



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Tereza Topková

Přeškolení pilotů na GNSS

Bakalářská práce

2015



K621..... Ústav letecké dopravy

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Tereza Topková

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – LED – Letecká doprava

Název tématu (česky): **Přeškolení pilotů na GNSS**

Název tématu (anglicky): Retraining of Pilots for GNSS

Zásady pro vypracování

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

- Úvod
- Kategorie pilotních průkazů způsobilosti VFR
- GNSS navigace – principy, provoz, chyby a přesnost, faktory ovlivňující přesnost
- RNP approach
- Návrh výcviku s hodinovou dotací
- Závěr

Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Letecký předpis L 8168
V. Soldán: Letové postupy a provoz letadel
Nařízení Komise (EU) č. 1178/2011

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jakub Kraus**

Datum zadání bakalářské práce: **24. října 2014**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

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


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




.....
prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.


.....
Tereza Topková
jméno/a podpis studenta

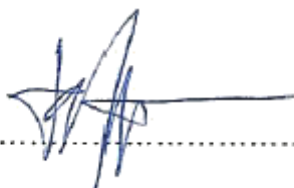
V Praze dne..... 24. října 2014

Prohlášení

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

Zároveň prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 21.8.2015



Tereza Topková

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala všem, kteří mi poskytli podklady a odborné rady pro vypracování této práce. Obzvláště děkuji vedoucímu své bakalářské práce, Ing. Jakubu Krausovi za poskytnutí odborných rad, konzultací v celém průběhu tvorby práce, bez jehož odborného vedení by práce nebyla vytvořena. Poděkování patří také panu Ing. Pavlu Valentovi, který mi umožnil praktický pohled na danou problematiku. V neposlední řadě děkuji své rodině a blízkým za trpělivost, morální a materiální podporu, která mi byla poskytována po celou dobu studia.

Abstrakt

Autor: Tereza Topková

Název bakalářské práce: Přeškolení pilotů na GNSS

Škola: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní

Vydání: Praha, 2015

Počet stran: 69

Počet příloh: 1

Práce se zabývá návrhem osnovy teoretické výuky GNSS pro kategorie průkazů způsobilosti pilotů VFR. Nejprve představuje jednotlivé průkazy způsobilosti pilota stanovené v Nařízení Komise (EU) č.1178/2011 a rozepisuje teoretický a praktický výcvik týkající se GNSS u jednotlivých licencí podle Rozhodnutí č. 2011/016/R. Následně zpracovává teoretické podklady pro výuku GNSS a jeho využití při přiblížení RNP APCH. V závěrečné části je navržena možná osnova teoretické výuky s příkladem využití GNSS a s časovou dotací výuky pro vybrané kategorie průkazů způsobilosti pilotů VFR.

Klíčová slova:

GNSS, teoretická výuka, VFR, průkaz způsobilosti pilota, RNP APCH

Abstract

Author: Tereza Topková

Title: Retraining of Pilots for GNSS

School: Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences

Publication: Prague, 2015

Number of pages: 69

Number of appendices: 1

This Bachelor thesis deals with proposal of curriculum for theoretical training of GNSS for VFR pilot licences. At first, it introduces different type of pilot licences defined according to Commission Regulation (EU) No 1178/2011 and describes theoretical and practical training courses for these licences related to GNSS according to Decision 2011/016/R. Afterwards, theoretical materials for GNSS training are suggested and also its application in RNP APCH procedures. In the final part, a suggestion of possible curriculum for theoretical training is made with the application of GNSS and with time demands for chosen categories of VFR pilot licences.

Keywords:

GNSS, Theoretical Training, VFR, Pilot Licence, RNP APCH

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Anglický význam	Český význam
AAIM	Aircraft Autonomous Integrity Monitoring	Autonomní monitorování integrity v letadle
ABAS	Aircraft-Based Augmentation Systems	Palubní augmentační systém
ADF	Automatic Direction Finder	Automatický radiokompas
AFSCN	Air Force Satellite Control Network	-
AMC and GM	Acceptable Means of Compliance and Guidance Material	Přijatelné způsoby průkazu a poradenský materiál
APV	Approach procedure with vertical guidance	Postup přiblížení s vertikálním vedením
ARA	Authority Requirements for Aircrew	Požadavky úřadu pro posádky letadel
ARTEMIS	Advanced Relay and Technology Mission Satellite	Družice systému EGNOS
ATO	Approved Training Organization	Schválená organizace pro výcvik
ATPL	Airline Transport Pilot Licence	Průkaz způsobilosti dopravního pilota
ATS	Air traffic services	Letové provozní služby
BOC	Binary Offset Carrier	Binární modulace se zpožděnou nosnou
BPL	Balloon Pilot Licence	Průkaz způsobilosti pilota balónů
BPSK	Binary-Phase Shift Keying	Dvoustavové klíčování fázovým posuvem
C/A	Coarse Acquisition	Volně dostupný kód GPS
C/NAV	Commercial Navigation Message	Komerční navigační zpráva
CBP	Cloud Break Procedure	-
CBT	Computer Based Training	Výcvik na platformě počítače
CC	Cabin Crew	Kabinový personál
CDFA	Continuous descent final approach	Konečné přiblížení stálým klesáním
CDMA	Code division multiple access	Kódový multiplex
CNAV	Civil Navigation Message	Civilní navigační zpráva
CNS	Communication, Navigation & Surveillance	Komunikace, navigace & sledování
CPL	Commercial Pilot Licence	Průkaz způsobilosti obchodního pilota
CS	Commercial Service	Komerční služba
DA/H	Decision altitude/height	Nadmořská výška rozhodnutí/výška rozhodnutí
DF	Direction Finder	Radiokompas
DME	Distance measuring equipment	Měřič vzdálenosti
DOP	Dilution of Precision	Činitel zhoršení přesnosti
DVE	Degraded Visual Environment	Degradace vizuálního prostředí
EASA	European Aviation Safety Agency	Evropská agentura pro bezpečnost letectví

EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service	Evropský augmentační systém
ESA	European Space Agency	Evropská kosmická agentura
EU	European Union	Evropská unie
EUROCONTROL	European Organisation for the Safety of Air Navigation	Evropská organizace pro bezpečnost leteckého provozu
F/NAV	Freely Accesible Navigation Message	Volně přístupná navigační zpráva
FAS	Final Approach Segment	Úsek konečného přiblížení
FCL	Flight Crew Licencing	Licencování leteckého personálu
FD	Fault Detection	Detekce chyby
FDE	Fault Detection a Exclusion	Detekce chyby a vyřazení
FDMA	Frequency Division Multiple Access	Kmitočtový multiplex
FMS	Flight Management System	Systém plánování a optimalizace letu
FSTD	Flight Simulation Training Devices	Zařízení pro výcvik pomocí letové simulace
FTE	Flight technical error	Letově-technická chyba
G/NAV	Governmental Navigation Message	Vládní navigační zpráva
GAGAN	GPS&GEO Augmented Navigation	Indický augmentační systém
GBAS	Ground-Based Augmentation System	Pozemní augmentační systém
GDOP	Geometric Dilution of Precision	Geometrické zhoršení činitele přesnosti
GLONASS	Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistěma (Rus.)	Ruský GNSS
GNSS	Global Navigation Satellite System	Globální družicový polohový systém
GPS	Global Positioning System	Globální polohový systém
HAL	Horizontal alarm limit	Mez horizontální výstrahy
HDOP	Horizontal Dilution of Precision	Horizontální činitel zhoršení přesnosti
HP	High accuracy signal service	Služba s vysokou přesností signálu
I/NAV	Integrity Navigation Message	Integritní navigační zpráva
IFR	Instrument flight rules	Pravidla pro let podle přístrojů
ILS	Instrument Landing System	Elektronický přístrojový přistávací systém
IR	Instrument rating	Přístrojová kvalifikace
IRNSS	The Indian Regional Navigational Satellite System	Indický regionální družicový polohový systém
IRS	Inertial reference system	Inerční referenční systém
JAA	Joint Aviation Authorities	Spojené letecké úřady
LAAS	Local Area Augmentation System	Lokální podpůrný systém
LAPL	Light Aircraft Pilot	Průkaz způsobilosti pilota lehkých letadel
LCD	Liquid crystal display	Displej z tekutých krystalů

LNAV	Lateral navigation	Směrová navigace
LP	Localizer performance	Výkonnost směrového majáku
LPV	Localizer performance with vertical guidance	Výkonnost směrového majáku s vertikálním vedením
MCC	Master Control Centre	Hlavní řídicí centrum
MDA/H	Minimum descent altitude/height	Minimální nadmořská výška/výška pro klesání
MLS	Microwave Landing System	Mikrovlnný přistávací systém
MPL	Multi-crew Pilot Licence	Průkaz způsobilosti pilota ve vícečlenné posádce
MSAS	MTSAT Satellite-Based Augmentation System	Japonský augmentační systém
NDB	Nondirectional beacon	Nesměrový radiomaják
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency	-
NLES	Navigation Land Earth Stations	Vysílací stanice k družicím
NPA	Notice of Proposed Amendment	Oznámení navrhovaného amendmentu
NSE	Navigation system error	Navigační chyba systému
ORA	Organization requirements for Aircrew	Požadavky organizace pro posádky letadel
OS	Open Service	Základní služba
PBN	Performance-Based Navigation	Navigace založená na výkonnosti
PDE	Path definition error	Chyba definice dráhy
PDOP	Positional Dilution of Precision	Činitel zhoršení přesnosti polohy
PPL	Private Pilote Licence	Průkaz způsobilosti soukromého pilota
PPS	Precise Positioning Service	Služba určení přesné polohy
PRN	PPseudo Random Noise	Pseudonáhodný šum
PRS	Public Regulated Service	Veřejně regulovaná služba
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System	Japonský regionální družicový polohový systém
RAIM	Receiver Autonomous Integrity Monitoring	Autonomní monitorování integrity přijímače
RIMS	Range and Integrity Monitoring Stations	Monitorovací stanice integrity a vzdálenosti
RNAV	Area navigation or Random Navigation	Prostorová navigace
RNP	Required navigation performance	Požadovaná navigační výkonnost
RNP APCH	RNP approach	RNP přiblížení
SAR	Search and Rescue	Tísňová služba
SBAS	Satellite-Based Augmentation Systems	Satelitní augmentační systém
SoL	Safety of Life	Služba se zajištěnou bezpečností
SP	Standard accuracy signal service	Služba se standardní přesností signálu
SPL	Sailplane Pilot Licence	Průkaz způsobilosti pilota kluzáků
SPS	Standard Positioning Service	Standardní navigační služba
TDOP	Time Dilution of Precision	Činitel zhoršení přesnosti času

TMG	Touring Motor Glider	Turistický motorový kluzák
TSE	Total System Error	Celková chyba systému
UERE	User Equivalent Range Error	Ekvivalentní chyba vzdálenosti
UTC	Coordinated Universal Time	Univerzální světový koordinovaný čas
VAL	(Vertical alarm limit	Mez vertikální výstrahy
VDB	VHF Data Broadcast	VHF datový spoj
VDF	VHF Direction Finder	VKV radiokompas
VDOP	Vertical Dilution of Precision	Vertikální činitel zhoršení přesnosti
VFR	Visual flight rules	Pravidla letu za viditelnosti
VHF	Very High Frequency	Velmi krátké vlny
VMC	Visual meteorological conditions	Podmínky pro let za viditelnosti
VNAV	Vertical navigation	Vertikální navigace
VOR	Very high frequency omnidirectional radio range	VKV všesměrový radiomaják
WAAS	Wide Area Augmentation System	Americký augmentační systém
WGS84	World Geodetic System 1984	Světový geodetický systém 1984
WP	Waypoint	Traťový bod

Obsah

Seznam použitých zkratk	6
1 Úvod	12
2 Kategorie průkazů způsobilosti pilota VFR	14
2.1 Závazné předpisy	14
2.2 LAPL – Průkaz způsobilosti pilota lehkých letadel, Hlava B	15
2.2.1 LAPL(A) – Průkaz způsobilosti pilota lehkých letadel pro letouny	15
2.2.2 LAPL(H) – Průkaz způsobilosti pilota lehkých letadel pro vrtulníky	16
2.2.3 LAPL(S) – Průkaz způsobilosti pilota lehkých letadel pro kluzáky	16
2.2.4 LAPL(B) – Průkaz způsobilosti pilota lehkých letadel pro balóny	17
2.3 PPL – Průkaz způsobilosti pilota soukromých letadel, SPL – Průkaz způsobilosti pilota kluzáků,	17
BPL – Průkaz způsobilosti pilota balónů, Hlava C	17
2.3.1 PPL(A) – Průkaz způsobilosti soukromého pilota pro letouny	17
2.4.1 PPL(H) – Průkaz způsobilosti soukromého pilota pro vrtulníky	20
2.4.2 PPL(As) – Průkaz způsobilosti soukromého pilota pro vzducholodě	21
2.4.3 SPL – Průkaz způsobilosti pilota kluzáků, Hlava C	21
2.4.4 BPL – Průkaz způsobilosti pilota balónů, Hlava C	21
2.5 Kvalifikace pro lety v noci, VFR Night	22
2.6 CPL – Průkaz způsobilosti obchodního pilota, Hlava D	22
3 GNSS (Global navigation satellite system)	24
3.1 Systémy zahrnuté v GNSS	24
3.2 Provoz	25
3.2.1 Řídící segment	25
3.2.2 Kosmický segment	26
3.2.3 Uživatelský segment	28
3.3 Princip určení polohy	29
3.3.1 GPS	31
3.3.2 GLONASS	33

3.3.3	GALILEO	35
3.4	Chyby a faktory ovlivňující přesnost.....	37
3.5	Augmentační systémy	40
3.5.1	GBAS – Ground-Based Augmentation Systems	41
3.5.2	SBAS – Satellite-Based Augmentation Systems.....	42
3.5.3	ABAS – Airborne-Based Augmentation Systems	44
4	RNP APCH	45
4.1	PBN, RNAV, RNP.....	45
4.2	RNP APCH	49
4.2.1	LNAV a LP.....	50
4.2.2	Přístrojové přiblížení s vertikálním vedením (APV), (3D přiblížení podle přístrojů)51	
5	Návrh výcviku s hodinovou dotací.....	53
5.1	Využití GNSS při letu VFR	53
5.2	Návrh pro LAPL(A), LAPL(H), PPL(A), PPL(H)	54
5.3	Návrh pro LAPL(S), SPL, LAPL(B), BPL.....	56
5.4	Možnosti výcviku, hodinová dotace.....	57
6	Závěr	59
	Seznam použitých zdrojů.....	60
	Seznam obrázků.....	65
	Seznam tabulek	67
	Seznam příloh.....	68
	Přílohy	69

1 Úvod

Od původního záměru využití GNSS (Globální družicový polohový systém, Global Navigation Satellite System) pro vojenské účely, který vznikl s vývojem systému NAVSTAR GPS (Globální polohový systém, Global Positioning System) v 70. letech 20. století v USA, se vyvinul pro mnohá odvětví nepostradatelný navigační prostředek i ve sféře civilní. Od 90. let minulého století se postupně určení polohy pomocí satelitů rozšířilo do odvětví geodézie, meteorologie, zemědělství, stavebnictví, zdravotnictví, energetiky, životního prostředí a spousty dalších, ze kterých je pro tuto práci nejdůležitější využití v dopravě, konkrétně dopravě letecké. Díky neustálému zlepšování a přesňování služeb, vývoji nových globálních i regionálních družicových polohových systémů, a také podpůrných systémů, si satelitní navigace vybudovala v letecké dopravě zásadní roli. Nabízí pro piloty své služby ve všech fázích letu a umožňuje společně s augmentačními systémy i přesné přístrojové přiblížení. Její výhody spočívají zejména v celosvětovém pokrytí a poskytnutí třírozměrného stanovení pozice. Využití GNSS umožňuje efektivnější a flexibilnější využití vzdušného prostoru, s čímž je spojený libovolný výběr trasy, nižší spotřeba paliva a celkově zvýšená kapacita vzdušného prostoru bez potřeby zachování některých pozemních radionavigačních zařízení na trase, což vede ke značnému snížení nákladů na údržbu navigačních zařízení.

Pro státy Evropské unie se stalo závazné Nařízení Komise (EU) č.1178/2011, kde jsou v Části-FCL upraveny požadavky na získání průkazů způsobilosti pilota a stanoveny nové kategorie těchto průkazů. V Rozhodnutí č. 2011/016/R (AMC - Acceptable Means of Compliance and GM – Guidance Material, Přijatelné způsoby průkazu a poradenský materiál k Části-FCL) se nachází rozepsání výcviků podle jednotlivých licencí rozdělené na teoretickou a praktickou část. Obsahem výcviku radionavigace je podle tohoto dokumentu také kapitola o GNSS. Cílem této práce je navrhnout teoretický výcvik pro kategorie průkazů způsobilosti pilotů VFR (Pravidla letu za viditelnosti, Visual flight rules). Jak vyplývá z názvu, lety VFR jsou prováděny při určité dohlednosti a ve vzdálenosti od oblačnosti blíže stanovené v předpisu L2 (Pravidla létání), tak aby měl pilot v dohledu zem a mohl provádět srovnávací navigaci. Téměř všichni žáci leteckých škol se však s družicovou navigací setkali již v běžném životě, a proto se dá předpokládat, že ji budou využívat i při provádění letu. Důležitý je proto vhodný výcvik, který klade důraz na primární význam srovnávací navigace a pouze záložní význam družicové navigace, aby mohlo být pro budoucí piloty využívání přístrojového navigačního vybavení přínosem a nikoliv příčinou tragických událostí způsobených spolehnutím se na přístroje, pro které piloti VFR nemají dostatečnou kvalifikaci.

Práce se nejprve zaměřuje na nové kategorie průkazů způsobilosti pilota podle Nařízení Komise (EU) č.1178/2011 a na části výcviku věnované GNSS u jednotlivých druhů průkazů.

Dále obsahuje podklady pro teoretickou výuku GNSS sepsané s přihlédnutím k učebním cílům osnovy průkazů způsobilosti obchodního a dopravního pilota (CPL a ATPL) v dokumentu NPA (Oznámení navrhovaného amendmentu, Notice of Proposed Amendment) 2014-29 (D)(2) na něž navazuje, jako možné využití GNSS ve fázi přiblížení, teorie RNP APCH. Práce se zabývá možnou budoucí aplikací tohoto přiblížení při specifických postupech VFR. V závěrečné části je vytvořen návrh teoretického výcviku s osnovou čerpající z teoretického podkladu a hodinová dotace na výuku GNSS pro vybrané kategorie licencí.

