy (ICAO)
SAT	Site Acceptance Testing	Označenie pre druhotné testovanie systému po inštalácii systému GBAS
SBAS	Satellite-Based Augmentation System	Augmentačný systém rozširujúci satelitnú časť GNSS

SESAR	Single European Sky ATM Research	Program iniciativy Evropy o vytvoření „Jednotného evropského neba“
SHF	Super High Frequency	Centimetrové vlny (3 000 až 30 000 MHz)
SID	Standard Instrument Departure	Štandardné odletové trate
SLS	SmarthPath® Landing System	Označení GBAS pristávacích systémov od firmy Honeywell
SOC	Start Of Climb	Začiatok stúpania
SRE	Surveillance Radar Equipment	Prehľadový radar letiska
SSR	Secondary Surveillance Radar	Sekundárny prehľadový radar
STAR	Standard Terminal Arrival Route	Štandardná príletová trať
STOL	Short Take-Off and Landing	Krátky vzlet a pristátie (kategória lietadiel)
SVD		Smerový vyžarovací diagram (antény)
TACAN	UHF TACTical Air Navigation aid	Taktický letecký navigačný systém UHF
TCH	Threshold Crossing Height	Výška preletu prahu dráhy
THR	runway THReshold	Prah dráhy
TCP	Threshold Crossing Point	Bod preletu prahu dráhy
TMA	Terminal control area	Koncová riadená oblasť
TN	True North	Zemepisný sever
TP	Turning Point	Bod zahájenia točenia v priebehu priblíženia
TSE	Total System Error	Celková chyba navigačného procesu zahŕňajúca všetky jednotlivé chyby
TTA	Time To Alert	Čas, do akého musí byť posádka informovaná o chybe systému alebo jeho nedostupnosti
TVOR	Terminal VOR	VOR koncovej riadenej oblasti
TWR	Aerodrome control ToWeR	Letisková riadiaca vež
UHF	Ultra High Frequency	Pásmo ultrakrátkych vln (300 až 3 000 MHz)
USA	United States of America	Spojené štáty americké
UTC	Universal Time Coordinated	Svetový koordinovaný čas
VAL	Vertical Alert Limit	Vertikálna zložka maximálnej povolenej chyby NSE
VDB	VHF Data Broadcast	Vysielanie GBAS správ v pásme VHF
VFR	Visual Flight Rules	Pravidlá pre let za viditeľnosti
VHF	Very High Frequency	Pásmo veľmi krátkych vln (30 až 300 MHz)

VIS	Visibility	Dohľadnosť
VOR	Very high frequency Omnidirectional radio Range	Všesmerový maják vysielajúci v pásme VHF
VORTAC	VOR and TACAN combination	Kombinácia pozemných zariadení VOR a TACAN
VOT	VOR airborne equipment test facility	Zariadenie pre kontrolu palubných prijímačov VOR
VPL	Horizontal Protection Level	Vertikálna zložka úrovne ochrany zabezpečenia integrity systému
VTOL	Vertical Take-Off and Landing	Zvislý vzlet a pristátie (kategória lietadiel)
W	Width	Šírka ochranného pásma v bode FAF a MAPt [NM]
WAAS	Wide Area Augmentation System	Rozšírenie systému GNSS na rozsiahlom území
WADGNSS	Wide Area Differential GNSS	Rozšírenie systému GNSS diferenčnými korekciami na rozsiahlom území
WGS	World Geodetic System	Svetový geodetický systém (1984)
WPT	Waypoint	Definovaný bod trate, traťový bod
Δ	Differential correction	Diferenčná korekcia [x, y, z]
θ	Angle between RWY centerline and approach azimuth	Uhol medzi predĺženou osou dráhy a azimutom priblíženia [°]
μs	microsecond	Mikrosekunda (10^{-6} s)
Ψ	Glide Path Angle	Uhol zostupovej dráhy (zostupový uhol) [°]

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1 Globálny navigačný plán 2016-2030	13
Obr. 2 Znárodnenie celkovej systémovej chyby zamerania	17
Obr. 3 Príklad značenia PBN procedúr na približovacích mapách	20
Obr. 4 Príklad procedúr RNP APCH (naľavo) a RNP AR APCH (napravo).....	21
Obr. 5 Zatačky s konštantným polomerom – RF (naľavo), FRT (napravo).....	22
Obr. 6 Vstupy do RNP vyčkávacích obrazcov	23
Obr. 7 Funkcia posunu letovej trate	23
Obr. 8 Vybavenosť dráh 3D PBN v období 2014–2023	24
Obr. 9 Približovacie procedúry štátov ECAC 2019	24
Obr. 10 Percentuálne zastúpenie fatálnych nehôd v priebehu jednotlivých fázach letu	27
Obr. 11 Úseky priblíženia na pristátie	28
Obr. 12 Klasifikácia prístrojových priblížení na pristátie	29
Obr. 13 Ochranný priestor priblíženia okruhom	30
Obr. 14 Minimálna výška pre klesanie (naľavo) a výška rozhodnutia (napravo)	33
Obr. 15 Postup nevydareného priblíženia na pristátie	33
Obr. 16 Spôsob určenia QDR a QDM	36
Obr. 17 Princíp navigácie VOR.....	37
Obr. 18 Princíp činnosti majáku VOR	37
Obr. 19 Princíp činnosti DME	39
Obr. 20 Úseky priblíženia prehľadovým radarom	41
Obr. 21 Priblíženie APV/Baro.....	43
Obr. 22 Príklad značenia minimálnej teploty pre použiteľnosť APV/Baro	44
Obr. 23 Priblíženie APV/SBAS	45
Obr. 24 Schéma systému ILS	47
Obr. 25 Princíp určovania polohy lietadla systémom ILS.....	48
Obr. 26 Pracovná oblasť kurzového majáku ILS	48
Obr. 27 Pracovná oblasť zostupového majáku ILS	49
Obr. 28 Schéma konfigurácie MLS	52
Obr. 29 Princíp činnosti systému MLS	52
Obr. 30 Pracovná oblasť systému MLS	53
Obr. 31 Monitor operátora radaru (naľavo), ELDIS PAR-E (napravo)	54
Obr. 32 Ochranné pásma PAR	55
Obr. 33 Využitie systému SBAS a GBAS.....	58
Obr. 34 Augmentačný systém SBAS	59
Obr. 35 SBAS systémy vo svete.....	60
Obr. 36 Princíp augmentačného systému GBAS	61
Obr. 37 Primárny palubný displej (naľavo), voľba kanálu GLS (napravo)	61
Obr. 38 Princíp činnosti DGPS	62
Obr. 39 Úroveň ochrany a limit varovania pre chybu navigačného systému NSE	67
Obr. 40 Minimálne pokrytie systému GBAS	68
Obr. 41 Redukcia sektorových oblastí, zakrivená približovacia trajektória	69
Obr. 42 Ionosférická búrka.....	71
Obr. 43 Rozmiestnenie GBAS staníc v Európe.....	72
Obr. 44 Letisko ACY v Atlantic City.....	73
Obr. 45 Dostupnosť do vzdialenosti 23 NM	74
Obr. 46 Horizontálna presnosť	75
Obr. 47 Vertikálna presnosť	75

Obr. 48 Úroveň ochrany v horizontálnej rovine HPL.....	76
Obr. 49 Úroveň ochrany vo vertikálnej rovine VPL.....	76
Obr. 50 Počet odbavených cestujúcich na Letisku LKPR	77
Obr. 51 Umiestnenie novej paralelnej dráhy na LKPR	78
Obr. 52 Referenčná anténa (naľavo), VHF anténa (napravo).....	81
Obr. 53 Aplikácia akejkoľvek procedúry PBN v rámci štátov ECAC 2019	108
Obr. 54 Aplikácia procedúry 3D PBN v rámci štátov ECAC 2019.....	108
Obr. 55 Príklad dostupnosti systému EGNOS	109
Obr. 56 Príklad vertikálnej presnosti poskytovanej systémom EGNOS	109
Obr. 57 Definícia FAS	110