2 Kategorie průkazů způsobilosti pilota VFR

2.1 Závazné předpisy

Přílohou 1 (Annex 1) Nařízení Komise (EU) č. 1178/2011, které bylo vydáno 3. listopadu 2011, je Část-FCL (Part-FCL), kde je stanovena nynější kategorizace průkazů způsobilosti pilota, závazná ve státech Evropské unie, tedy i v České republice. Do nabytí platnosti tohoto nařízení byly průkazy způsobilosti vytyčeny v předpisu JAR-FCL 1 o Způsobilosti členů letecké posádky, vydaného organizací JAA (Sdružené letecké úřady, Joint Aviation Authorities). Nové Nařízení vydala EASA (Evropská agentura pro bezpečnost letectví, European Aviation Safety Agency) pod záštitou Evropské komise a jsou v něm obsaženy tyto přílohy:

- Annex I – Part-FCL
- Annex II – Podmínky pro změnu stávajících vnitrostátních průkazů způsobilosti a kvalifikaci pro letouny a vrtulníky
- Annex III – Podmínky pro přijetí průkazů způsobilosti vydaných třetími zeměmi nebo jménem třetích zemí
- Annex IV – Part-MED

Zbývající přílohy, které tvoří kompletní předpis požadavků na letovou posádku, byly přidány na základě Nařízení Komise (EU) č. 290/2012 30. března 2012 a jsou to:

- Annex V – Kvalifikace palubních průvodčích v obchodní letecké dopravě [Part-CC]
- Annex VI – Požadavky úřadů pro posádky letadel [Part-ARA]
- Annex VII – Požadavky organizace pro posádky letadel [Part-ORA]

S Part-FCL byly stanoveny nové kategorie průkazů způsobilosti, které jsou obsahem těchto jednotlivých hlav Annexu I:

- Hlava A – OBECNÉ POŽADAVKY
- Hlava B – PRŮKAZ ZPŮSOBILOSTI PILOTA LEHKÝCH LETADEL - LAPL
- Hlava C – PRŮKAZ ZPŮSOBILOSTI SOUKROMÉHO PILOTA (PPL), PRŮKAZ ZPŮSOBILOSTI PILOTA KLUZÁKŮ (SPL) A PRŮKAZ ZPŮSOBILOSTI PILOTA BALÓNŮ (BPL)
- Hlava D – PRŮKAZ ZPŮSOBILOSTI OBCHODNÍHO PILOTA – CPL
- Hlava E – PRŮKAZ ZPŮSOBILOSTI PILOTA VE VÍCEČLENNÉ POSÁDCE – MPL

- Hlava F – PRŮKAZ ZPŮSOBILOSTI DOPRAVNÍHO PILOTA – ATPL
- Hlava G – PŘÍSTROJOVÁ KVALIFIKACE – IR
- Hlava H – TŘÍDNÍ A TYPOVÁ KVALIFIKACE
- Hlava I – DODATEČNÉ KVALIFIKACE
- Hlava J – INSTRUKTOŘI
- Hlava K – EXAMINÁTOŘI

Důležité doplňující informace o požadavcích na letecký výcvik se nacházejí v dokumentu Rozhodnutí č. 2011/016/R výkonného ředitele EASA ze dne 15. prosince 2011 „Přijatelné způsoby průkazu a poradenský materiál k Části-FCL“. Zde lze pro jednotlivé průkazy způsobilosti nalézt především doporučenou osnovu teoretické výuky a osnovu letového výcviku, které tvoří základ této práce.

Práce se dále zabývá obsahem Part-FCL a příslušným AMC a GM, které se týkají Hlav B-D, protože právě v tomto úseku jsou uvedeny informace o průkazech způsobilosti, jež se zaobírají lety VFR a částí teoretické a letové osnovy, kde je do výcviku začleněn GNSS.

2.2 LAPL – Průkaz způsobilosti pilota lehkých letadel, Hlava B

„Držitel průkazu LAPL má práva k bezúplatnému výkonu funkce velitele letadla v neobchodním provozu v odpovídající kategorii letadel.“ [1]. Podle odpovídajících kategorií letadel se licence dělí na:

- LAPL(A) – Průkaz způsobilosti pilota lehkých letadel pro letouny
- LAPL(H) – Průkaz způsobilosti pilota lehkých letadel pro vrtulníky
- LAPL(S) – Průkaz způsobilosti pilota lehkých letadel pro kluzáky
- LAPL(B) – Průkaz způsobilosti pilota lehkých letadel pro balóny

Minimální věk pro získání licence v případě letounů a vrtulníků je 17 let, v případě vzducholodí a balónů 16 let.

2.2.1 LAPL(A) – Průkaz způsobilosti pilota lehkých letadel pro letouny

„Držitel průkazu LAPL(A) má práva k výkonu funkce velitele letadla v jednomotorových pístových pozemních letounech nebo TMG (Turistický motorový kluzák, Touring Motor Glider) s maximální certifikovanou vzletovou hmotností 2 000 kg nebo nižší, přičemž smí přepravovat nejvíce tři cestující, takže počet osob na palubě letadla nikdy nepřesáhne čtyři osoby.“ [1]

Osnova teoretických znalostí pro průkaz způsobilosti LAPL(A) je shodná s osnovou pro průkaz způsobilosti PPL(A), který bude uveden v kapitole 1.3.1.

Součástí letového výcviku v oblasti radionavigace by vedle použití všesměrového zaměření VHF (VHF/DF) a použití traťového radaru nebo radaru koncové řízené oblasti podle osnovy měla být i navigace GNSS nebo VOR/ADF. Mezi minimálně stanovenými 30 hodinami výcviku se je tato část obsažena v následujícím znění:

Úloha 18c: Radionavigace:

(A) použití GNSS nebo VOR/ADF:

- (a) výběr traťových bodů;
- (b) indikace k/od a orientace;
- (c) chybové zprávy.

2.2.2 LAPL(H) – Průkaz způsobilosti pilota lehkých letadel pro vrtulníky

„Držitel průkazu LAPL pro vrtulníky má práva k výkonu funkce velitele letadla v jednomotorových vrtulnicích s maximální certifikovanou vzletovou hmotností 2 000 kg nebo nižší, přičemž smí přepravovat nejvíce tři cestující, takže počet osob na palubě letadla nikdy nepřesáhne čtyři osoby.“ [1]

Osnova teoretických znalostí pro průkaz způsobilosti LAPL(H) je shodná s osnovou pro průkaz způsobilosti PPL(H), tedy i PPL(A), která bude uvedena v kapitole 1.3.1.

V osnovách letového výcviku lze nalézt totožnou úlohu s LAPL(A) pod číslem 22c, kterou mají žadatelé předepsanou v rámci 40 hodin letového výcviku.

2.2.3 LAPL(S) – Průkaz způsobilosti pilota lehkých letadel pro kluzáky

„Držitel průkazu LAPL pro kluzáky má práva k výkonu funkce velitele letadla v kluzácích a motorových kluzácích.“ [1]

Pro teoretický výcvik části navigace LAPL(S) se stanovila následující osnova:

9. NAVIGACE

- 9.1. Základy navigace
- 9.2. Magnetismus a kompas
- 9.3. Mapy
- 9.4. Navigace výpočtem

9.5. Navigace za letu

9.6. Globální navigační družicové systémy (GNSS)

V předepsaných 15 hodinách letového výcviku se přímo nezařazuje družicová navigace, ale mohla by být součástí těchto postupů navigace za letu (úlohy 17b) či techniky traťového letu (úlohy 17c): při nejistotě o poloze, postupu při ztrátě orientace, používání doplňkového vybavení a při omezování rizika a reakci na nebezpečí.

2.2.4 LAPL(B) – Průkaz způsobilosti pilota lehkých letadel pro balóny

„Držitel průkazu LAPL pro balóny má práva k výkonu funkce velitele letadla v horkovzdušných balónech nebo horkovzdušných vzducholodích s maximální kapacitou obalu 3 400 m³ nebo v balónech plněných plynem s maximální kapacitou obalu 1 200 m³, přičemž smí přepravovat nejvíce tři cestující.“ [1]

Obsah teoretického výcviku je téměř obdobný jako pro kluzáky s výjimkou prvního bodu, kde přibyla podkapitola: 9.1. Navigace obecně, (GNSS bychom proto hledali pod odkazem 9.7.).

Součástí 16 hodin letového výcviku je osnovou stanovena úloha o navigaci č. 11 pod bodem K, kde je zahrnuto používání GNSS pro případy, je-li použitelné.

2.3 PPL – Průkaz způsobilosti pilota soukromých letadel,

SPL – Průkaz způsobilosti pilota kluzáků,

BPL – Průkaz způsobilosti pilota balónů, Hlava C

Průkaz způsobilosti pilota soukromých letadel se dělí podle odpovídající kategorie letadel na:

- PPL(A) – Průkaz způsobilosti soukromého pilota pro letouny
- PPL(H) – Průkaz způsobilosti soukromého pilota pro vrtulníky
- PPL(As) – Průkaz způsobilosti soukromého pilota pro vzducholodě

Přičemž licenci PPL může žadatel získat od 17 let věku a licence SPL a BPL od věku 16 let.

2.3.1 PPL(A) – Průkaz způsobilosti soukromého pilota pro letouny

„Držitel průkazu PPL(A) má práva k bezúplatnému výkonu funkce velitele letadla nebo druhého pilota v letounech nebo TMG v neobchodním provozu“ [1] a držitel průkazu PPL(A) s právy instruktora nebo examinátora může podle Nařízení Komise (EU) č. 1178/2011 obdržet úplaty za poskytování letového výcviku, provádění zkoušek a přezkoušení odborné způsobilosti či kvalifikace a osvědčení pro průkazy způsobilosti LAPL(A) nebo PPL(A).

Osnova teoretického výcviku týkající se radionavigace je podrobně rozepsána v Rozhodnutí č. 2011/016/R a tato část je shodná kromě PPL(A) i pro LAPL(A), PPL(H) a LAPL(H). Přehled výcviku radionavigace zmíněných licencí je vypsán v tabulce 1.

Tabulka 1 - Teoretická osnova radionavigace pro PPL(A), PPL(H), LAPL(A) a LAPL(H) [2]

	Základní teorie šíření radiového signálu	Antény	Charakteristiky
		Šíření vln	Šíření v kmitočtových pásmech
Radionavigace	Radionavigační prostředky	Pozemní směrové zaměřování (DF)	Principy
			Provedení a pojetí
			Pokrytí
			Dosah
			Chyby a přesnost
			Faktory ovlivňující dosah a přesnost
		NDB/ADF	Principy
			Provedení a pojetí
			Pokrytí
			Dosah
			Chyby a přesnost
			Faktory ovlivňující dosah a přesnost
	VOR	Principy	
		Provedení a pojetí	
		Pokrytí	
		Dosah	
		Chyby a přesnost	
		Faktory ovlivňující dosah a přesnost	
	DME	Principy	
		Provedení a pojetí	
Pokrytí			
Dosah			
Chyby a přesnost			
Faktory ovlivňující dosah a přesnost			
Radar	Pozemní radar	Principy	
		Provedení a pojetí	
		Pokrytí	
		Dosah	
		Chyby a přesnost	
		Faktory ovlivňující dosah a přesnost	
	Sekundární přehledový radar a odpovídač	Principy	
		Provedení a pojetí	
GNSS	GPS, GLONASS NEBO GALILEO	Módy a kódy	
		Principy	
		Provoz	
		Chyby a přesnost	
			Faktory ovlivňující přesnost

Pro letový výcvik musí žadatel PPL(A) absolvovat alespoň 45 hodin, z nichž může být 5 hodin vykonáno na FSTD (Zařízení pro výcvik pomocí letové simulace, Flight Simulation Training Devices). Pokud by byla do výcviku začleněna navrhovaná změna z dokumentu Notice of Proposed Amendment 2014-29 (B) vydaného 17. prosince 2014, která přidává do úlohy 14c výcviku pro letouny bod (A)(d) nebezpečí přílišného spoléhání se na GNSS při pokračování letu v DVE (Degradace vizuálního prostředí, Degraded Visual Environment) a při vynechání poznámky o použitelnosti, byla by úloha 14c pro PPL(A) shodná s úlohou 25c pro PPL(H). V příslušném přehledu osnovy jsou uvedeny i další body pro úlohu radionavigace pro znázornění rozsáhlosti této problematiky, které nejsou dále rozepisovány. Osnova je sestavena takto:

PPL(A) Úloha 14c a PPL(H) Úloha 25c: Radionavigace:

(A) Použití GNSS:

(a) výběr traťových bodů

(b) indikace k/od a orientace

(c) chybové zprávy

(d) nebezpečí přílišného spoléhání se na GNSS při pokračování letu v DVE (zatím pouze pro PPL(H))

(B) Použití všesměrového zaměření VHF (je-li to použitelné)

(C) Použití vybavení ADF: NDB (je-li to použitelné)

(D) Použití VHF/DF

(E) Použití traťového radaru nebo radaru koncové řízené oblasti

(F) Použití DME (je-li to použitelné)

2.4.1 PPL(H) – Průkaz způsobilosti soukromého pilota pro vrtulníky

„Držitel průkazu způsobilosti PPL(H) má práva k bezúplatnému výkonu funkce velitele letadla nebo druhého pilota ve vrtulnících v neobchodním provozu“ [1] a může obdržet úplatu za poskytování letového výcviku, provádění zkoušek a přezkoušení odborné způsobilosti či kvalifikace a osvědčení pro průkazy způsobilosti LAPL(H) nebo PPL(H).

Obsah teoretického i letového výcviku je shodný s PPL(A) a je zmíněn v předchozí kapitole. Z letového výcviku 45 hodin mohou žadatelé o průkaz způsobilosti soukromého pilota pro vrtulníky absolvovat 5 hodin na FNPT nebo FFS.

2.4.2 PPL(As) – Průkaz způsobilosti soukromého pilota pro vzducholodě

„Držitel průkazu způsobilosti PPL(As) má práva k bezúplatnému výkonu funkce velitele letadla nebo druhého pilota na vzducholodích v neobchodním provozu“ [1] a může obdržet úplatu za poskytování letového výcviku, provádění zkoušek a přezkoušení odborné způsobilosti či kvalifikace a osvědčení pro průkazy způsobilosti PPL(As).

V teoretickém výcviku radionavigace se vyskytují čtyři body, jsou to základní teorie šíření radiového signálu, radionavigační prostředky, radar a GNSS.

Osnova letového výcviku je shodná s PPL(A), s výjimkou, že dokument Notice of Proposed Amendment 2014-29 (B) k ní na rozdíl od licence pro letouny nenavrhuje přidání bodu (A)(d) (nebezpečí přílišného spoléhání se na GNSS při pokračování letu v DVE). V letovém výcviku pro PPL(As) se GNSS nachází pod úlohou 18c. Letový výcvik je prováděn s minimem 35 hodin, z nichž může být 5 hodin vykonáno na FSTD.

2.4.3 SPL – Průkaz způsobilosti pilota kluzáků, Hlava C

„Držitel průkazu SPL má práva k výkonu funkce velitele letadla v kluzácích a motorových kluzácích“ [1], přepravovat cestující po splnění stanovených požadavků, létat bez úplaty a v neobchodním provozu do dosažení 18 let věku, absolvování určeného počtu letů či vypuštění po vydání průkazu a přezkoušení odborné způsobilosti s examinátorem. Držitel průkazu SPL může obdržet úplatu za poskytování letového výcviku, provádění zkoušek a přezkoušení odborné způsobilosti či kvalifikace a osvědčení pro průkazy způsobilosti LAPL(S) nebo SPL.

Teoretický i letový výcvik je totožný s LAPL(S), stejně tak i počet 15 hodin praktického výcviku.

2.4.4 BPL – Průkaz způsobilosti pilota balónů, Hlava C

„Držitel průkazu BPL má práva k výkonu funkce velitele letadla v balónech a na horkovzdušných vzducholodích“ [1], k přepravování cestujících po splnění stanovených požadavků jako například absolvování určené doby letu s počtu vzletů a přistání a přezkoušení odborné způsobilosti s examinátorem, k létání bez úplaty a v neobchodním provozu do dosažení 18 let věku a může obdržet úplatu za stejné služby, jako držitel licence SPL pro průkazy způsobilosti LAPL(B) nebo BPL.

Teoretický i letový výcvik a počet hodin praktického výcviku je identický s LAPL(B).

2.5 Kvalifikace pro lety v noci, VFR Night

Pro lety za viditelnosti v noci je potřeba podstoupit zvláštní výcvik, který se skládá z hodiny teoretické výuky a 5 hodin letového výcviku, kde by si měl pilot osvojit ztíženou prostorovou orientaci způsobenou omezenou viditelností země. Kvalifikace pro lety v noci je potřebná pro navazující licence CPL a kvalifikaci IR.

2.6 CPL – Průkaz způsobilosti obchodního pilota, Hlava D

Pro získání průkazu způsobilosti obchodního pilota je potřeba, aby bylo žadateli minimálně 18 let. Držitel má v rámci odpovídající kategorie letadel všechna práva průkazů LAPL a PPL, „k výkonu funkce velitele letadla nebo druhého pilota ve všech letadlech v jiné než obchodní letecké dopravě, k výkonu funkce velitele letadla v obchodní letecké dopravě ve všech jednopilotních letadlech s výhradou omezení uvedených v článku FCL.060¹ a v této hlavě a k výkonu funkce druhého pilota v obchodní letecké dopravě s výhradou omezení uvedených v článku FCL.060. “[1] Průkaz CPL je možné získat v těchto kategoriích letadel:

- CPL(A) – Průkaz způsobilosti obchodního pilota pro letouny
- CPL(H) – Průkaz způsobilosti obchodního pilota pro vrtulníky
- CPL(As) – Průkaz způsobilosti obchodního pilota pro vzducholodě

V souvislosti s průkazy obchodního pilota se práce zabývá pouze lety za viditelnosti, tedy lety bez přístrojové kvalifikace (IR – Instrument rating), která je součástí integrovaného výcviku CPL/IR či ATPL. Licence CPL se využívá bez oprávnění provádění IFR (Pravidla pro let podle přístrojů, Instrument flight rules) letů například v zemědělské činnosti či při leteckém snímkování zemského povrchu pro tvorbu map. Pro získání tohoto průkazu způsobilosti si může zvolit uchazeč mezi integrovaným nebo modulovým kurzem, před nímž musí být držitelem průkazu PPL na daném typu letadla a kvalifikován pro lety v noci.

V obsahu teoretické výuky pro letouny a vrtulníky se nachází zaměření na radionavigaci, kterou mohou žadatelé dále využít při ucházení o průkaz způsobilosti profesionálního pilota a kvalifikace letů podle přístrojů. Družicová navigace se vyskytuje pod kapitolami Systémy prostorové navigace a RNAV nebo FMS (Systém plánování a optimalizace letu, Flight Management System) a GNSS. Pro integrovaný i modulový kurz pilotů letounů a vrtulníků se teoretická část výuky shoduje a přesnou osnovu určuje příslušný úřad. Pro licenci CPL(As) je součástí teoretické osnovy část o GNSS.

¹ Článek FCL.060 uvádí podmínky nedávné praxe pilota, které musí být splněny pro provozování letadla v obchodní letecké dopravě a přepravu cestujících.

Pro integrované kurzy je v letovém výcviku předepsáno alespoň 10 hodin letu podle přístrojů ve dvojitěm řízení, které mohou obsahovat 5 hodin pozemní přístrojové doby na letových simulátorech (pro CPL(As) musí být 5 hodin provedeno na vzducholodích). Modulový výcvik CPL(A) má stanoveno také 10 hodin cvičení letů podle přístrojů, shodných s přístrojovou kvalifikací IR, které mohou být vykonány na letových trenažérech. V následující osnově však neexistuje žádná zmínka o GNSS, ale pouze o radionavigaci s použitím VOR, NDB nebo VDF. Žadatelé o CPL(H) musí mít v letovém výcviku zahrnutou radionavigaci, jejíž obsah není blíže specifikován. V modulovém kurzu CPL(As) absolvují žadatelé 10 hodin přístrojového výcviku, které mohou zahrnovat 5 hodin na trenažérech pro vzducholodě nebo v letounu. Pokud jsou držitelé přístrojové kvalifikace k jinému typu letadla, musí absolvovat 5 hodin letu podle přístrojů ve dvojitěm řízení vzducholodí.

V dokumentech Notice of Proposed Amendment 2014-29 (D)(1) a (D)(2) vydaných 17. prosince 2014 se nachází navrhovaná osnova se souvisejícím obsahem učiva pro teoretický výcvik obchodních pilotů, kde jsou velice podrobně rozepsány jednotlivé podkapitoly výuky o GNSS. Na obrázku 1 se nachází výstřižek z této osnovy.