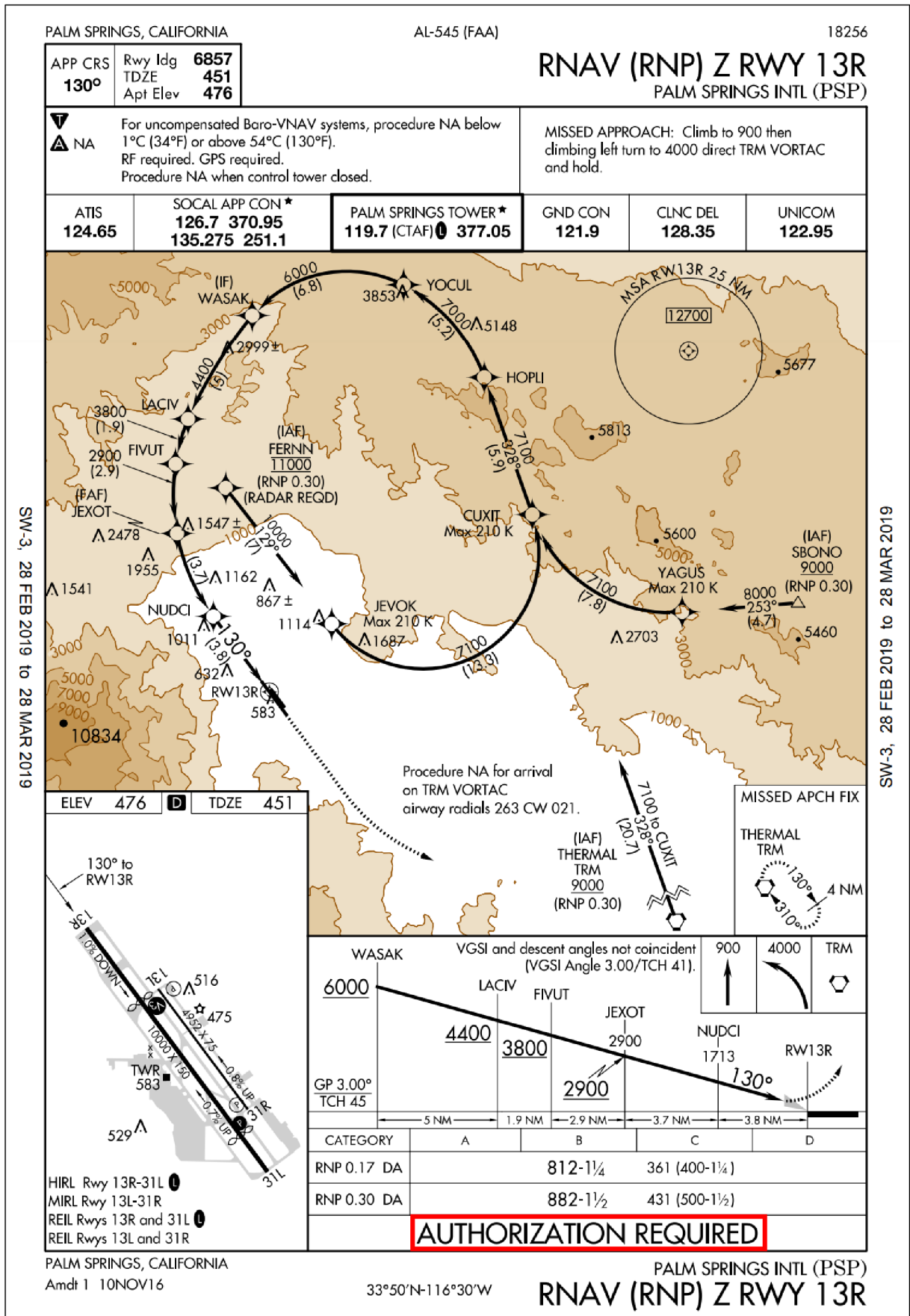
ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1 Navigačné zariadenia nutné k dosiahnutiu požadovanej výkonnosti	19
Tab. 2 Navigačné špecifikácie pre jednotlivé fázy letu	20
Tab. 3 Implementácia PBN procedúr v ČR	25
Tab. 4 Minimá jednotlivých priblížení	29
Tab. 5 Charakteristiky ochranných pásiem pre jednotlivé kategórie lietadiel	31
Tab. 6 Maximálne povolené rýchlosti v úseku počiatočného priblížení	32
Tab. 7 Základné výkonnostné charakteristiky majákov CVOR a DVOR	38
Tab. 8 Požiadavky na presnosť vo vertikálnej rovine systému APV/Baro	44
Tab. 9 Výkonnosť APV/SBAS	45
Tab. 10 Výkonnosť približovacej procedúry LPV-200	46
Tab. 11 ICAO kategórie presného priblížení	49
Tab. 12 Maximálne dovolené odchýlky navedenia systémom ILS	49
Tab. 13 Základná charakteristika polohových návestidiel	50
Tab. 14 Časová postupnosť vysielaných signálov MLS	53
Tab. 15 Zdroje chýb určenia polohy užívateľa systémom GPS a DGPS	63
Tab. 16 Typy navigačných správ systému GBAS	65
Tab. 17 Požiadavky výkonnosti systému GBAS	66
Tab. 18 Publikované priblížení na pristátie letiska LKPR (k dňu 8.11.2018)	78
Tab. 19 Početnosť podmienok LVP na letisku LKPR v období 2016–2018	79
Tab. 20 Zhodnotenie systému GBAS	82
Tab. 21 Implementačné náklady systému GBAS a ILS pre CAT II/III	82
Tab. 22 Zhodnotenie systému ILS	83
Tab. 23 Zhodnotenie systému MLS	84
Tab. 24 Zhodnotenie systému LPV-200	84
Tab. 25 Štatistika vybavenia lietadiel v období 06/18-09/18	85
Tab. 26 Odchýlky od VPA pre systémy bez teplotnej kompenzácie	107
Tab. 27 Teplotné korekcie v metroch	107
Tab. 28 Teplotné korekcie v stopách	107
Tab. 29 Dátový blok úseku konečného priblížení FAS	110