Syllabus reference	Syllabus details and associated Learning Objectives	Aeroplane		Helicopter			IR
		ATPL	CPL	ATPL /IR	ATPL	CPL	
LO	State that basic RAIM requires five satellites. A sixth is for isolating a faulty satellite from the navigation solution.	x	x	x	x	x	x
LO	State that when a GPS receiver uses barometric altitude as an augmentation to RAIM, the number of satellites needed for the receiver to perform the RAIM function may be reduced by one.	x	x	x	x	x	x

Obrázek 1 - Ukázka navrhované osnovy pro CPL(A), CPL(H), ATPL(A), ATPL(H) a IR podle NPA 2014 - D(2) [3]

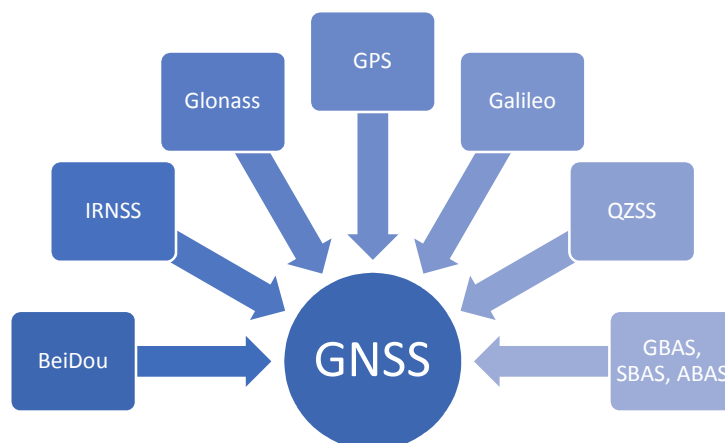
3 GNSS (Global navigation satellite system)

Následující kapitola obsahuje podklady pro teoretickou výuku GNSS, které byly sepsané s přihlédnutím k učebním cílům navržených v osnovách pro přístrojovou kvalifikaci a licence obchodního a dopravního pilota letounů a vrtulníků v dokumentu Notice of Proposed Amendment 2014-29 (D)(2). Nachází se zde rozepsání systémů zahrnutých v GNSS, poznatky o jednotlivých segmentech zajišťující provoz systémů, principu určení polohy a navigačních signálech, zprávách a službách poskytovaných systémy GPS, GLONASS a GALILEO, dále chyby a faktory ovlivňující přesnost a přehled augmentačních systémů GNSS.

3.1 Systémy zahrnuté v GNSS

Globální družicový polohový systém umožňuje určení pozice kdekoli na Zemi a zajišťuje jako jediný celosvětové pokrytí. První pokusy o využití satelitů v odvětví navigace se datují do 70. let minulého století, kdy se vývoj soustředil především na účely vojenského využití. O rozvoj globální družicové navigace se zasloužily armádní síly Spojených států amerických, které daly základ současnému družicovému navigačnímu systému NAVSTAR Global Position System (GPS), který je od 90. let 20. století využíván i pro civilní účely. Také další státy se zabývají vývojem autonomních globálních systémů, které by poskytovaly přesnější a rozsáhlejší služby civilním uživatelům a nebyly by závislé na systému spravovaném USA. Od roku 2011 je plně v provozu ruský globální satelitní systém GLONASS (rusky: ГЛОНАСС - Глобальная Навигационная Спутниковая Система, přepis do latinky: Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema). V současné době se pod záštitou Evropské unie pracuje na spuštění evropského družicového navigačního GALILEO, který by měl být plně funkční během let 2019-2020. Vývoj globálního autonomního systému probíhá například také v Číně (BeiDou neboli COMPASS), regionálních systémů QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) v Japonsku a IRNSS (The Indian Regional Navigational Satellite System) v Indii. Stávající systémy jsou doplněny o augmentační systémy (GBAS, SBAS, ABAS) poskytující zlepšení a zpřesnění jejich služeb. Jednotlivé systémy se neustále modernizují s očekáváním jejich rozsáhlého využití i v budoucnosti, kdy by měly být schopné zajistit samostatné navigační a lokalizační služby a také kompatibilitu s ostatními globálními družicovými navigačními systémy. Výhodou pro uživatele je poté získání signálu z libovolných družic různých systémů pomocí jediného GNSS přijímače, které by mohlo umožňovat určení pozice s přesností až na jednotky metrů, lepší dostupnost služeb

či schopnost informování o výpadku některé z družic během několika sekund. Pojem GNSS zahrnuje všechny globální, regionální i doplňkové systémy, jak je zřejmé z obrázku 2.



Obrázek 2 - Schéma GNSS

3.2 Provoz

Jednotlivé globální družicové polohové systémy se od sebe liší různými charakteristikami, např. pro GPS, GLONASS a GALILEO uvedenými v tabulce 2. Provoz satelitní navigace je však zajištěn na podobném základu, kdy se systém dělí do tří hlavních složek – řídicí, kosmický a uživatelský segment. Funkce jednotlivých segmentů bude popsána pro NAVSTAR GPS, který je v této oblasti nejstarším a zároveň nejpoužívanějším.

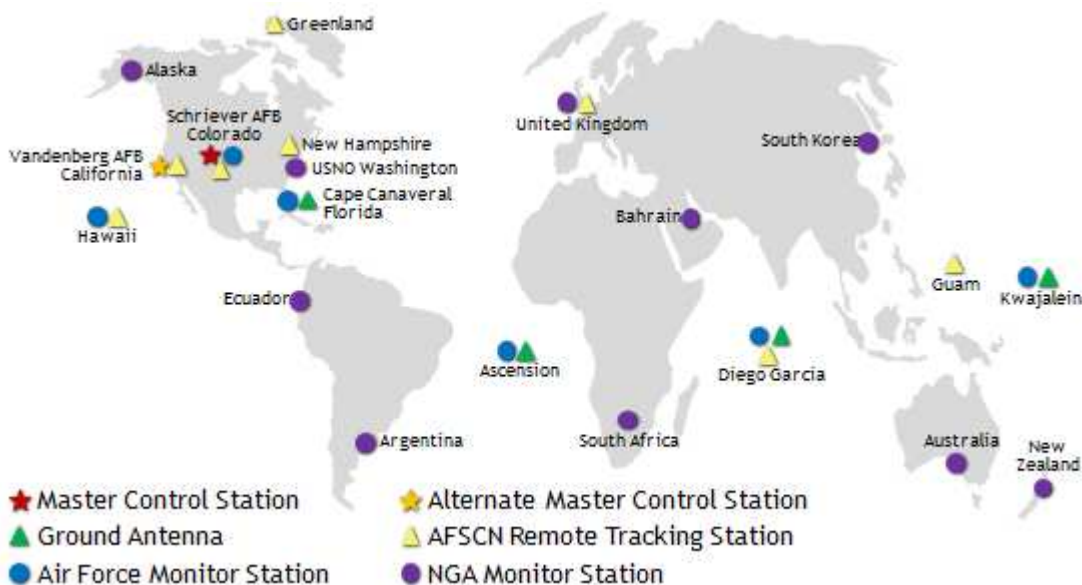
Tabulka 2 - Přehled základních charakteristik GPS, GLONASS, GALILEO [4] [5]

Charakteristika	GPS	GLONASS	GALILEO
Počet navržených družic + záložní	21+3	21+3	27+3
Počet oběžných drah	6	3	3
Počet družic na oběžné dráze	4	8	10
Inklinace orbity	55°	64,8°	56°
Výška oběžných drah	20 200 km (10 900 NM)	19 100 km (10 300 NM)	23 616 km (12 750 NM)
Oběžná doba družice	11, 97 hod	11,25 hod	14,66 hod

3.2.1 Řídicí segment

Řídicí segment NAVSTAR GPS je tvořen hlavním řídicím střediskem (Master Control Station), které se nachází v Schriever Air Force Base v Colorado Springs, záložním řídicím střediskem ve Vandenberg Air Force Base v Kalifornii, 16 monitorovacími stanicemi (Monitor Stations)

zahrnující 6 provozovaných Air Force a 10 provozovaných National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) a poslední složka segmentu obsahuje pozemní vysílače (Ground Antennas), 4 umístěné s monitorovacími stanicemi a kontrolní část napojená na 8 Air Force Satellite Control Network (AFSCN) stanic. Rozmístění jednotlivých částí segmentu je vyobrazeno na obrázku 3.



Obrázek 3 - Umístění řídicího segmentu GPS [6]

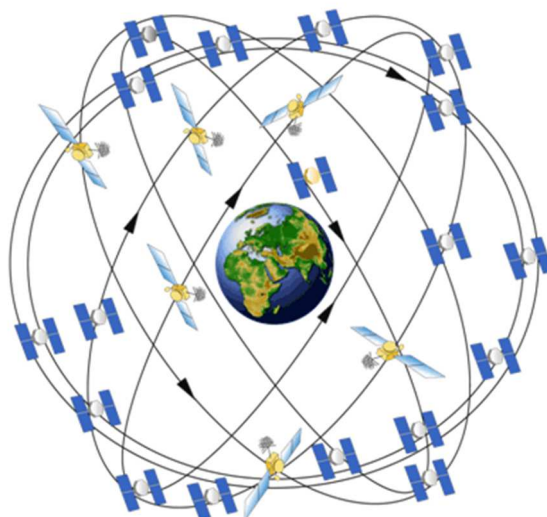
Hlavní řídicí středisko zajišťuje správu celého segmentu, přijímá naměřená data z monitorovacích stanic k vypočítání velmi přesné polohy družic ve vesmíru a stavu jejich atomových hodin a posílá aktualizovaná data přes pozemní vysílače zpět do satelitu. Monitorovací stanice přijímají navigační zprávy z družic, měří vzdálenosti k družicím a tyto údaje zasílají ke zpracování do řídicí stanice. Zde jsou velmi přesně propočítány korekce efemerid (údaje o poloze družic), synchronizovány palubní atomové hodiny a koeficient ionosférického modelu. Data jsou zformátována do navigační zprávy pro každý satelit a za využití pozemních vysílačů jsou přenášeny jednotlivým družicím. Řídicí středisko se stará také o údržbu satelitů, stahování starých a uvádění nových družic do operačního režimu.

3.2.2 Kosmický segment

Kosmický segment systému NAVSTAR GPS je navržen v konstelaci 24 družic, které obíhají v 6 oběžných drahách (minimálně 4 satelity na dráhu), zobrazených na obrázku 4, ve výšce 20 200 km (10 900 NM) nad zemským povrchem střední rychlostí 3,87 km/s a Zemi běhnou za 11 hodin 58 minut, tedy dvakrát za den. Orby svírají s rovinou zemského rovníku úhel 55°. Tato konstelace zajišťuje pro určení polohy kdykoliv dostupnost minimálně 4 družic v jakémkoliv místě na Zemi. V současné době je systém provozován s 31 operačními satelity, které byly postupně vynášeny na orbity, jak je znázorněno v tabulce 3.

Tabulka 3 - Generace operujících satelitů GPS [6]

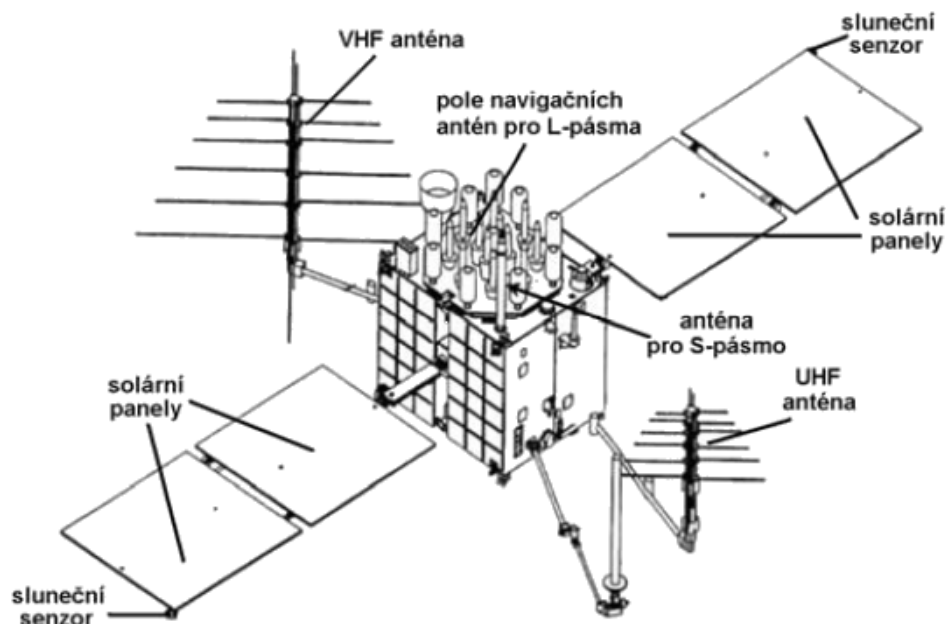
Generace	BLOCK IIA	BLOCK IIR	BLOCK IIR(M)	BLOCK IIF	GPS III
Současný počet operujících satelitů	3	12	7	9	ve výrobě
Vypuštění na orbitu	1990-1997	1997-2004	2005-2009	do roku 2010	začátek v roce 2016
Plánovaná životnost	7,5 let	7,5 let	7,5 let	12 let	15 let
Funkce	<ul style="list-style-type: none"> • hrubé získávání C/A kódu na frekvenci L1 pro civilní uživatele 	<ul style="list-style-type: none"> • C/A kód na L1 	<ul style="list-style-type: none"> • 2. civilní signál na L2 (L2C) 	<ul style="list-style-type: none"> • 3. civilní signál na frekvenci L5 (L5) 	<ul style="list-style-type: none"> • 4. civilní signál na L1 (L1C)
	<ul style="list-style-type: none"> • přesný P(Y) kód na frekvenci L1 a L2 pro vojenské uživatele 	<ul style="list-style-type: none"> • P(Y) na L1 a L2 	<ul style="list-style-type: none"> • nový vojenský M kód pro vyšší odolnost proti rušení 	<ul style="list-style-type: none"> • zdokonalené atomové hodiny 	<ul style="list-style-type: none"> • zvýšení spolehlivosti signálu, přesnosti a integrity
			<ul style="list-style-type: none"> • monitorování hodin satelitu 	<ul style="list-style-type: none"> • flexibilní výkonové úrovně pro vojenské signály 	<ul style="list-style-type: none"> • zlepšení přesnosti, kvality a síly signálu



Obrázek 4 - Oběžné dráhy družic GPS [7]

Zdroj napájení pro satelity je obstarán solárními panely, které se pomocí senzorů natáčejí směrem ke Slunci. Družice jsou vybaveny anténami pro komunikaci se stanicemi řídicího segmentu a dalšími družicemi, polem antén pro vysílání navigačních signálů v pásmu L, ovládacími mikroprocesory, ochranou proti radiačnímu záření a 3-4

atomovými hodinami s vysokou přesností. Družice, jejíž stavbu lze vidět na obrázku 5, rotuje kolem své osy a zajišťuje tím směřování navigačních signálů k Zemi.



Obrázek 5 - Části družice GPS, blok IIR [8]

3.2.3 Uživatelský segment

Uživatelský segment družicové navigace představují samotné přijímače navigačního signálu. Správná funkce přijímače je podmíněna stabilní časovou základnou, bez které by mohlo docházet k nežádoucí chybě v určení polohy. Měřicí přijímače v přístroji jsou zodpovědné za měření pseudovzdálenosti (vysvětleno při principu určení polohy) od viditelných družic, pomocí navigačního počítače jsou data od jednotlivých satelitů zpracována a definovaným algoritmem určena poloha, případně čas a rychlost.

V dnešní době se v letectví setkáme s GPS přijímači v podobě integrovaného LCD displeje, který často nabízí pilotovi komplexní přístrojové vybavení. Kromě přijímání navigačního signálu slouží k zobrazení zásadních informací pro let jako rychlosti a výšky letu, hodin, kurzu, dále stavu okolních podmínek, motorových veličin, prostředků CNS (Komunikace, navigace & sledování, Communication, Navigation & Surveillance), poskytuje celkový letový management, kontrolní letový systém, výstražný systém a další funkce, které se využívají především při létání IFR. Nejčastěji se v leteckých školách využívají k výcviku letouny vybaveny zařízením Garmin, jehož typ G1000 je na obrázku 6. Je možné se setkat také s přístroji Avidyne Entegra, Honeywell Bendix King nebo ve větších letounech Thales, Rockwell Collins a dalšími.



Obrázek 6 - Garmin G1000 Glass Cockpit [9]

3.3 Princip určení polohy

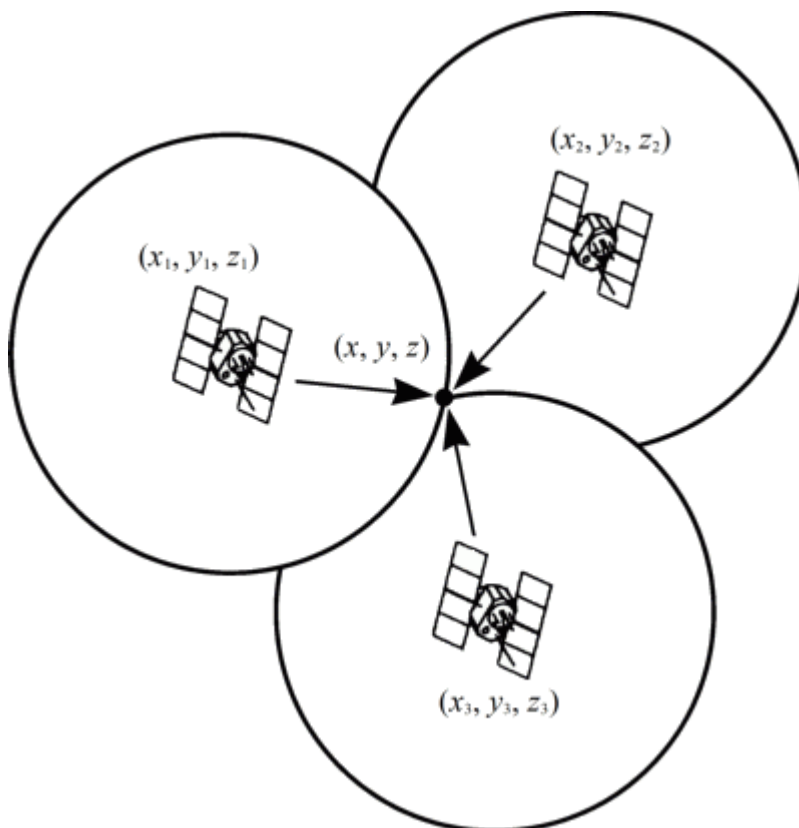
Základ určení polohy pomocí družicových navigačních systémů tvoří dálkoměrná metoda. Vychází z měření času přijímačem uživatelského zařízení, který potřebuje signál na překonání vzdálenosti od družice se známou pozicí do zařízení. Výpočet vzdálenosti satelitu se provede na základě zpoždění signálu na trase od satelitu k uživateli:

$$r_i = c \cdot \Delta t_i; \quad (3.1)$$

kde r_i představuje vzdálenost i -tého satelitu od přijímače, Δt_i změřené časové zpoždění navigačního signálu na trase a c rychlost šíření elektromagnetické vlny.

Pokud známe kartézské souřadnice družic (x_i, y_i, z_i) , zjistíme vzdálenost uživatele od jednotlivých družic r_i , poloha uživatele v daných kartézských souřadnicích (x, y, z) lze určit jako průsečík tří kulových ploch zobrazených na obrázku 7 (je potřeba vzdálenosti od tří satelitů):

$$r_i = c \cdot \Delta t_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} . \quad (3.2)$$



Obrázek 7 - Měření pseudovzdálenosti [10]

Pro určení pseudovzdálenosti se počítá se synchronizací hodin satelitů a hodin v přijímači uživatele, zavádí se odchylka Δt_u , která znázorňuje časový rozdíl hodin družice a uživatelského přístroje, a vznikne soustava rovnic o čtyřech neznámých, obecně tedy:

$$\rho_i = c \cdot \Delta t_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} + c \cdot \Delta t_u . \quad (3.3)$$

Pro řešení soustavy rovnic (3.3) se nejčastěji využívá metoda založená na Kalmanově filtru, která srovnává naměřená data s předpokládanými hodnotami určenými z předchozích měření a je schopna použít signál z více než 4 družici či dalších senzorů.

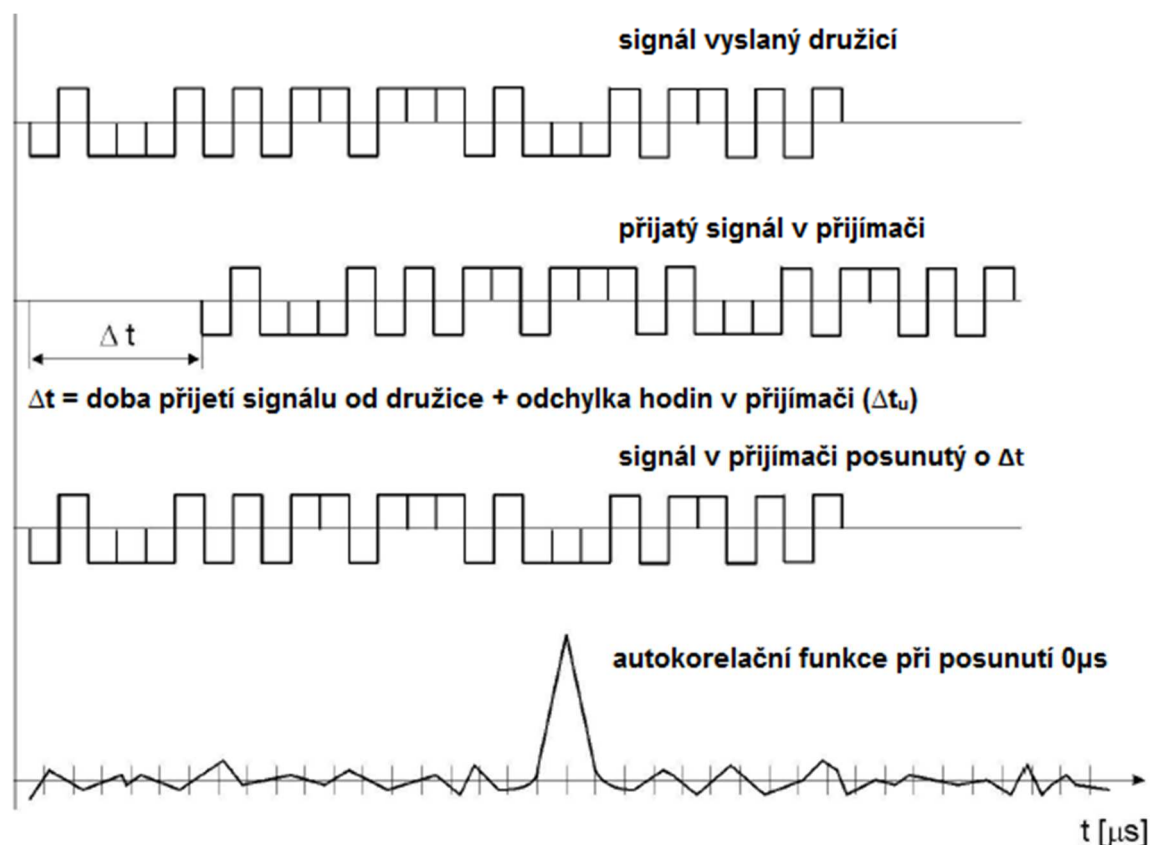
Pro určení polohy pomocí družicové navigace se využívá referenční elipsoid WGS84 (World Geodetic System 1984), který definuje souřadnicový systém pro určení zeměpisné délky, šířky a výšky.

3.3.1 GPS

Navigační signál GPS je přenášen na nosných frekvencích řady L s různými kódy navigačních signálů:

- L1 = 1 575,42 MHz: C/A kód, P(Y) kód, L1C
- L2 = 1227,60 MHz: L2C, P(Y) kód, M kód
- L5 = 1176,45 MHz: L5

C/A kód (Coarse/Acquisition Code) se skládá z 1023 bitů pseudonáhodné sekvence (Pseudo random noise) (PRN) s taktovací frekvencí 1023 Mb/s, která se opakuje každou milisekundu. Každému GPS satelitu je přiřazen rozdílný PRN, který je znázorněn na obrázku 8, z množiny takzvaných Goldových posloupností, které se vyznačují ostrým autokorelačním maximem a velmi nízkou vzájemnou korelací mezi C/A kódy různých družic a minimalizují tak pravděpodobnost záměn kódu.



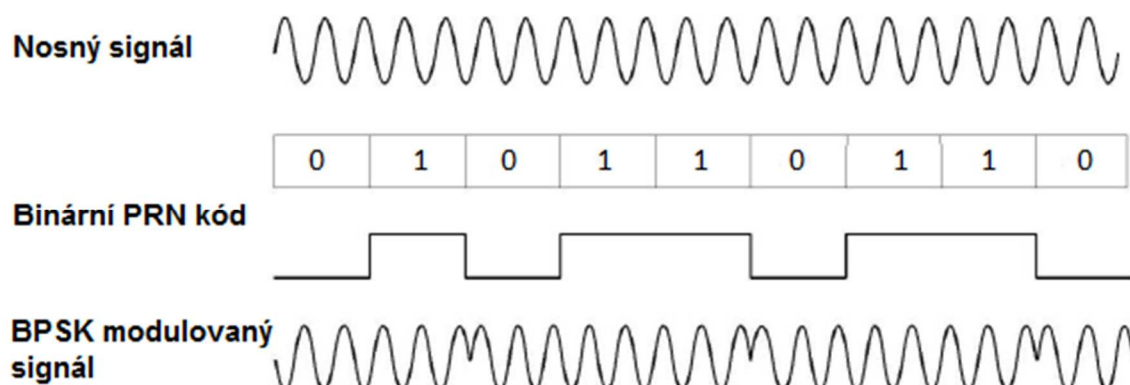
Obrázek 8 - PRN kód, autokorelační funkce [4], (upraveno autorem)

Z P kódu (Precision Code) s periodou $23 \cdot 10^6$ s (267 dní) se využívá sedmidenní část s bitovou frekvencí 10,23 Mb/s, která se restartuje vždy mezi sobotou a nedělí o půlnoci GPS času. P kód se šifruje Y kódem a v přijímacích zařízeních oprávněných uživatelů dochází k opětovnému dešifrování, proto nese kód označení P(Y).

M kód je vytvořen speciálně pro vojenské účely, nahrazuje dříve vojenským zařízením používaný P(Y) kód a vyznačuje se lepší výkonností a flexibilitou.

Kódy pro civilní použití L1C, L2C a L5 se skládají ze dvou hlavních komponentů, pilotního signálu a datového kanálu. Slouží především ke zlepšení služeb GPS civilním uživatelům, například signál L5 je určen pro civilní služby SoL (Safety of Life), kde je potřeba zaručení rychlé identifikace a vyvarování se chybě systému, tedy i pro oblast letecké dopravy, zajišťuje vyšší výkon, širší pásmo a nízkou míru rušení.

Kódy umožňují přesné měření pseudovzdálenosti, oddělení signálů jednotlivých družic a zvyšují odolnost proti rušení. Datová modulace na nosnou frekvenci se provádí metodou BPSK (Binary-Phase Shift Keying), naznačená na obrázku 9, nebo BOC (Binary Offset Carrier). Pro oddělení dálkoměrných signálů jednotlivých družic se využívá kódový multiplex (CDMA), což umožňuje všem družicím vysílat na stejné nosné frekvenci.



Obrázek 9 - BPSK modulace [4], (upraveno autorem)

Navigační zpráva obsahuje tyto nezbytné informace pro uživatele k výkonu polohových služeb:

- korekce hodin satelitu
- efemeridy
- almanach (s daty o všech družicích GPS konstelace)
- informace o zdraví družice
- ionosférický model (pro výpočet zpoždění při průchodu signálu ionosférou)
- koeficient pro výpočet UTC

Standardní navigační zpráva vysílána v C/A a obou signálech P(Y) kódu rychlostí 50 bit/s je dlouhá 1 500 bitů, obsahuje 5 rámců, přičemž přenos jednoho rámce trvá 30 s, celá zpráva je tedy odvysílána za 12,5 minuty. Navigační zprávy CNAV (Civilian Navigation) modulovány

na signál L2C a L5I (datový kanál signálu L5C) jsou formátovány do 300 bitových pseudopaketů a umožňují během několika sekund vyřadit porouchanou družici z výpočtu, což zvyšuje integritu systému.

GPS poskytuje navigační služby ve formě Standard Positioning Service (SPS) pro civilní uživatele, který zajišťuje ve většině případů použití přesnost do 7,8 metrů, a Precise Positioning Service (PPS) pro autorizované uživatele (Ministerstvo obrany a vojenské síly USA) s dosažením mnohem vyšší přesnosti.

3.3.2 GLONASS

Ruský systém GLONASS využívá na rozdíl od systémů GPS a GALILEO k přenosu dat jednotlivým uživatelům frekvenční dělení (FDMA). Při přenosu každého signálu z družice na jiné nosné frekvenci přináší problémy s interferencemi mezi kanály, a proto se vyžaduje širší vysílací pásmo pro daný kanál. Kvůli omezení počtu kanálů používají protilehlé satelity na stejné orbitě stejný kanál. Při FDMA nedochází ke korelačnímu rušení a všechny družice mohou mít shodný dálkoměrný kód. Systém GLONASS využívá tyto frekvenční pásma:

- $L1 = 1598,0625 - 1605,375$ MHz; každý satelit vysílá na vlastní frekvenci $L1(k) = 1602 \text{ MHz} + 0,5625 \cdot k$; kde k znázorňuje číslo frekvenčního kanálu; $k \in \{-7,6\}$ pro k celé číslo
- $L2 = 1242,9375 - 1248,625$ MHz; $L2(k) = 1246 \text{ MHz} + 0,4375 \cdot k$
- $L3 = 1197,648 - 1212,255$ MHz; $L3(k) = 1201,5 \text{ MHz} + 0,42195 \cdot k$
- $L5 = 1176,45$ MHz; využití CDMA, pro kompatibilitu s ostatními GNSS systémy
- $L1 = 1575,42$ MHz; využití CDMA, pro kompatibilitu s ostatními GNSS systémy

GLONASS zajišťuje službu pro civilní uživatele ve formě SP signálu se standardní přesností (standard accuracy signal service), která je obdobná jako kód C/A u GPS. Družice vysílají pseudonáhodnou posloupnost o délce 511 bitů s bitovou rychlostí 511 kb/s, která se opakuje každou milisekundu a je synchronní s daty navigační zprávy. Pro autorizované uživatele je určena služba HP s vysokou přesností (high accuracy signal service), analogický kód P(Y). Pseudonáhodná posloupnost je vysílána rychlostí 5,11 Mb/s a sekvence se opakuje každou sekundu. Signály SP a HP jsou vysílány na nosných frekvencích L1 a L2 a nové generace družic pro dosažení lepších vlastností systému plánují jejich vysílání i prostřednictvím pásma L3. Signály v pásmu L5 (signál typu SoL) a L1 (civilní signál L1CR) jsou založeny na přístupu CDMA pro vzájemnou součinnost s ostatními systémy GNSS.

Podrobná struktura navigační zprávy je znázorněná na obrázku 10. Navigační zpráva signálu se standardní přesností, jejíž přenos trvá 2,5 minuty, se skládá z části zvané „immediate“, která se vztahuje k družici předávající navigační signál a obsahuje:

- parametry efemerid
- posun hodin družice vzhledem k systémovému času GLONASS
- relativní rozdíl mezi nosným kmitočtem družice a její nominální hodnotou a almanach
- údaj o zdraví satelitu (healthy flag) – slouží ke zjištění integrity systému

Druhá část navigační zprávy se nazývá „non-immediate“ a vztahuje se k ostatním družicím v konstelaci a je v ní obsažen almanach pro 24 družic s těmito údaji:

- stav všech satelitů v rámci kosmického segmentu
- hrubé opravy palubních hodin satelitů vzhledem k času GLONASS
- orbitální parametry všech družic
- korekce času GLONASS vzhledem k UTC

Frame Number	String Number	2s			
		1.7 s			0.3s
I	1	0	Inmediate data	Kx	MB
	2	0	for	Kx	MB
	3	0	transmitting	Kx	MB
	4	0	satellite	Kx	MB
	5	0	Non inmediate data	0	MB
	:	:	(almanac) for	:	MB
	15	0	five satellites	Kx	MB
II	1	0	Inmediate data	Kx	MB
	2	0	for	Kx	MB
	3	0	transmitting	Kx	MB
	4	0	satellite	Kx	MB
	5	0	Non inmediate data	0	MB
	:	:	(almanac) for	:	MB
	15	0	five satellites	Kx	MB
III	1	0	Inmediate data	Kx	MB
	2	0	for	Kx	MB
	3	0	transmitting	Kx	MB
	4	0	satellite	Kx	MB
	5	0	Non inmediate data	0	MB
	:	:	(almanac) for	:	MB
	15	0	five satellites	Kx	MB
IV	1	0	Inmediate data	Kx	MB
	2	0	for	Kx	MB
	3	0	transmitting	Kx	MB
	4	0	satellite	Kx	MB
	5	0	Non inmediate data	0	MB
	:	:	(almanac) for	:	MB
	15	0	five satellites	Kx	MB
V	1	0	Inmediate data	Kx	MB
	2	0	for	Kx	MB
	3	0	transmitting	Kx	MB
	4	0	satellite	Kx	MB
	5	0	Non inmediate data	0	MB
	:	:	(almanac) for four sat	:	
	14	0	Reserved Data	Kx	MB
	15	0	Reserved Data	Kx	MB

30s
30s x 5 = 2.5 min

Obrázek 10 - Struktura navigační zprávy GLONASS (signál se standardní přesností) [7]

3.3.3 GALILEO

Se svými 30 operačními družicemi vybavenými dvěma typy atomových hodin (hlavní vodíkové s chybou odhadovanou na 0,45 ns za 12 hodin a záložní rubidiové hodiny) a dalšími technologiemi plánuje evropský systém GALILEO pro své uživatele zajištění širokého spektra služeb a vysokou přesnost v určení uživatelské polohy. Systém bude operovat na těchto nosných frekvencích:

- E1 – centrována na frekvenci 1575,42 MHz (s šířkou pásma 40,92 MHz)
- E6 – centrována na frekvenci 1278,75 MHz (s šířkou pásma 40,92 MHz)

- E5a – centrovaná na frekvenci 1176,45 MHz (s šířkou pásma 24 MHz)
- E5b – centrovaná na frekvenci 1207,14 MHz (s šířkou pásma 24 MHz)

V rámci signálů vysílaných na těchto pásmech by měl systém GALILEO zajišťovat následujících 5 druhů služeb:

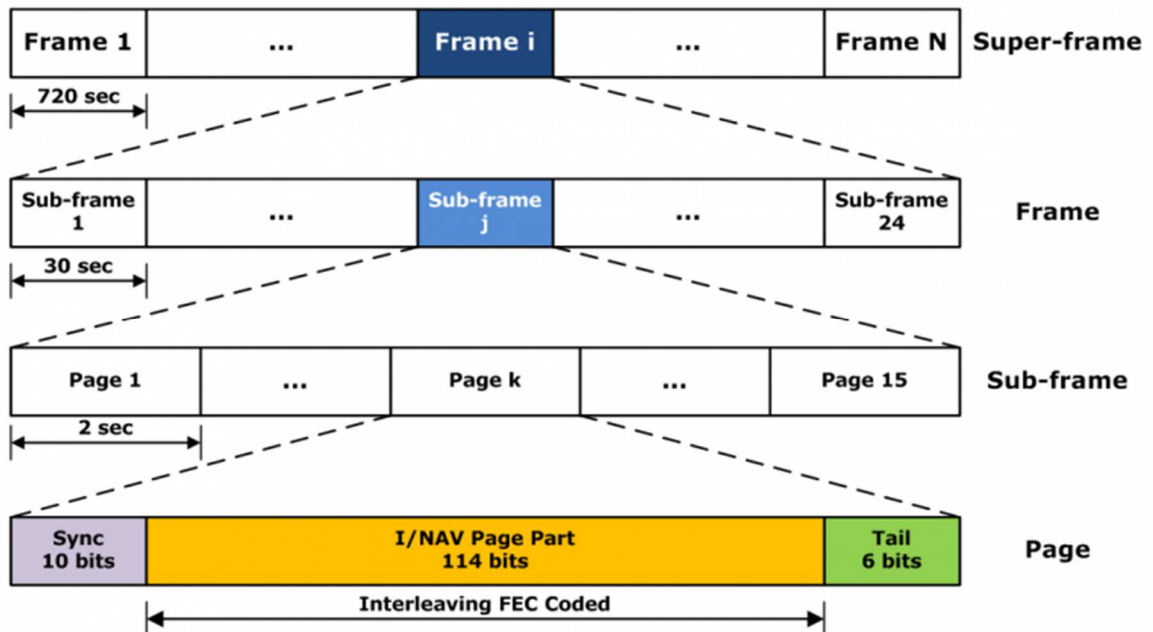
- Základní služba OS (Open Service) – poskytuje zdarma základní signál, doba služby SPS systému GPS.
- Komerční služba CS (Commercial Service) – využívá k základnímu signálu ještě další dva chráněné komerčním kódováním, poskytuje kromě navigačních signálů také předávání různých zpráv, předpokládané využití v dopravě, zprávy o dopravní situaci či počasí. Služba je zpoplatněna provozními poplatky.
- Veřejně regulovaná služba PRS (Public Regulated Service) – doba služby PPS systému GPS, využívají pouze autorizovaní uživatelé.
- Služba se zajištěnou bezpečností SoL (Safety of Life) – se vyznačuje rychlým varovným systémem v případě poruchy číste navigačního systému, své uplatnění by měla nalézt při řízení letového provozu a v budoucnu by se měla stát hlavním nástrojem pro automatické přistávání letadel.
- Tísňová služba SAR (Search and Rescue) – zajišťuje nouzovou lokalizaci v rámci celosvětové záchranné služby COSPAS-SARSAT a oboustrannou komunikaci s objektem nacházejícím se v bezpečnostní tísni. Pro službu je vyhrazen speciální kanál v pásmu E6.

Vzhledem k poskytovaným službám přenáší systém GALILEO také rozdílné navigační zprávy poskytující dané služby, konkrétně F/NAV (Volně přístupná navigační zpráva, Freely Accesible Navigation Message), I/NAV (Integritní navigační zpráva, Integrity Navigation Message), C/NAV (Komerční navigační zpráva, Commercial Navigation Message) a G/NAV (Vládní navigační zpráva, Governmental Navigation Message), jejichž základní charakteristiky jsou shrnuty v tabulce 4.

Tabulka 4 - Navigační zprávy GALILEO [7]

Druh zprávy	F/NAV	I/NAV	C/NAV	G/NAV
Poskytovaná služba	OS	OS/CS/SoL	CS	PRS
Vysílací kanál	E5a-I	E1B E5b-I	E6B	E1A E6A
Rychlost přenosu dat [b/s]	25	125	500	50
Navigace/Určování polohy	X	X X		X
Kontrola integrity		X X		X
Doplňkové služby			X	
Veřejná regulace				X
Tísňová služba		X		

Pro navigační zprávy systému GALILEO je charakteristický přenos zpráv na třech různých úrovních významnosti, čímž je dosaženo včasného a periodického získání informace v navigačním přijímači. Pro data s nejvyšší prioritou (data o integritě) je zajištěn velmi rychlý a častý přenos dat, informace o efemeridách, korekcí hodin satelitu a dalších typických údajů navigačních zpráv jsou přenášeny na střední úrovni a nejméně čtenou informací jsou data o ostatních družicích (almanach). Ukázka struktury zprávy I/NAV se nachází na obrázku 11.