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1 Príklad priblíženia RNP AR APCH.....	103
Príloha 2 Typy RNP.....	104
Príloha 3 Teplotné korekcie priblíženia APV/Baro.....	105
Príloha 4 Implementácia procedúr PBN v rámci štátov ECAC.....	106
Príloha 5 Výkonnostné charakteristiky systému EGNOS.....	107
Príloha 6 Údaje dátového bloku úseku konečného priblíženia.....	108

Príloha 1: Príklad priblíženia RNP AR APCH [22]



Príloha 2: Typy RNP [31]

Typ RNP	Požadovaná presnosť v 95 % doby letu	Popis
0,003	±0,003 NM	Plánované pre PA CAT III (ILS, MLS and GBAS)
0,01/15	±0,01 NM [±15 ft]	Plánované pre PA CAT II DH - 100 ft (ILS, MLS and GBAS)
0,02/40	±0,02 NM [±40 ft]	Plánované pre PA CAT I DH - 200 ft (ILS, MLS and GBAS)
0,03/50	±0,03 NM [±50 ft]	APV/SBAS
0,3/125	±0,3 NM [±125 ft]	APV/SBAS alebo APV/Baro
0,3	±0,3 NM	Podporujúci počiatočné/stredné priblíženie, RNAV priblíženie a odlet
0,5	±0,5 NM	Podporujúci počiatočné/stredné priblíženie kde nie je možné RNP 0,3
1	±1,0 NM	Podporujúci počiatočné/stredné priblíženie, väčšina ATS tratí, rovný P-RNAV
4	±4,0 NM	ATS trate, kontinentálny vzdušný priestor, určité procedúry v TMA
5	±5,0 NM	Dočasný typ implementovaný vo vzdušnom priestore krajín ECAC, rovný B-RNAV
10	±10 NM	Oceánsky priestor a priestor s limitujúcim pokrytím
12,6	±12,6 NM	Priestor s limitujúcim pokrytím
20	±20 NM	Najnižšia RNP akceptovaná traťami ATS, okrem zvláštnych prípadov nebude implementovaná

Príloha 3: Teplotné korekcie priblíženia APV/Baro

Tab. 26 Odchýlky od VPA pre systémy bez teplotnej kompenzácie [55]