Obrázek 11 - Struktura navigační zprávy I/NAV [7]

3.4 Chyby a faktory ovlivňující přesnost

Při určování polohy pomocí družicového polohového systému musíme brát v úvahu dva faktory:

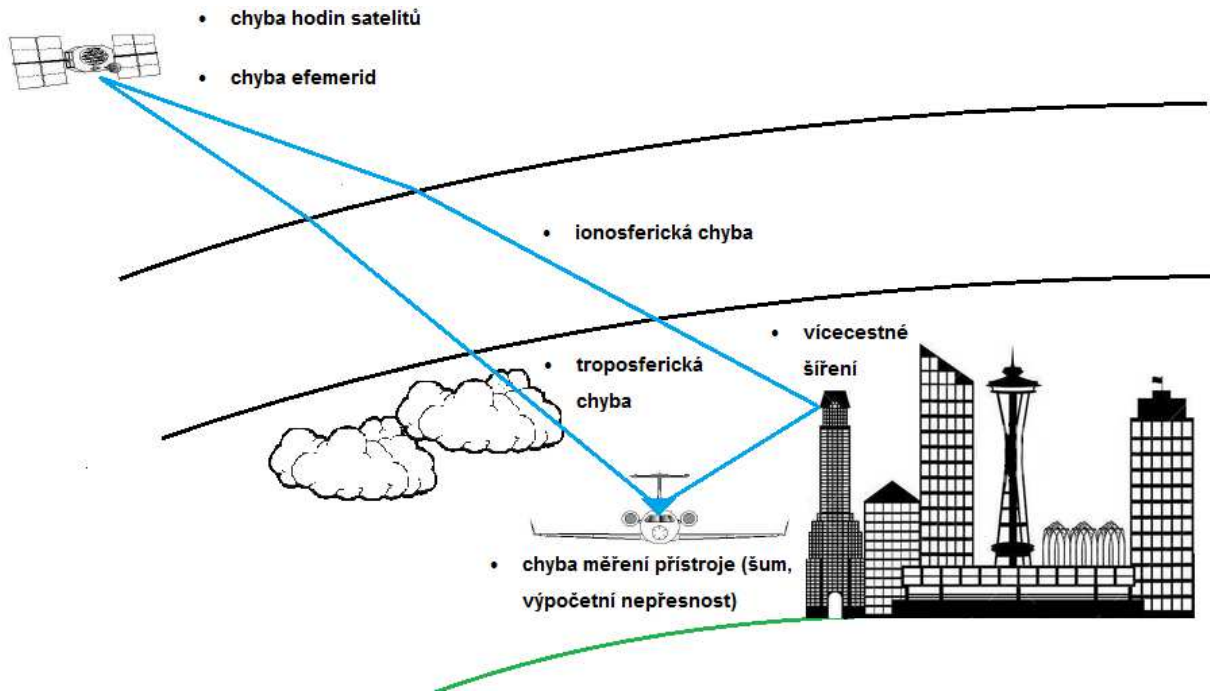
- UERE (User Equivalent Range Error) – ekvivalentní chybu vzdálenosti vyjadřovanou pomocí směrodatné odchylky měření vzdálenosti σ_r

- DOP (Dilution Of Precision) – zhoršení činitele přesnosti vystihující rozložení družic, které jsou využívány k měření.

Celková efektivní hodnota chyby E_{rms} je rovna součinu:

$$E_{rms} = \sigma_r \cdot DOP. \quad (3.4)$$

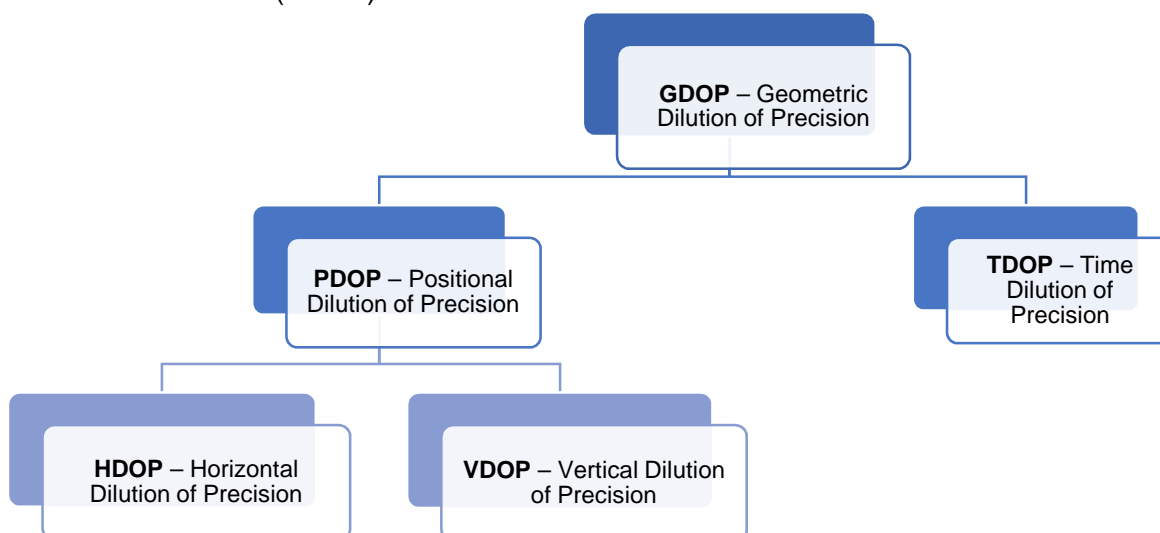
V případě dálkoměrné metody stanovení pseudovzdálenosti je ekvivalentní chyba vzdálenosti EURE způsobena složkami vyjmenovanými na obrázku 12.



Obrázek 12 - Chyby ovlivňující měření pseudovzdálenosti

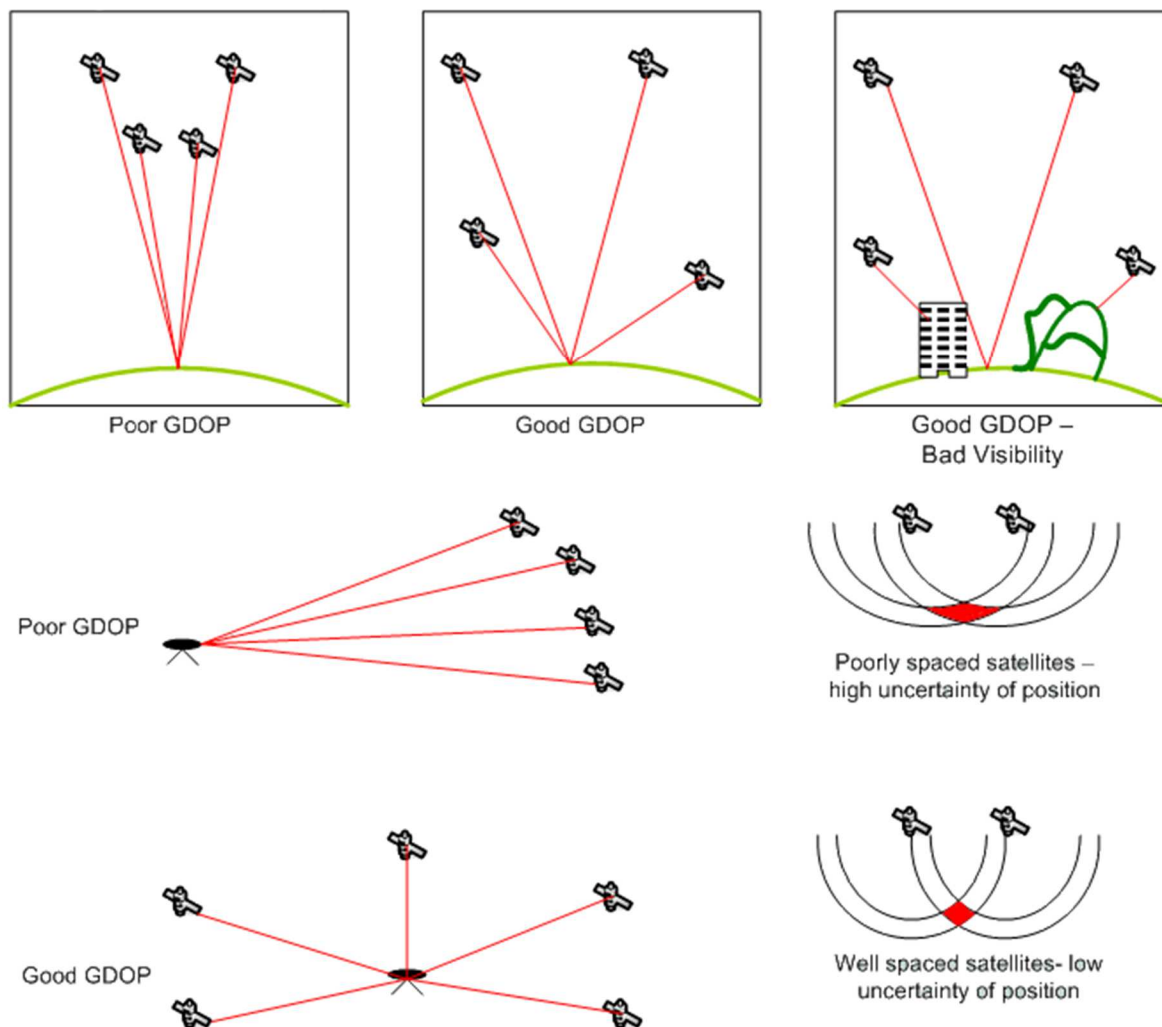
Nejvýznamnější podíl tvoří chyba způsobená refrakcí při průchodu ionosférou, která se dá téměř odstranit příjmem signálu na rozdílných frekvencích. Pro uživatele využívající SPS služby dochází k částečné korekci chyby pomocí ionosférického modelu vysílaného v navigační zprávě. Chyba orbitů satelitů může být způsobena slunečním větrem, gravitací Slunce, Měsíce a jiných planet. Při vícecestném šíření, dochází k odrazu signálu poblíž přijímacího zařízení, čímž signál dorazí do přijímače více cestami.

Přesnost stanovení polohy závisí na konstelaci družic charakterizované parametrem DOP (tzv. činitelé přesnosti) které jsou momentálně využívány k měření. Z obrázku 13 vyplývá, že geometrický činitel přesnosti GDOP, v sobě zahrnuje chybu času (charakterizovanou činitelem přesnosti TDOP) a polohovou chybu satelitů (PDOP), která se dělí na horizontální (HDOP) a vertikální složku (VDOP).



Obrázek 13 - Činitelé přesnosti, zdroj dat [11]

Při rovnoměrném rozmístění družic, ze kterých jsou získávána data, jsou vykazovány nejnižší hodnoty činitele DOP (ideální konstelace se vyznačuje hodnotou 1). Pokud dojde ke sblížení družic, dojde ke zvyšování hodnot a roste chyba měření, jak lze vidět na obrázku 14. Dá se předpokládat, že hodnoty činitele DOP budou vyšší v oblastech, kde se vyskytují výškové budovy či v horském údolí, kde může docházet k zastínění horizontu.



Obrázek 14 - Znáznornění GDOP [12], (upraveno autorem)

Dosažení malých hodnot chyb při měření pseudovzdálenosti a využití co největšího počtu satelitů, které jsou od sebe dostatečně vzdáleny, zajišťuje dosažení vysoké přesnosti určení polohy.

3.5 Augmentační systémy

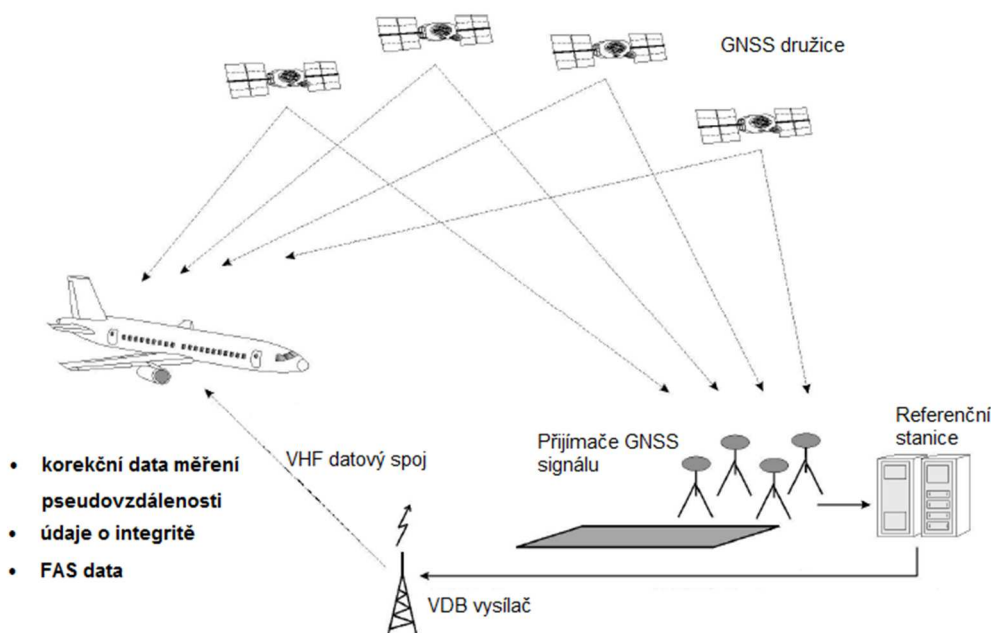
Augmentace družicových systémů je označení pro podpůrné systémy vylepšující určování polohy, poskytnutím vyšší přesnosti, integrity či dostupnosti družicové navigace. Tyto systémy tvoří neodmyslitelnou část GNSS a umožňují široké možnosti využití v oblastech, kde jsou vyžadovány větší nároky na přesné stanovení pozice. Základ augmentačních systémů tvoří aplikace diferenční metody a kontrola integrity systému. Augmentační systémy můžeme rozdělit podle zdroje zisku korekcí:

- GBAS – Ground-Based Augmentation Systems (Pozemní augmentační systém)
- SBAS – Satellite-Based Augmentation Systems (Družicový augmentační systém)

- ABAS – Airborn-Based Augmentation Systems (Palubní augmentační systém)

3.5.1 GBAS – Ground-Based Augmentation Systems

System pozemního augmentačního systému se sestavuje z referenční stanice, jejíž přesná poloha je známá a obsahuje přesný GNSS přijímač a komunikační zařízení. Stanice změří pseudovzdálenosti ke všem dostupným družicím, určí odchylky změřené polohy od své referenční polohy při použití dané družice. Vypočte korekce a společně se zprávou o integritě systému a daty pro přiblížení (FAS – Final Approach Segment) vyšle údaje prostřednictvím VHF (Very High Frequency) datového spoje (VDB – VHF Data Broadcast) s nosným kmitočtem v pásmu 108-118MHz (shodné s VOR a ILS) do letadla (přijímače uživatele), které využije přijaté informace k opravě svých měřených pseudovzdáleností. Uživatel může díky přijatým korekcím dosáhnout vyšší přesnosti ve stanovení vlastní polohy, ale také provádět přesné přístrojové přiblížení až kategorie CATIII. Pro správnou funkci systému je nutné zajistit, aby koncové zařízení i referenční stanice přijímaly signál od totožných družic procházející prostředím se shodnými jevy, které způsobují chybu měření pseudovzdálenosti. Pozemní stanice mají dosah přibližně 20 NM a umísťují se v blízkosti přistávací a vzletové dráhy, kde je vyžadována přesnost provozu. Celý princip systému je znázorněn na obrázku 15.

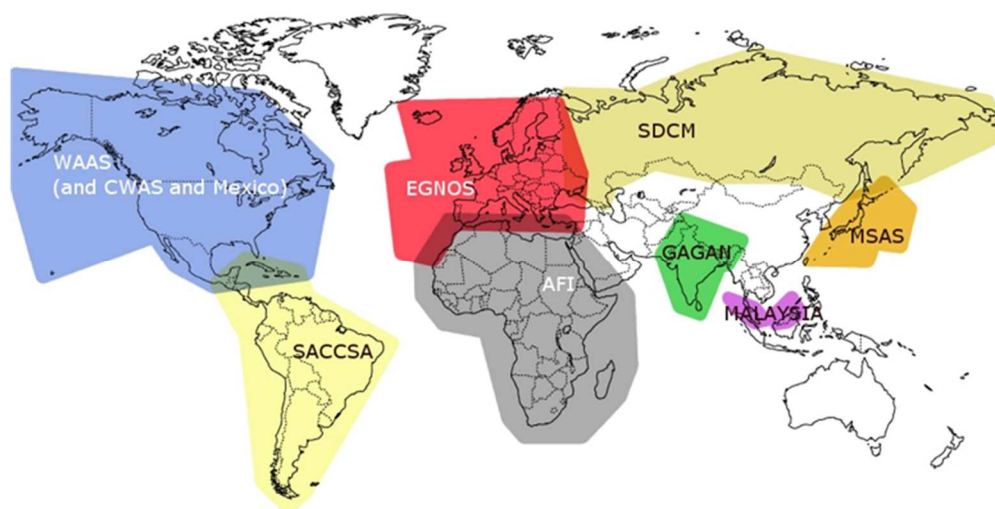


Obrázek 15 - Schéma GBAS [4], (upraveno autorem)

Systémy GBAS založené na korekci družicového signálu GPS se označují jako LAAS (Local Area Augmentation System). V rámci pokrytého území je zajištěna kontrola integrity. Vysoká přesnost určení polohy systému se využívá nejen v okolí letišť, ale železnic, přístavů, i zastavěných území podle požadavků uživatele.

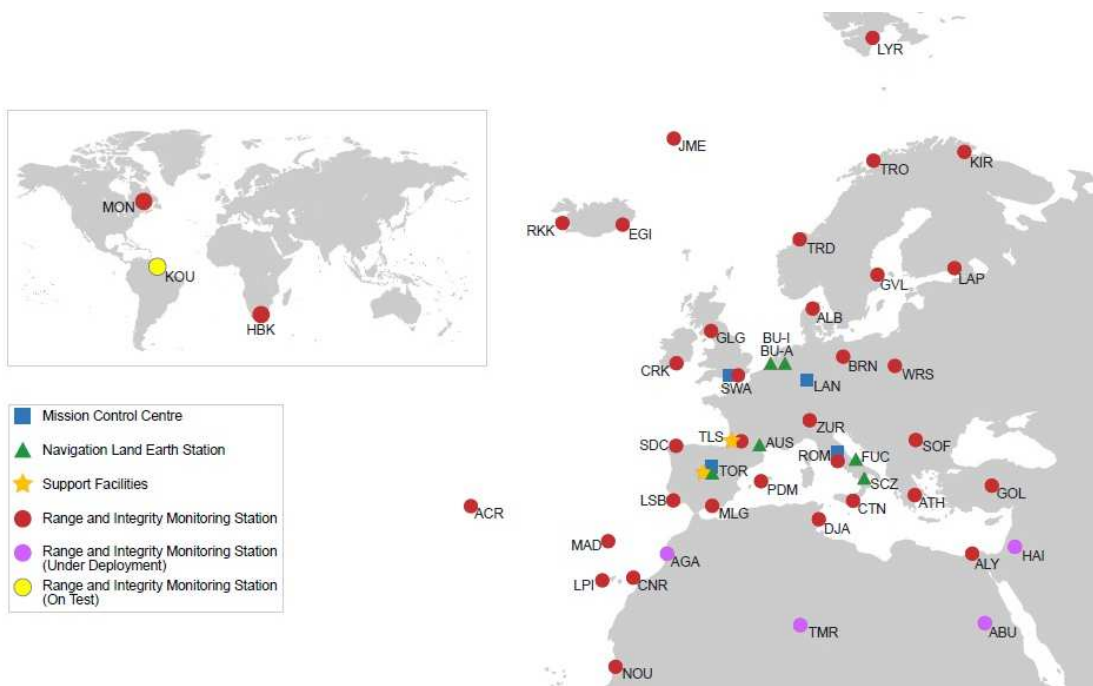
3.5.2 SBAS – Satellite-Based Augmentation Systems

Pro pokrytí rozsáhlých oblastí se využívá satelitní augmentační systém, který poskytuje rozšiřující data pomocí geostacionárních satelitů. Systém je schopný zajistit zprávy o integritě, zvyšovat dostupnost a kontinuitu systému a vysílat korekční data pro kompenzaci hodin satelitu, opravující údaje efemerid a ionosférické korekce pro všechny fáze letu. Na základě těchto informací je možné dosáhnout přesnosti ve stanovení horizontální pozice 1-2 m a vertikální 2-4 m a provést 3D přiblížení. Ve světě nalezneme několik systémů SBAS pokrývajících odlišná území zobrazené na obrázku 16. Současně jsou v provozu kromě evropského systému EGNOS systémy americký WAAS (Wide Area Augmentation System), japonský MSAS (MTSAT Satellite-Based Augmentation System) a indický GAGAN (GPS&GEO Augmented Navigation), jejichž provoz funguje na podobném principu vyloženém pro systém EGNOS.