Teplota	VPA
+30 °C	3,20°
+15 °C	3,00°
0 °C	2,80°
-15 °C	2,68°
-30 °C	2,50°

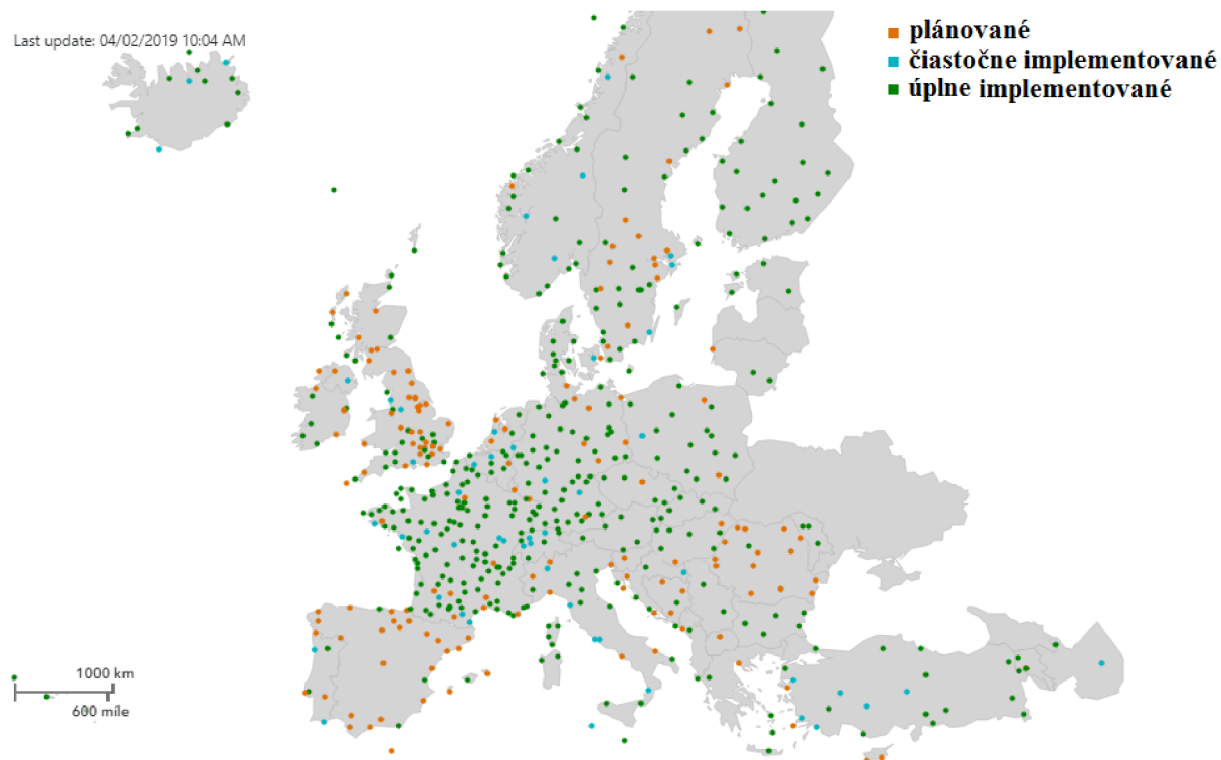
Tab. 27 Teplotné korekcie v metroch [45]

<i>H</i> [m] \ <i>T</i> [°C]	300	450	600	750	900	1 200	1 300	1 400	1 500
0	17	25	33	42	50	67	73	78	84
-10	29	43	58	72	87	116	126	136	146
-20	42	63	84	105	126	169	183	198	212
-30	56	84	112	141	169	226	246	265	285
-40	77	107	143	179	216	289	314	339	364
-50	88	132	176	222	267	358	388	419	450

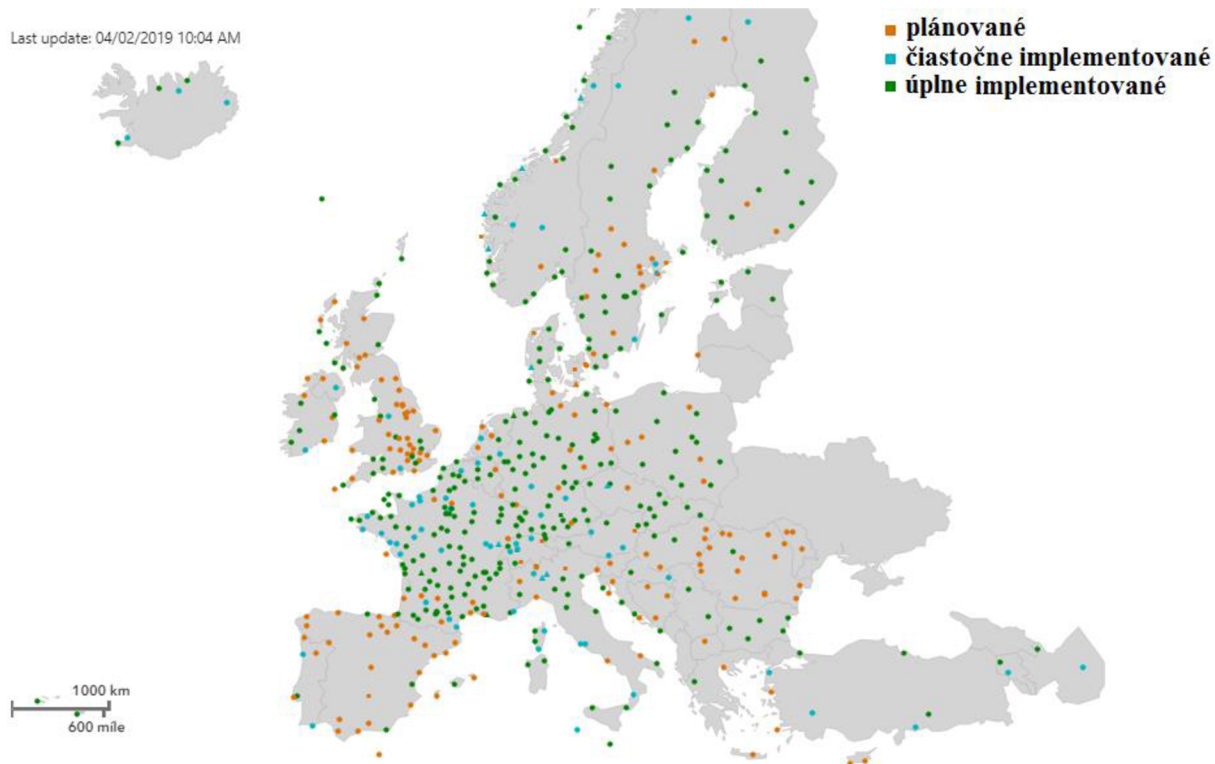
Tab. 28 Teplotné korekcie v stopách [45]

<i>H</i> [ft] \ <i>T</i> [°C]	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000	3 500	4 000	4 500	5 000
0	55	83	111	139	167	195	223	251	280
-10	96	144	192	240	289	337	387	436	485
-20	139	201	279	350	421	492	563	635	708
-30	186	280	374	469	564	659	755	852	949
-40	237	357	477	580	719	842	965	1 088	1 212
-50	293	441	590	739	890	1 041	1 193	1 347	1 500