Obrázek 16 - Systém SBAS ve světě [7]

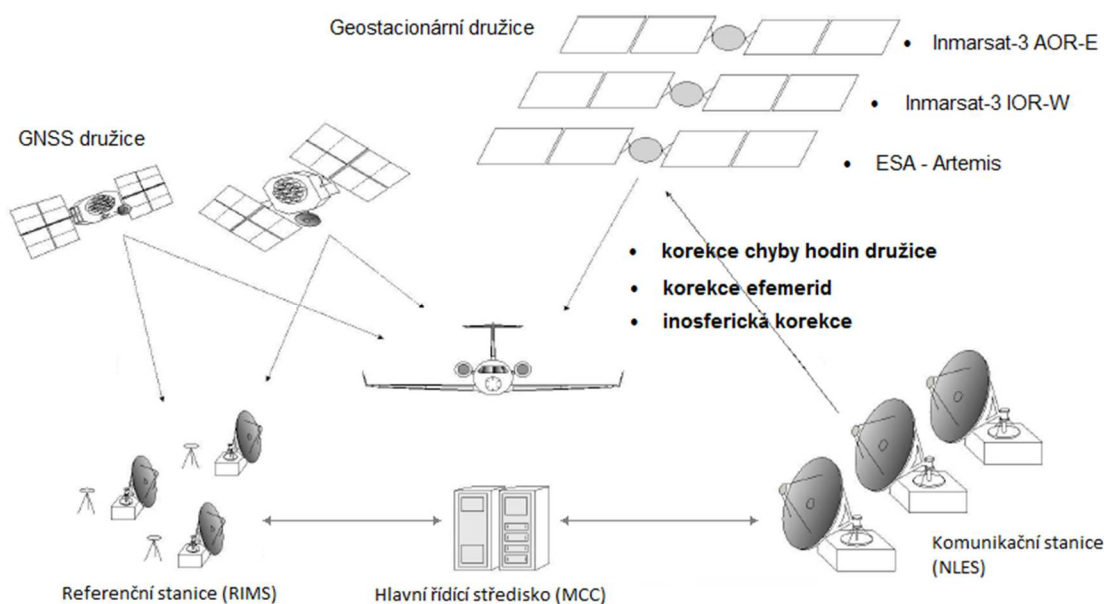
EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) je společným projektem ESA (European Space Agency), Evropské komise a EUROCONTROLU a představuje SBAS pokrývající oblast Evropy. Pro evropské území je vytvořena síť z 34 referenčních stanic RIMS (Range and Integrity Monitoring Stations), které přijímají signály navigačních družic a porovnávají je se svou známou polohou. Na základě naměřených parametrů jsou stanoveny korekce pro danou oblast, které se předávají do jednoho ze 4 hlavních řídicích center MCC (Master Control Centres), z nichž vždy jedno pracuje jako hlavní a zbytek tvoří záložní centra. Zde dochází k určení korekcí hodin a efemerid pro všechny satelity v dohledu a ionosférického modelu pro celou oblast a tyto korekční data jsou pomocí šesti (pro každý satelit 1 záložní) komunikačních stanic NLES (Navigation Land Earth Stations) vysílána geostacionárním satelitům, ze kterých zajišťují přenos upravených dat do přijímače uživatele pro přesnější určení polohy. Rozložení stanic je znázorněno na obrázku 17.



Obrázek 17 - Rozložení stanic EGNOS [7]

Schéma principu systému je znázorněno na obrázku 18. Krytí obstarávají 3 geostacionární družice:

- Inmarsat -3 AOR-E (Atlantic Ocean Region East) umístěna $15,5^\circ$ W
- Inmarsat-3 IOR-W (Indian Ocean Region West) umístěna $25,0^\circ$ E
- ESA-Artemis umístěna $21,5^\circ$ E



Obrázek 18 - Schéma SBAS [4], (upraveno autorem)

Systém EGNOS poskytuje uživatelům několik druhů doplňkových služeb. Základní služba OS (Open Service) nabízí standardní korekční signál vysílaný společně s navigační

zprávou na signálu L1. Pro navigaci v letecké dopravě se využívá služba SoL, která je doplněna informacemi o integritě a certifikována Mezinárodní organizací pro civilní letectví ICAO. Při odhalení anomálie v GNSS či v EGNOS je uživatel varován v krátkém časovém horizontu (méně než 6 sekund). Služba EDAS (EGNOS Data ACCESS Server) poskytuje kromě údajů z geostacionárních družic i přímých z referenčních stanic RIMS, svá data vysílá v reálném čase prostřednictvím internetu a je určená pro mobilní aplikace i pro systémy navigace v silniční i železniční dopravě. Důležité informace uživatelům SoL zprostředkovává EGNOS v podobě odhadu zbytkových chyb, které lze očekávat na straně uživatele po použití korekčních dat systému. Zbytkové chyby charakterizovány parametry:

- UDRE (User Differential Range Error) – odhad zbytkové chyby po aplikaci korekce hodin a efemerid pro dané družice
- GIVE (Grid Ionospheric Vertical Error) – odhad vertikální zbytkové chyby po ionosférických opravách pro určitý zeměpisný bod.

3.5.3 ABAS – Airborne-Based Augmentation Systems

Na rozdíl od předchozích rozšiřovacích systémů palubní augmentační systém negeneruje korekční data ke zvýšení přesnosti určení polohy uživatele. Jeho hlavním úkolem je zajištění integrity systému, tedy včasného varování, pokud dojde k závadě na některé družici či v řídicím segmentu systému a použití chybné složky by mohlo vést k nebezpečným zavádějícím informacím. Data o integritě systému jsou standardně posílány v rámci navigační zprávy, pro některé aplikace ovšem tento způsob není časově dostačující.

Autonomní monitorování integrity přijímače RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring) sestavuje kombinace 4 družic v dosahu, pro která na základě měření pseudovzdálenosti určí svou polohu, a pokud všechny pracují bez závady, jednotlivé určené polohy se téměř shodují. Pokud některá z družic podává chybné informace, již stanovená poloha se bude významně odchylovat. Ke zjištění, že některý ze satelitů poskytuje nesprávné informace je tedy zapotřebí minimálně 5 viditelných družic (tzv. Fault Detection – FD). Pro stanovení, jaký ze satelitů pracuje chybně za účelem jeho vyřazení z navigačního výpočtu (tedy FDE – Fault Detection a Exclusion), musí být k dispozici minimálně 6 družic.

Autonomní monitorování integrity v letadle AAIM (Aircraft Autonomous Integrity Monitoring) využívá k detekování nesprávné funkce GNSS kromě metody RAIM i další palubní zdroje jako barometrický výškoměr, informace z pozemních navigačních systémů (VOR, DME, ILS) nebo inerciální navigaci. Při doplnění RAIM přídatnou informací z palubních systémů může být potřebné množství družic, které uživatel potřebuje k FD či FDE, sníženo o 1.

4 RNP APCH

Díky využití GNSS došlo v letectví ke zvýšení možností PBN (Navigace založená na výkonnosti, Performance-Based Navigation). Do budoucna se dá očekávat zavedení těchto postupů do všech fází letu ve velkém rozsahu zejména pro piloty s přístrojovou kvalifikací IR. S rozšířením a dalším vývojem by mohly být určité postupy žádoucí i pro některé kategorie držitelů průkazu způsobilosti VFR z hlediska zvýšení bezpečnosti. Postup RNP APCH by mohl najít uplatnění při VFR postupu CBP (Cloud Break Procedure), kdy se nečekaně zhorší podmínky pro let za viditelnosti VMC, začnou se tvořit mraky pod letounem a pilot by měl okamžitě přistát. Pokud oblačnost nad letištěm roste rychleji, než pilot stačí provést vizuální přiblížení, je pro bezpečné přiblížení nevyhnutelné použití přístrojového vybavení letounu. RNP APCH by bylo schopné zajistit směrové vedení, případně vertikální vedení letounu, dokud by se pilot opět nedostal do vizuálního kontaktu se zemí. V jiných případech, například špatného osvětlení dráhy při letu VFR v noci, může být postup RNP APCH využit jako podpora pro nasměrování na přiblížení na přistávací a vzletovou dráhu a dodržení minimální nadmořské výšky nad překážkami.

4.1 PBN, RNAV, RNP

Navigace založená na výkonnosti PBN určuje požadavky na výkonnost systému RNAV (Prostorová navigace, Area navigation or Random Navigation), které jsou potřebné pro operace související s konceptem jednotného vzdušného prostoru. Výkonnost je vyjádřena celkovou chybou systému TSE (Total System Error), znázorněnou na obrázku 19, která musí být menší než požadovaná nejméně po 95% doby letu v daném prostoru, trati či postupu, a je dána přesností, integritou, kontinuitou a dostupností:

- Přesnost (Accuracy) – je definována jako statistické vyjádření systémové navigační chyby NSE (Navigation System Error), která udává stupeň shody mezi předpokládanou, měřenou nebo požadovanou polohou v určitém čase a skutečnou polohou za bezchybných podmínek.
- Integrita (Integrity) – vyjadřuje schopnost včasného varování, pokud dojde k závadě v systému a použití chybné složky by mohlo vést k nebezpečným zavádějícím informacím.
- Kontinuita (Continuity) – je schopnost celého systému provádět svou funkci bez neplánovaných přerušení během zamýšleného provozu.

- Dostupnost (Availability) – je definována jako časový úsek, během kterého bude systém použit k navigaci a během něhož budou prezentovány spolehlivé navigační informace, (to znamená čas, kdy systém vyhovuje zároveň požadavkům na přesnost a integritu).



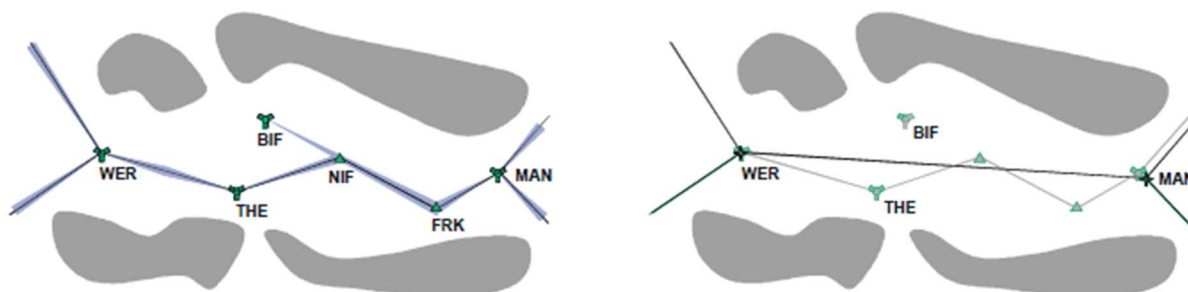
Obrázek 19 - Znázornění celkové chyby systému TSE zahrnující NSE (Navigation system error, Navigační chyba systému), PDE (Path definition error, Chyba definice dráhy) a FTE Flight technical error (Letově-technická chyba) [13], (upraveno autorem)

PBN koncept zahrnuje kromě navigační specifikace s požadavky na vybavení letounu poskytující RNAV a RNP (Požadovaná navigační výkonnost, Required Navigation Performance) určité výkonnosti také na NAVAID (Navigation Aid) infrastrukturu, představující pozemní a družicové navigační systémy, a navigační aplikaci pro návrh tratí ATS (zahrnující SID/STAR) a postupy přístrojového přiblížení.

Systémy RNAV a RNP představují navigační metodu, která umožňuje provoz letadla po libovolné letové trati, s využitím následujících navigačních zařízení a jejich možných kombinací:

- VOR/DME
- DME/DME
- IRS
- GNSS

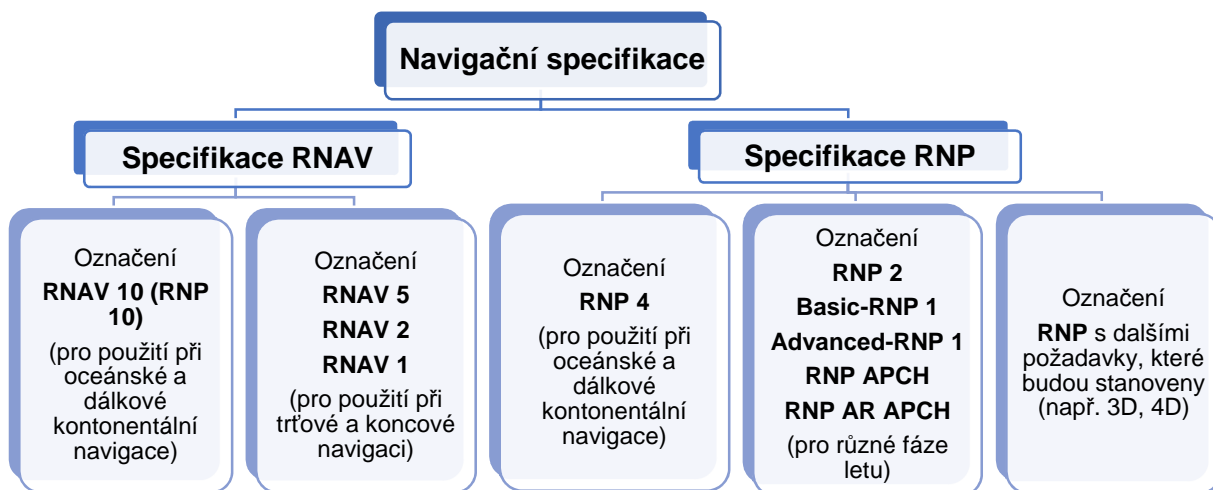
Výhodou RNAV a RNP je odstranění omezení konvenčních tratí a postupů, kdy letadlo musí přelétnout referenční bod a umožňuje tak větší flexibilitu a efektivitu, jak je znázorněno na obrázku 20.



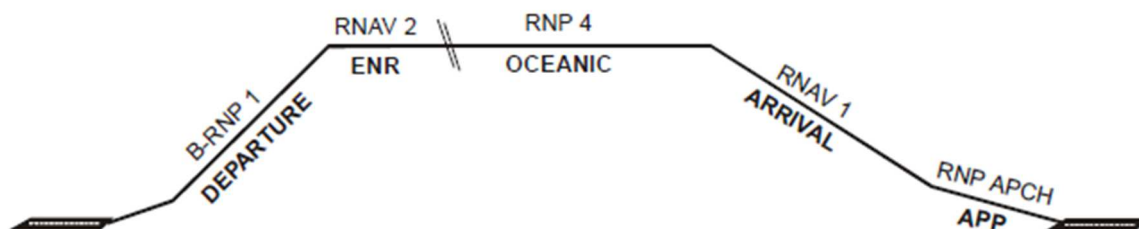
Obrázek 20 - Rozdíl mezi konvenční a prostorovou navigací [14]

RNAV a RNP systémy jsou navrženy, aby poskytovaly danou úroveň přesnosti s definicí opakovatelné a předvídatelné cesty s využitím specifikované zeměpisné polohy tzv. traťových bodů WP (Waypoint). Systémy obvykle integrují data radionavigace, inerciální a družicové navigace s vnitřní databází a daty zadanými posádkou a zajišťují navigaci, správu letového plánu, směrové a (v některých případech) vertikální vedení, kontrolu a prezentaci dat letové posádce.

Systém RNP je založen na prostorové navigaci, kde jsou oproti RNAV kladeny požadavky na palubní monitorování navigační výkonnosti a výstražný systém. Na displeji se indikuje informace o požadované a předpokládané výkonnosti navigačního systému a v případě, kdy požadované podmínky nejsou splněny, dochází k varování posádky. Typy RNAV a RNP se definují podle směrové navigační přesnosti v NM, jejíž dosažení je očekáváno v minimálně v 95% doby letu, např. u RNP 1 celková systémová chyba TSE nesmí překročit hodnoty ± 1 NM. Jednotlivé specifikace jsou uvedeny na obrázku 21 a na následujícím obrázku 22 příklad jejich aplikace.



Obrázek 21 - Navigační specifikace pro RNAV a RNP, zdroj dat [14]

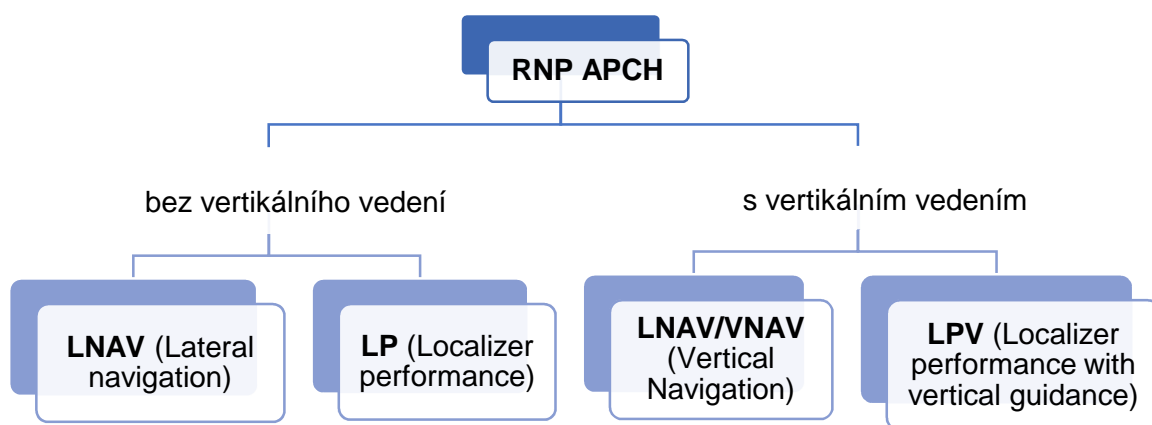


Obrázek 22 - Příklad aplikace RNAV a RNP specifikací [14]

PBN snižuje potřebu na zachování některých pozemních radionavigačních zařízení na trase (např. NDB), čímž se značně snižují náklady na údržbu těchto zařízení a prostorová navigace se stává dostupnější. S dalším zvyšováním výkonnosti GNSS se očekává pokračování vývoje RNAV a RNP systémů a jejich využití v různých typech letadel. Tento způsob navigace umožňuje efektivnější využití vzdušného prostoru (výběr trasy, nižší spotřeba paliva, snížení hluku) díky možnosti volby libovolné trati i mimo ATS, kratší letové cesty WP-WP, vyčkávání v libovolné zeměpisné pozici a celkově snižuje zatížení řízeného vzdušného prostoru, čímž stoupá jeho kapacita.

4.2 RNP APCH

Postupy RNP APCH jsou charakterizovány jako přibližovací postupy RNAV (GNSS) s přímým segmentem konečného přiblížení. RNP přiblížení tedy využívá jako zdroj polohové informace globální navigační družicový systém. RNP APCH může být prováděno s nebo bez vertikálního vedení. Jednotlivé druhy se nachází na obrázku 23. Základní požadavky kladené na přesnost v 95% doby letu jsou uvedeny v tabulce 5, charakteristiky jednotlivých druhů přiblížení jsou uvedeny v tabulce 6. V příloze A se nachází ukázka přibližovací mapy pro jednotlivé druhy RNP přiblížení na letišti Praha/Vodochody LKVO.



Obrázek 23 - Druhy RNP APCH, zdroj dat [15]

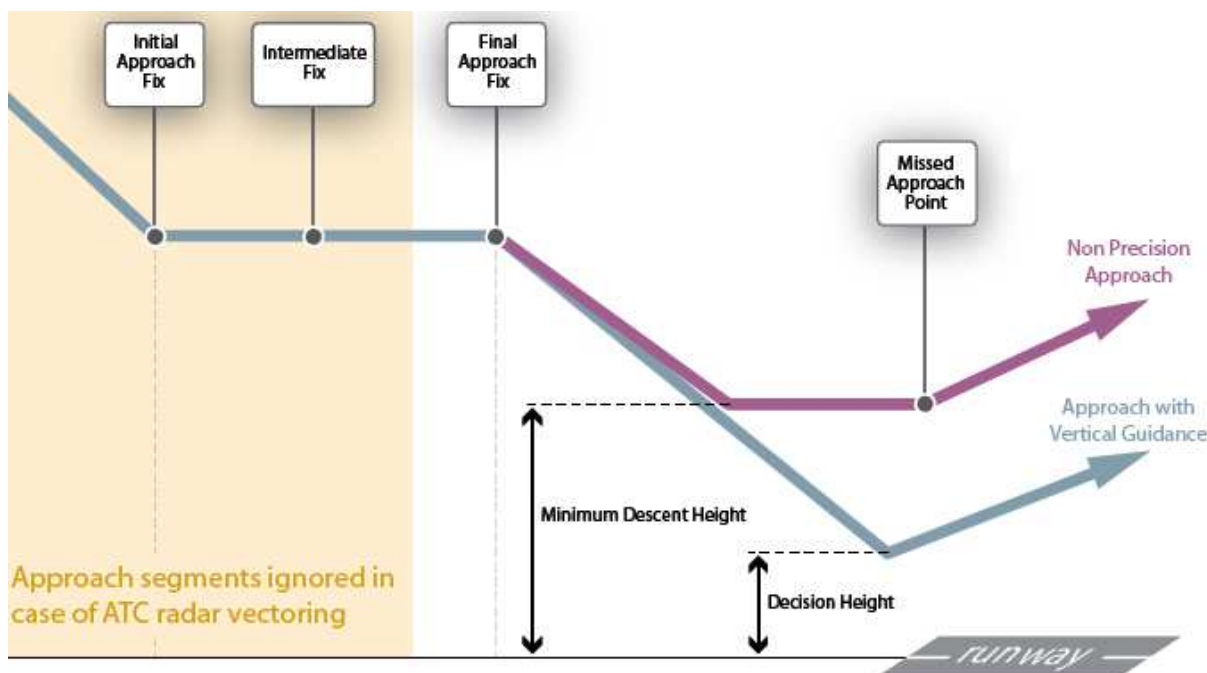
Tabulka 5 - Základní požadavky na přesnost v jednotlivých úsecích přiblížení [14]

RNP APCH	Úsek přiblížení			
	Počáteční	Středního	Konečného	Nezdařeného
	±1 NM	±1 NM	±0.3 NM	±1 NM

Tabulka 6 - Charakteristiky druhů RNP APCH [13]

Druh RNP APCH	Typ přiblížení	Požadované vybavení	MDA(H)/DA(H)
LNAV	NPA (nepřesné přístrojové přiblížení)	basic GNSS	MDA(H)
LP	NPA (nepřesné přístrojové přiblížení)	SBAS	MDA(H)
LNAV/VNAV	APV - přístrojové přiblížení s vertikálním vedením (3D přiblížení podle přístrojů)	basic GNSS/ /baro-VNAV	DA(H)
LPV	APV - přístrojové přiblížení s vertikálním vedením (3D přiblížení podle přístrojů)	SBAS	DA(H)

Stejně jako u postupů konvenčních nepřesných přístrojových přiblíženích i NPA založená na GNSS se definuje Minimální nadmořská výška pro klesání (MDA) (Minimum Descent Altitude) nebo minimální výška pro klesání (MDH) (Minimum Descent Height), pod kterou se nesmí klesat bez vizuální reference, oproti přístrojovému přiblížení s vertikálním vedením, které umožňuje použití Nadmořské výšky rozhodnutí (DA) (Decision Altitude) nebo výšky rozhodnutí (DH) (Decision Height), od které musí být zahájen postup nezdařeného přiblížení v případě nedosažení požadované vizuální reference, tedy potenciálně roste přístupnost letiště, jak znázorňuje obrázek 24.



Obrázek 24 - Rozdíl mezi MDH a DH [16]

4.2.1 LNAV a LP

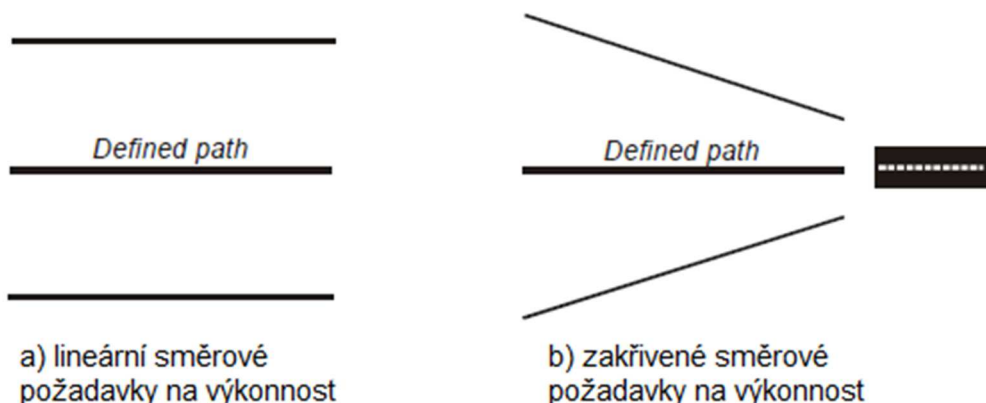
Postup nepřesného přístrojového přiblížení LNAV zajišťuje pouze směrové vedení na základě přijímače základní GNSS. Plán přiblížení vychází z navigační databáze a poskytuje zobrazení potřebných navigačních parametrů k bezpečnému provedení postupu. Vertikální vedení není požadováno. Pokud jsou splněny CDFA kritéria (EU OPS), musí být vedení prováděno na základě CDFA techniky (vysvětleno níže). Přijímač základní GNSS musí vyhovovat RTCA DO 208, SC-181 a JAA TGL 3 (a rovnocenným standardům IFR, jako například TSO-C129) a musí pro splnění hlavních požadavků standardů zajišťovat následující schopnosti:

- integritu monitorovaných předepsaných postupů, např. RAIM
- předstih zahájení zatáčky

- schopnost obnovení zobrazení postupu přiblížení z pouze čitelné formy elektronické navigační databáze

Použití tradiční techniky postupného klesání při nepřesných přístrojových přiblížení je náchylné k chybám, a proto se nedoporučuje. Při přiblížení bez vertikálního vedení LNAV a (LP) se předpokládá využití techniky CDFA (Konečné přiblížení stálým klesáním, Continuous Descent Final Approach). CDFA vyžaduje stálé klesání, při kterém je vedení VNAV buď vypočítáno palubním vybavením (považováno za 3D přiblížení podle přístrojů) nebo je založeno na manuálním výpočtu požadované rychlosti klesání (považováno za 2D přiblížení podle přístrojů). [L8186]

V případě, že na letišti není možné splnit požadavky na přiblížení s vertikálním vedením kvůli překážkám a terénu v konečném úseku přiblížení, nedostatkům v infrastruktuře letiště nebo SBAS není schopen poskytnout žádanou dostupnost vertikálního vedení (umístění na okraji obsluhované oblasti SBAS), může být provedeno LP přiblížením se směrovým vedením pomocí SBAS. Směrové vedení je zakřivené, a jak letadlo pokračuje po trati koncového přiblížení, zvyšuje se jeho citlivost, (jako u ILS Localizer).



Obrázek 25 - Rozdíl mezi lineárními a zakřivenými směrovými požadavky na výkonnost [14], (upraveno autorem)

4.2.2 Přístrojové přiblížení s vertikálním vedením (APV), (3D přiblížení podle přístrojů)

Přístrojové přiblížení s vertikálním vedením (APV) zahrnuje dva odlišné postupy přiblížení.

Při 3D přiblížení podle přístrojů LNAV/VNAV je směrové vedení zajišťováno pomocí GNSS a vertikální vedení certifikovaným barometrickým výškoměrem (někdy je přiblížení označováno jako APV/Baro VNAV). Obvykle je směrové vedení v konečném úseku přiblížení lineární, ale některé systémy mohou poskytovat vedení zakřivené.

Nejpřesnějšího přístrojového přiblížení s vertikálním vedením, kterého se dá dosáhnout s využitím podpůrného systému SBAS, je LPV (Localizer performance with vertical guidance). V případě LPV je směrové i vertikální vedení přiblížení zajišťováno pomocí globálního družicového systému (např. GPS, Glonass nebo jejich kombinací) s podpůrným systémem SBAS a přiblížení se podobá přístrojovému přiblížení ILS CAT I. Přijímač SBAS musí vyhovovat standardu RTCA DO 229D a dosahovat v konečném úseku přiblížení směrové přesnosti 1,5 m a vertikální 2 m 95% času. Nezbytná úroveň integrity pro přiblížení založeném na SBAS je prokázána horizontální HAL a vertikální mezí výstrahy VAL. Výstražné meze HAL = 40 m a VAL = 50 m tvoří oblast maximální chyby, které musí být vyhověno pro splnění požadavků integrity LPV přiblížení.

5 Návrh výcviku s hodinovou dotací

Pro uchazeče o průkaz způsobilosti pilota podle pravidel letů za viditelnosti by měla být vždy primární navigace srovnávací. Ve výcviku jsou ovšem zahrnuty i základy přístrojové navigace, které mohou být pilotovi nápomocné v různých situacích, a proto by měl tyto základy letů podle přístrojů znát a mít možnost je vyzkoušet i v praktickém výcviku. Téměř všichni žáci leteckých škol se již s družicovou navigací setkali v běžném životě, proto je nesmyslné po budoucích pilotech požadovat, aby se jí vyhnuli při provádění letu. Důležitá bude snaha docílit vhodně navrženého výcviku vedoucí k zabránění tragických nehod způsobených přeceněním schopností nezkušených pilotů, kteří se příliš spoléhali na přístroje, na něž nemají potřebnou kvalifikaci, avšak úplné odstranění je bohužel nedosažitelné.

V teoretickém výcviku by se měli budoucí piloti dozvědět základní poznatky o funkci a možnostech využití družicové navigace při letu VFR. Stěžejní část výcviku by měla zaměřit zejména na praktické znalosti a práci s GNSS zařízením v letadle. Podrobnější výuku v této oblasti podstoupí zájemci o přístrojovou kvalifikaci (IR), kde se problematice věnuje ve větším časovém rozsahu a do větších podrobností. V práci bude navržena možná varianta teoretické osnovy výcviku pro kategorie průkazů způsobilosti zmíněných v kapitole 2. Z návrhu budou vyřazeny licence PPL(As) a CPL(As), vzhledem k absenci výcvikové organizace ATO pro tyto průkazy na území České republiky, a pro průkaz způsobilosti obchodního pilota CPL, pro něž byla podrobně navržena osnova v dokumentu NPA 2014-29 (D) (2). Návrh je rozdělen na základě podoby či shody podle stanovených osnov podle dokumentu Rozhodnutí č. 2011/016/R (Přijatelné způsoby průkazu a poradenský materiál k Části-FCL).

5.1 Využití GNSS při letu VFR

Pro piloty VFR je vždy primární navigace srovnávací a neměli by se spoléhat pouze na přístrojovou navigaci, na kterou nemají dostatečnou kvalifikaci. Pokud pilot bude při letu používat GNSS přijímač, měl by ho využívat vždy pouze jako záložní systém. Před použitím přístrojového vybavení by se měl pilot přesvědčit, zda má zařízení platnou databázi a zajišťuje kontrolu integrity systému (RAIM). V případě, že jsou oba body splněny, tedy databáze je aktuální a kontrola integrity zajištěna, může pilot zařízení používat jako záložní navigaci při letu. Přístrojový přijímač GNSS pilotovi může po nastavení trati letu nabídnout například:

- kontrolu polohy v porovnání s tištěným mapovým podkladem
- znovunalezení polohy při ztrátě orientace

- lepší orientaci při zhoršení viditelnosti
- nalezení nejbližšího letiště
- zjištění časových údajů (doba letu, čas do přistání, čas do průletu bodu na trati)
- a další.

Možnosti poskytnutých funkcí se liší v závislosti na konkrétním typu GNSS přijímače. Pilot by se však nikdy neměl pouštět do manévru, které by se bez přístrojové podpory provést neodvážil. Pokud bude držitel průkazu způsobilosti pilota VFR dodržovat tyto podmínky, družicová navigace mu může usnadnit let (např. při výpočtech časových údajů, snížení pravděpodobnosti vlétnutí do zakázaného či jiného nežádoucího prostoru) a zvýšit jeho bezpečnost. V případě dostupnosti zařízení může pilot využít GNSS i ve fázi plánování letu, v tomto případě by měl zase všechny získané informace převést do papírové mapy pro plánovaný let.

5.2 Návrh pro LAPL(A), LAPL(H), PPL(A), PPL(H)

Pro návrh osnovy průkazů způsobilosti pilota lehkých letadel a soukromého pilota letounů a vrtulníků byla zvolena společná osnova, tak jak je také navrženo v Rozhodnutí č. 2011/016/R. Tabulka 7 s návrhem teorie zahrnuje přehled družicových navigačních systémů, základní poznatky důležité k porozumění provozu, principu a chybách systému, podstatě jednotlivých augmentačních systémů a možné využití GNSS při letu.

Tabulka 7 - Návrh osnovy pro LAPL(A), LAPL(H), PPL(A) a PPL(H)

Teoretická osnova GNSS pro licence				LAPL (A)	LAPL (H)	PPL (A)	PPL (H)	
GNSS	Systémy zahrnuté v GNSS			X	X	X	X	
	Provoz	Řídící segment	Složky	X	X	X	X	
			Princip	X	X	X	X	
			Funkce	X	X	X	X	
		Kosmický segment	Základní charakteristiky - GPS, GLONASS, GALILEO	X	X	X	X	
		Uživatelský segment	Funkce přijímače	X	X	X	X	
	Princip určení polohy	Dálkoměrná metoda		X	X	X	X	
		Měření pseudovzdálenosti		X	X	X	X	
		Počet potřebných satelitů		X	X	X	X	
		Referenční elipsoid WGS84		X	X	X	X	
		GPS	Nosné frekvence v pásmu L		X	X	X	X
			Kódy navigačních signálů C/A a P(Y)		X	X	X	X
			Navigační zpráva		X	X	X	X
		Poskytované služby (SPS, PPS)		X	X	X	X	
		GLONASS	Rozdíly oproti GPS (FDMA, SP, HP, struktura navigační zprávy)		X	X	X	X
		GALILEO	Rozdíly oproti GPS (Navigační služby, struktura navigační zprávy)		X	X	X	X
	Chyby a faktory ovlivňující přesnost	UERE - ekvivalentní chybu vzdálenosti	Chyba hodin satelitu, chyba efemerid, ionosférická chyba, troposférická chyba, chyba měření přístroje	X	X	X	X	
		DOP - zhoršení činitele přesnosti	Vliv rozmístění a počtu družic	X	X	X	X	
	Augmentační systémy	GBAS	Základní princip	X	X	X	X	
		SBAS	Systémy SBAS ve světě		X	X	X	X
			Základní princip		X	X	X	X
			Poskytované korekce		X	X	X	X
			EGNOS - poskytované služby		X	X	X	X
		ABAS	RAIM		X	X	X	X
	AAIM		X	X	X	X		
	Využití	Traťový let	Kontrola RAIM a aktuálnosti databáze	X	X	X	X	
			Nastavení trati (Direct to)	X	X	X	X	
Možnosti využití jako záložní navigace za letu			X	X	X	X		
Přiblížení		RNP APCH	X	X	X	X		

Veškeré tyto vědomosti piloti využijí nejvíce u zkoušky z teoretických znalostí, která je nezbytná pro získání licence. Důležitou součástí výuky by mohly být podstatné informace, v jakých situacích a jakým způsobem lze GNSS přijímač v letadle využít pro lety VFR. Na tuto část by pak mohla přirozeně navazovat výuka praktická.

5.3 Návrh pro LAPL(S), SPL, LAPL(B), BPL

Pro průkazy způsobilosti kluzáků a balónů byla zvolena jednodušší osnova zobrazená v tabulce 8. Pokud piloti při letu využívají také družicovou navigaci, jedná se většinou o vlastní GNSS přijímač, protože u těchto druhů letadel standardně není zabudované přijímací zařízení GNSS.

Tabulka 8 - Návrh osnovy pro LAPL(S), SPL, LAPL(B), BPL

Teoretická osnova GNSS pro licence			LAPL (S)	SPL	LAPL (B)	BPL	
GNSS	Systémy zahrnuté v GNSS		X	X	X	X	
	Provoz	Řídící, kosmický, uživatelský segment	X	X	X	X	
	Princip určení polohy	Dálkoměrná metoda		X	X	X	X
		Měření pseudovzdálenosti		X	X	X	X
		Referenční elipsoid WGS84		X	X	X	X
		GPS	Navigační signály C/A a P(Y)	X	X	X	X
			Navigační zpráva	X	X	X	X
			Navigační služby (SPS, PPS)	X	X	X	X
	Chyby a faktory ovlivňující přesnost	UERE - ekvivalentní chybu vzdálenosti	Chyba hodin satelitu, chyba efemerid, ionosferická chyba, troposferická chyba, chyba měření přístroje	X	X	X	X
		DOP - zhoršení činitele přesnosti	Vliv rozmístění a počtu družic	X	X	X	X
	Augmentační systémy	GBAS	Základní princip	X	X	X	X
		SBAS	Systémy SBAS ve světě	X	X	X	X
			Základní princip	X	X	X	X
		ABAS	RAIM	X	X	X	X
	Využití	Traťový let	Kontrola RAIM	X	X	X	X
			Možnosti využití jako záložní navigace za letu	X	X	X	X

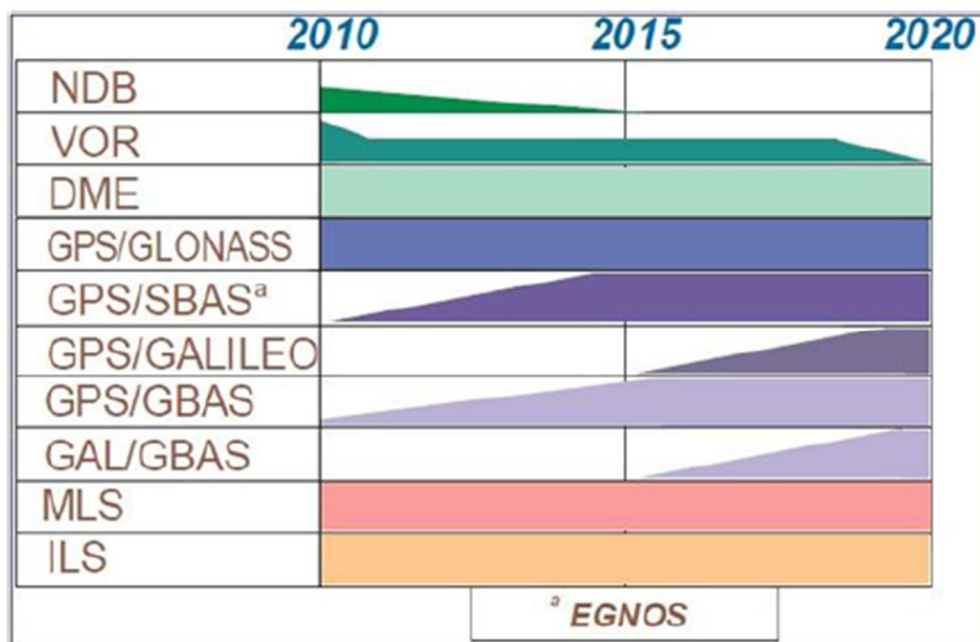
I v tomto případě by měl být výcvik doplněn o upozorňující informace, aby se pilot příliš nespolehal na přístroje. Při použití vlastního navigačního zařízení je důležité vědět základní informace, jestli je poskytována kontrola integrity a jaké přesnosti je možné s využitím daného GNSS přijímače dosáhnout.

5.4 Možnosti výcviku, hodinová dotace

Většina uchazečů o průkaz způsobilosti pilota se s určováním polohy pomocí družicové navigace již setkala a využívá ho v běžném životě, proto je výuka družicové navigace pro budoucí piloty snadnější. Z tohoto důvodu je navrženo, aby se pro oblast radionavigace zařadila kapitola GNSS jako první v pořadí před radionavigační prostředky využívané v letectví (NDB/ADF, VOR, DME,...).