Príloha 4: Implementácia procedúr PBN v rámci štátov ECAC

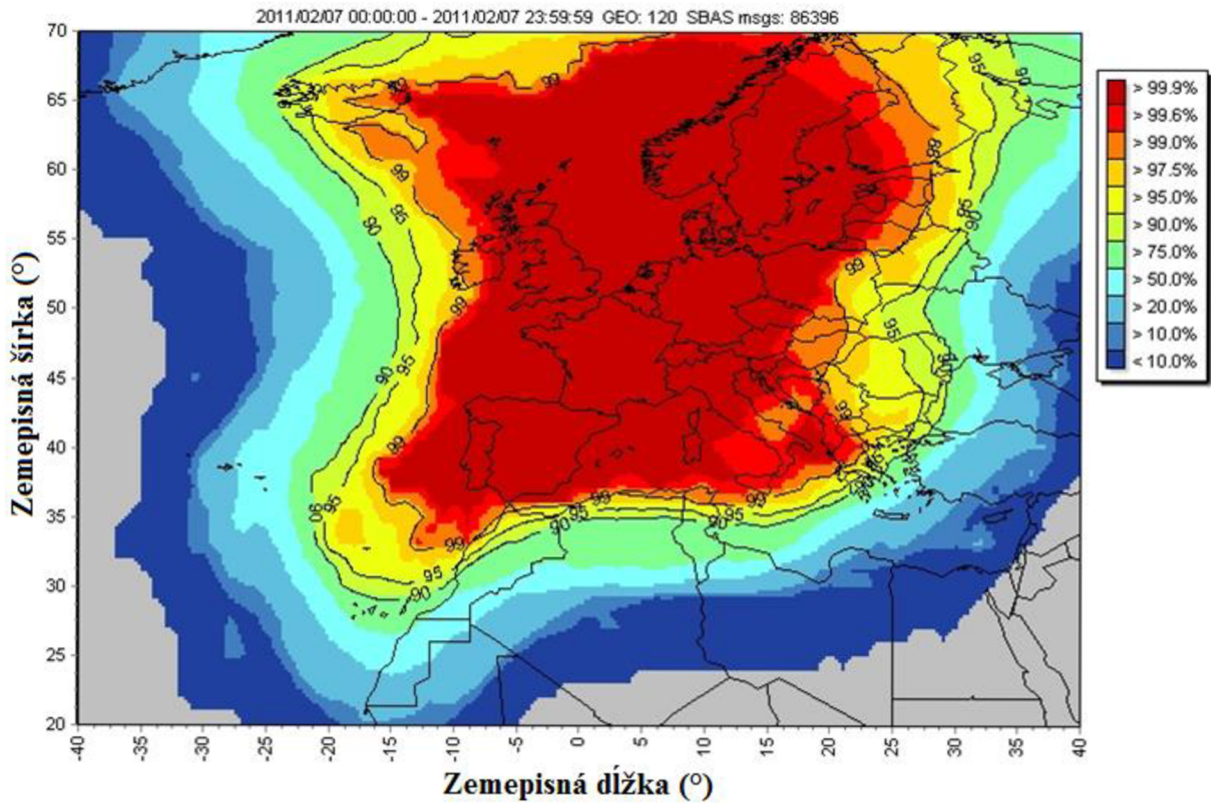


Obr. 53 Aplikácia akejkoľvek procedúry PBN v rámci štátov ECAC 2019 [19]

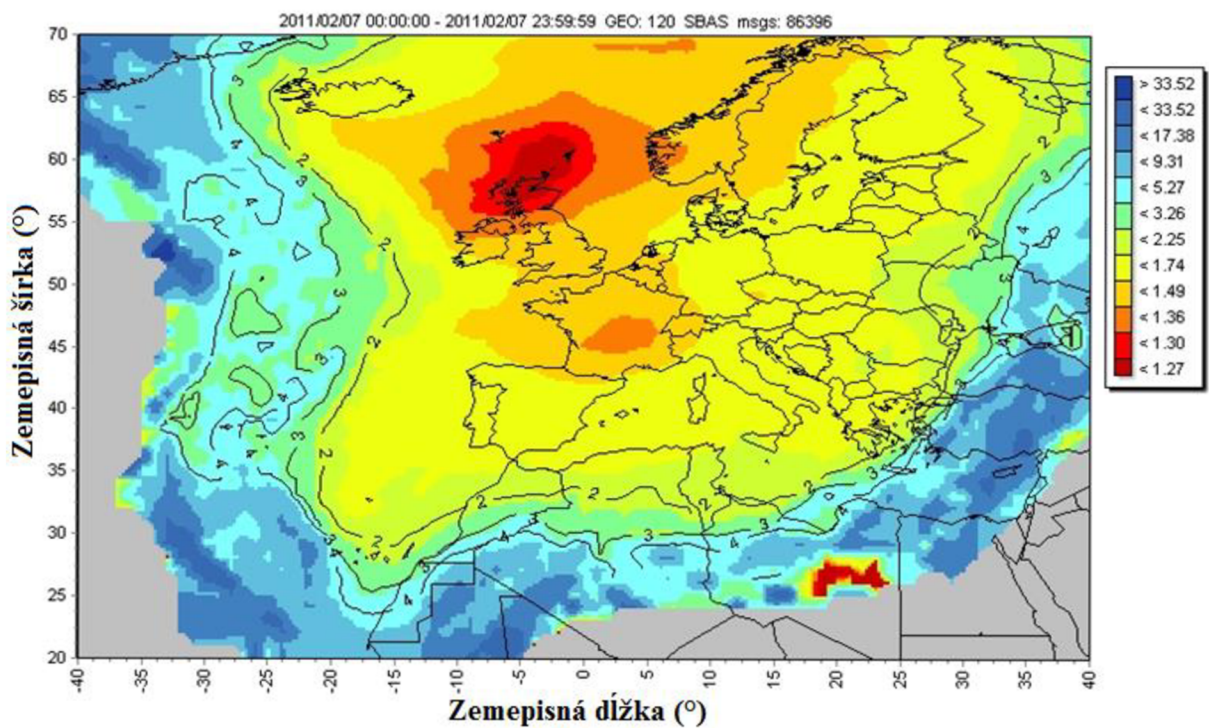


Obr. 54 Aplikácia procedúry 3D PBN v rámci štátov ECAC 2019 [19]