Teoretická výuka také nutně nemusí znamenat knihu, kterou se musí uchazeči o průkaz způsobilosti pilota učit nazpaměť. I když knižní či elektronická podoba učebnice bude zřejmě tvořit základ výuky, v současné době se výuka orientuje na výcvik na základě počítačových technologií CBT (Computer Based Training). Teorie by poté mohla být zpracována do jednoduché interaktivní podoby, kdy by byly jednotlivé kapitoly představeny ve formě obrázku či animace se stručnými popisky, významnými pro teoretické znalosti pilota, a podrobné informace o problematice by byly vysvětleny v podobě zvukového doprovodu. Pro praktický výcvik existují programy a simulátory přímo od výrobců leteckých GNSS přijímačů, kde by si piloti mohli vyzkoušet potřebné funkce, například v podobě cvičného simulování určité situace.

Lze předpokládat, že družicová navigace se stane nejčastěji používaným záložním přístrojovým systémem při letech VFR s novými letouny vybavenými GNSS přijímači. Díky její aplikaci v dalších odvětví se základní znalosti a zkušenosti s využitím tohoto druhu určování polohy stávají často součástí každodenního života. V základní hodinové dotaci pro výuku radionavigace, která tvoří pouze 5 hodin, by se jí proto měl věnovat co nejvyšší možný časový úsek. V případě budoucích pilotů letounů a vrtulníků je navrhována 1 hodina teoretické výuky. V případě uchazečů o průkaz způsobilosti pilota kluzáků a balónů, kteří mají samostatnou část GNSS v kapitole o navigaci je navrhována 30 minutová teoretická příprava. V současném teoretickém výcviku se věnuje pozornost v oblasti radionavigace hlavně konvenčním radionavigačním zařízením jako NDB/ADF a VOR. Podle očekávaného vývoje infrastruktury navigačního zařízení vydaného organizací EUROCONTROL v roce 2008, mělo být využívání NDB ukončeno již během letošního roku a zařízení VOR do roku 2020, jak je patrné z obrázku 26.



Obrázek 26 - Očekávaný vývoj navigační infrastruktury do roku 2020 [17]

Tento odhad byl ovšem poněkud předčasný, jak je zřejmé ze stálého využívání těchto navigačních zařízení v současnosti. Vzhledem k očekávanému vývoji, dostupnosti a dalším výhodám systému GNSS byl upraven poměr doby věnované výuce konvenčních navigačních prostředků v okruhu radionavigace ve prospěch GNSS. Návrh hodinové dotace pro výuku radionavigace se nachází v tabulce 9, která byla sestavena podle Rozhodnutí č. 2011/016/R s přemístěním kapitoly o GNSS před konvenční radionavigační prostředky. Základní čas byl rozdělen do 5 hodin, i když letecké školy často problematice věnují dobu delší.

Tabulka 9 - Časová dotace RADIONAVIGACE pro LAPL(A), LAPL(H), PPL(A), PPL(H)

RADIONAVIGACE		Časová dotace
Základní teorie šíření radiového signálu	Antény	15 minut
	Šíření vln	15 minut
GNSS		1 hodina
Radionavigační prostředky	Pozemní směrové zaměřování (DF)	15 minut
	NDB/ADF	30 minut
	VOR	45 minut
	DME	30 minut
Radar	Pozemní radar	30 minut
	Sekundární přehledový radar a odpovídač	1 hodina
Celkem		5 hodin

6 Závěr

Význam družicové navigace od 90. let podstatně vzrostl také v odvětví letecké dopravy a podle Nařízení Komise (EU) č.1178/2011 s novými kategoriemi průkazů způsobilosti pilota a požadavky na získání těchto licencí a Rozhodnutí č. 2011/016/R, které obsahuje osnovy teoretického i praktického výcviku k těmto průkazům, by se mělo GNSS vyučovat i pro létání VFR. Cílem práce tak bylo navrhnout teoretického výcviku GNSS pro kategorie průkazů způsobilosti pilotů VFR, kteří ve většině případů běžně používají přijímače družicové navigace, a proto lze předpokládat, že je budou chtít využívat i při létání.

Nejprve byly představeny všechny kategorie průkazů způsobilosti pilota, kterých se týká létání VFR s důrazem na teoretický a letový výcvik GNSS, podle již zmíněných dokumentů závazných pro státy Evropské unie. Základ pro návrh teoretické osnovy výcviku pilotů je součástí kapitoly GNSS, kde jsou rozepsány zahrnuté systémy, segmenty zajišťující provoz systémů, princip určení polohy, chyby a faktory ovlivňující přesnost a augmentační systémy. Nadstavbu tvoří kapitola o možném budoucím využití GNSS ve fázi přiblížení ve specifických postupech letu VFR, která se také zaměřuje na teoretickou stránku RNP APCH.

Samotný návrh s hodinovou dotací je představen v závěrečné kapitole a byla k němu vytvořena hodinová dotace pro jednotlivé části kapitoly radionavigace pro vybrané průkazy způsobilosti pilota. Osnova byla sestavena z teorie dostupné z předchozích kapitol. Návrh se snaží upozornit piloty na využití družicové navigace jako záložní, aby se stal výcvik GNSS přínosem a co nejvíce se zamezilo tragickým událostem způsobených spolehnutím se na přístroje, pro které piloti VFR nemají dostatečnou kvalifikaci.

Vypracovaný návrh by mohl sloužit jako jeden ze vzorů teoretické výuky implementace GNSS výcviku pro piloty VFR a pro další vývoj v této aktuálně řešené problematice. Teoretická část oblasti GNSS by mohla být užitečná nejen pro VFR, ale také pro teoretické podklady výuky této kapitoly pro přístrojovou kvalifikaci a licence obchodního a dopravního pilota letounů a vrtulníků. Poznatky z kapitoly RNP APCH by mohly pro přístrojové kvalifikace tvořit součást teoretické výuky o PBN. Autorka práce věří, že se podařilo splnit stanovené cíle práce a že zpracované poznatky najdou své využití ve výcviku budoucích pilotů.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Nařízení Komise (EU) č. 1178/2011 [online]. *Úř. věst. L 311*. 2011 [cit. 2015-04-05]. Dostupné také z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1396858467583&uri=CELEX:32011R1178>
- [2] ROZHODNUTÍ č. 2011/016/R [online]. *Úř. věst. L 79*. 2011 [cit. 2015-04-05]. Dostupné také z: <http://www.caa.cz/file/6493>
- [3] NOTICE OF PROPOSED AMENDMENT 2014-29 (D)(2) [online]. EASA, 2014 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <https://easa.europa.eu/system/files/dfu/NPA%202014-29%20%28D%29%282%29.pdf>
- [4] FRIEDEL, Stefanie. *Lehrveranstaltung Navigation: Teil 4 - Satellitennavigation*. Dresden: Fakultät Verkehrswissenschaften Institut für Luftfahrt, Professur Technologie und Logistik des Luftverkehrs, WS 2014/2015 [cit. 2015-06-08].
- [5] PLENINGER, Stanislav. *Zabezpečovací technika: Systémy družicové navigace*. FD ČVUT v Praze, LS 2012/2013 [cit. 2015-06-08].
- [6] THE NATIONAL COORDINATION OFFICE FOR SPACE-BASED POSITIONING, NAVIGATION, AND TIMING. *GPS.GOV: Official U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics* [online]. July 15, 2015 [cit. 2015-06-10]. Dostupné z: <http://www.gps.gov/>
- [7] NAVIPEDIA CONTRIBUTORS. *Navipedia: The reference for Global Navigation Satellite Systems* [online]. Navipedia, July 10, 2015 [cit. 2015-06-10]. Dostupné z: <http://www.navipedia.net/>
- [8] ŠEBESTA, Jiří a . *Globální navigační systémy* [online]. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2012, 132 s. [cit. 2015-08-21]. ISBN 978-80-214-4500-0. Dostupné z: http://www.urel.feec.vutbr.cz/~sebestaj/RAR/literatura/Globalni_navigacni_systemy.pdf
- [9] Cessna Skyhawk. In: *Europe-American Aviation* [online]. EUROPE-AMERICAN AVIATION. [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: <http://www.skystead.com/en/info/aircrafts/cessna-skyhawk/>
- [10] CAMILLERI, Patrick. The GPS Receiver. In: *Cognitive Biology Group* [online]. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: <http://kobi.nat.uni-magdeburg.de/patrick/pmwiki.php?n=BEng.TheGPSReceiver>

- [11] PLENINGER, Stanislav. *Zabezpečovací technika: GNSS (Global Navigation Satellite System)*. FD ČVUT v Praze, LS 2012/2013 [cit. 2015-06-12].
- [12] Global Positioning System: Satellite geometry and Accuracy measures. In: *The National Programme on Technology Enhanced Learning* [online]. [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: http://nptel.ac.in/courses/105104100/lectureB_11/B_11_3GDOP.htm
- [13] RNP APCH. In: *ICAO PBN Workshop* [online]. Tanzania, 14-16 October 2014 [cit. 2015-07-20]. Dostupné z: <http://www.icao.int/WACAF/Documents/Meetings/2014/OPS-Approval/15%20October%202014/08%20-%20RNP%20APCH.pdf>
- [14] ICAO Doc 9613. *PBN Manual, Advanced Fourth Edition* [online]. [cit. 2015-07-20]. Dostupné z: https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/field_tabs/content/documents/single-sky/mandates/20120705-pbn-manual-advanced-fourth-edition.pdf
- [15] PBN Implementation in other ICAO regions. In: *EANPG PROGRAMME COORDINATING GROUP (COG) PERFORMANCE BASED NAVIGATION IMPLEMENTATION TASK FORCE (PBN TF)* [online]. 2010 [cit. 2015-07-21]. Dostupné z: <http://www.icao.int/EURNAT/Other%20Meetings%20Seminars%20and%20Workshops/PBN%20TF/PBN%20TF4/PBNTF4%20IP01%20APAC%20PBN%20Progress.pdf>
- [16] EUROCONTROL. *RNAV Approaches* [online]. 2012 [cit. 2015-07-21]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/2013-rnav-approaches-factsheet.pdf>
- [17] KRAUS, Jakub, Karel JEŘÁBEK a Tomáš SOPORSKÝ. *Analýza využití SBAS přiblížení pro malá mezinárodní letiště: Závěrečná zpráva SGS12*. In: *Konference Increasing Safety and Quality in Civil and Military Air Transport* [online]. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, 2013 [cit. 2015-08-05]. ISBN 978-80-554-0665-7. Dostupné z: http://www.fd.cvut.cz/projects/k621x1c/dokumenty/Analyza_vyuziti_SBAS_SGS12_final.pdf
- [18] Česká republika. AIP. In: *AIS Publications*. Letecká Informační Služba, 2013. Dostupné z: http://lis.rlp.cz/ais_data/www_main_control/frm_cz_aip.htm
- [19] JAR - FCL 1: Způsobilost členů letových posádek (Letoun) [online]. Letecká Informační Služba, 2006 [cit. 2015-04-05]. Dostupné také z: <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [20] JAR - FCL 2: Způsobilost členů letových posádek (Vrtulník) [online]. Letecká Informační Služba, 2007 [cit. 2015-04-05]. Dostupné také z: <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>

- [21] NOTICE OF PROPOSED AMENDMENT 2014-29 (D)(1) [online]. EASA, 2014 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <https://easa.europa.eu/system/files/dfu/NPA%202014-29%20%28D%29%281%29.pdf>
- [22] VEJMEJKA, Josef. Nebojte se tmy aneb jak získat kvalifikaci VFR Night. *Aeroweb* [online]. 2008 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://www.aeroweb.cz/clanky/1050->
- [23] *Průkaz LAPL - budoucnost rekreačních pilotů?* [online]. *Aeroweb*, 2015 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://www.aeroweb.cz/clanky/4493-prukaz-lapl-budoucnost-rekreacnich-pilotu>
- [24] Česká republika. *Předpis L2* [online]. Letecká Informační Služba, 2013 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [25] FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. *Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge: Chapter 15: Navigation* [online]. 2014 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/pilot_handbook/media/PHAK%20-%20Chapter%2015.pdf
- [26] *Navigation*. 4th ed. Oxford: Oxford Aviation Academy, 2008. ISBN 9781906202606
- [27] VOSECKÝ, Slavomír. *Radionavigace (062 00)*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 236 s. Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1. ISBN 80-720-4448-6.
- [28] 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.
- [29] KAPLAN, Elliott D a C HEGARTY. *Understanding GPS: principles and applications*. 2nd ed. Boston: Artech House, c2006, xvii, 703 p. ISBN 15-805-3894-0.
- [30] NOTICE OF PROPOSED AMENDMENT (NPA) 2013-25 [online]. EASA, 2013 [cit. 2015-06-10]. Dostupné z: https://easa.europa.eu/system/files/dfu/NPA%202013-25_0.pdf
- [31] LI, Xingxing, Xiaohong ZHANG, Xiaodong REN, Mathias FRITSCHÉ, Jens WICKERT a Harald SCHUH. Precise positioning with current multi-constellation Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou. *Scientific Reports* [online]. 2015-2-9, 5: 8328- [cit. 2015-06-10]. DOI: 10.1038/srep08328. ISSN 2045-2322. Dostupné z: <http://www.nature.com/doi/10.1038/srep08328>
- [32] GSA. *European Global Navigation Satellite System Agency* [online]. [cit. 2015-06-18]. Dostupné z: <http://www.gsa.europa.eu/>

- [33] ODBOR ITS, KOSMICKÝCH AKTIVIT A VAVAI. *Český kosmický portál: Informační stránky Koordináční rady ministra dopravy pro kosmické aktivity* [online]. [cit. 2015-06-18]. Dostupné z: <http://www.czechspaceportal.cz/1-sekce/cesky-kosmicky-portal/>
- [34] GLONASS: The Once and Future GNSS. *Inside GNSS: Engineering Solutions from the Global Navigation System Community* [online]. 2006 [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://www.insidegnss.com/node/503>
- [35] U.S. COAST GUARD NAVIGATION CENTER. *Navigation Center: The Navigation Center of Excellence* [online]. March 30, 2015 [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://www.navcen.uscg.gov/>
- [36] GSA. *EGNOS Portal* [online]. August 20, 2015 [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://egnos-portal.gsa.europa.eu/>
- [37] KRAUS, Jakub. Introduction of Cloud Break Procedures for Czech Republic based on GNSS SBAS. *MAD - Magazine of Aviation Development* [online]. 2013, (1) [cit. 2015-07-18]. Dostupné z: http://www.mad.fd.cvut.cz/issues/1/01_Kraus.pdf
- [38] FRIEDEL, Stefanie. *Lehrveranstaltung Navigation: Teil 5.3 – Flächennavigation*. Dresden: Fakultät Verkehrswissenschaften Institut für Luftfahrt, Professur Technologie und Logistik des Luftverkehrs, WS 2014/2015 [cit. 2015-07-18].
- [39] SMĚRNICE CAA-SLP-031a-0-14 [online]. ÚCL, 2014 [cit. 2015-07-22]. Dostupné z: <https://www.google.cz/url?>
- [40] *European Airspace Concept Handbook for PBN Implementation* [online]. EUROCONTROL, 2013 [cit. 2015-07-22]. Edition 3.0. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/handbook-pbn-implement-2013-ed-3a.pdf>
- [41] *Flying RNAV (GNSS) Approaches in Private and General Aviation Aircraft: CAP 773* [online]. Gatwick: Civil Aviation Authority, 2014 [cit. 2015-07-22]. Dostupné z: <https://www.caa.co.uk/application.aspx?catid=33&pagetype=65&appid=11&mode=detail&id=2840>
- [42] *AMC 2027 Effective: 23/12/2009: Annex III to ED Decision 2009/019/R of 16/12/2009* [online]. EASA, 2009 [cit. 2015-07-22]. Dostupné z: <http://easa.europa.eu/system/files/dfu/agency-measures-docs-agency-decisions-2009-2009-019-R-Annex-III---AMC-20-27.pdf>

[43] *AMC 20-28 Effective: 24/09/2012: Annex II to ED Decision 2012/014/R of 17/09/2012* [online]. EASA, 2012 [cit. 2015-07-22]. Dostupné z: <http://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/Annex%20II%20-%20AMC%2020-28.pdf>

[44] Česká republika. *Předpis L8168* [online]. Letecká Informační Služba, 2006 [cit. 2015-07-22]. Dostupné z: <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>

[45] KRAUS, Jakub, Barbora JANÍKOVÁ a Kamil SLAVÍK. *WP2 Workshop Report: In: Capacity Building for Aviation Stakeholders Inside and Outside the EU*. 2015 [cit. 2015-08-15].

[46] KRAUS, Jakub, Barbora JANÍKOVÁ, Kamil SLAVÍK a Tomáš DUŠA. *WP3 Workshop Report: In: Capacity Building for Aviation Stakeholders Inside and Outside the EU*. 2015 [cit. 2015-08-15].

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Ukázka navrhované osnovy pro CPL(A), CPL(H), ATPL(A), ATPL(H) a IR podle NPA 2014 - D(2) [3]

Obrázek 2 - Schéma GNSS

Obrázek 3 - Umístění řídicího segmentu GPS [6]

Obrázek 4 - Oběžné dráhy družic GPS [7]

Obrázek 5 - Části družice GPS, blok IIR [8]

Obrázek 6 - Garmin G1000 Glass Cockpit [9]

Obrázek 7 - Měření pseudovzdálenosti [10]

Obrázek 8 - PRN kód, autokorelační funkce [4], (upraveno autorem)

Obrázek 9 - BPSK modulace [4], (upraveno autorem)

Obrázek 10 - Struktura navigační zprávy GLONASS (signál se standardní přesností) [7]

Obrázek 11 - Struktura navigační zprávy I/NAV [7]

Obrázek 12 - Chyby ovlivňující měření pseudovzdálenosti

Obrázek 13 - Činitelé přesnosti, zdroj dat [11]

Obrázek 14 - Znázornění GDOP [12], (upraveno autorem)

Obrázek 15 - Schéma GBAS [4], (upraveno autorem)

Obrázek 16 - Systém SBAS ve světě [7]

Obrázek 17 - Rozložení stanic EGNOS [7]

Obrázek 18 - Schéma SBAS [4], (upraveno autorem)

Obrázek 19 - Znázornění celkové chyby systému TSE zahrnující NSE (Navigation system error, Navigační chyba systému), PDE (Path definition error, Chyba definice dráhy) a FTE Flight technical error (Letově-technická chyba) [13], (upraveno autorem)

Obrázek 20 - Rozdíl mezi konvenční a prostorovou navigací [14]

Obrázek 22 - Příklad aplikace RNAV a RNP specifikací [14]

Obrázek 21 - Navigační specifikace pro RNAV a RNP, zdroj dat [14]

Obrázek 23 - Druhy RNP APCH, zdroj dat [15]

Obrázek 24 - Rozdíl mezi MDH a DH [16]

Obrázek 25 - Rozdíl mezi lineárními a zakřivenými směrovými požadavky na výkonnost [14],
(upraveno autorem)

Obrázek 26 - Očekávaný vývoj navigační infrastruktury do roku 2020 [17]

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Teoretická osnova radionavigace pro PPL(A), PPL(H), LAPL(A) a LAPL(H) [2]

Tabulka 2 - Přehled základních charakteristik GPS, GLONASS, GALILEO [4] [5]

Tabulka 3 - Generace operujících satelitů GPS [6]

Tabulka 4 - Navigační zprávy GALILEO [7]

Tabulka 5 - Základní požadavky na přesnost v jednotlivých úsecích přiblížení [14]

Tabulka 6 – Charakteristiky druhů RNP APCH [13]

Tabulka 7 - Návrh osnovy pro LAPL(A), LAPL(H), PPL(A) a PPL(H)

Tabulka 8 - Návrh osnovy pro LAPL(S), SPL, LAPL(B), BPL

Tabulka 9 - Časová dotace RADIONAVIGACE pro LAPL(A), LAPL(H), PPL(A), PPL(H)

Seznam příloh

Příloha A - Přibližovací mapa na letiště Praha/Vodochody (LKVO) pro LNAV, LNAV/VNAV a LPV [18]

Přílohy

Příloha A - Přibližovací mapa na letiště Praha/Vodochody (LKVO) pro LNAV, LNAV/VNAV a LPV [18]

AIP
CZECH REPUBLIC

Hand Amendment Incorporated (AMDT 306/15 WEF 25 JUN 15)

LKVO AD 2 - 37 - 7
25 JUN 15