Priloha 5: Výkonnostné charakteristiky systému EGNOS



Obr. 55 Príklad dostupnosti systému EGNOS ([14]; upravené autorom)

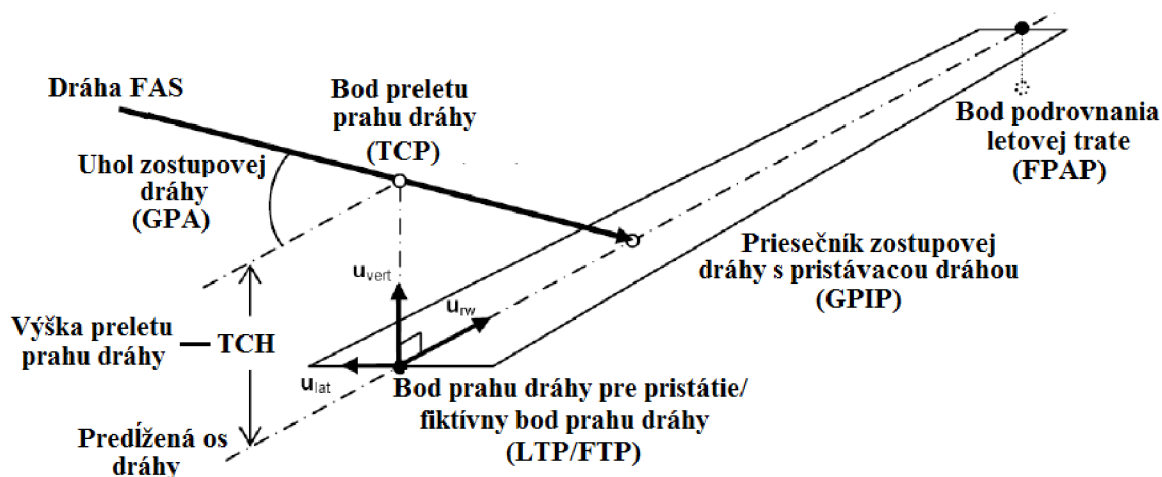


Obr. 56 Príklad vertikálnej presnosti poskytovanej systémom EGNOS ([14]; upravené autorom)

Príloha 6: Údaje dátového bloku úseku konečného priblíženia

Tab. 29 Dátový blok úseku konečného priblíženia FAS ([44]; upravené autorom)

Obsah dát	Použité bity	Rozsah hodnôt	Rozlíšenie
Typ prevádzky	4	0 až 15	1
ID poskytovateľa SBAS	4	0 až 15	1
ID letiska	32	-	-
Číslo RWY	6	01 až 36	1
Písmeno RWY	2	-	-
Označenie výkonnosti pre priblíženie	3	0 až 7	1
Ukazovateľ trate	5	-	-
Selektor dát referenčnej dráhy	8	0 až 48	1
Identifikátor referenčnej dráhy	32	-	-
Zemepisná šírka LTP/FTP	32	$\pm 90^\circ$	0,0005 arcsec
Zemepisná dĺžka LTP/FTP	32	$\pm 180^\circ$	0,0005 arcsec
Výška LTP/FTP	16	-512,0 až 6 041,5 m	0,1 m
Δ zemepisnej šírky FPAP	24	$\pm 1,0^\circ$	0,0005 arcsec
Δ zemepisnej dĺžky FPAP	24	$\pm 1,0^\circ$	0,0005 arcsec
Výška preletu prahu dráhy (TCH)	15	0 až 1 638,35 m alebo 0 až 3 276,7 ft	0,05 m alebo 0,1 ft
Selektor jednotiek pre priblíženie	1	-	-
Uhol zostupovej dráhy (GPA)	16	0 až 90°	$0,01^\circ$
Šírka kurzu	8	80,0 až 143,75 m	0,25 m
Posunutie dĺžky Δ	8	0 až 2 032 m	8 m
HAL	8	0 až 51 m	0,2 m
VAL	8	0 až 51 m	0,2 m
CRC úseku konečného priblíženia	32	-	-



Obr. 57 Definícia FAS ([17]; upravené autorom)