

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ



Bakalářská práce

GNSS pro kluzáky

Tomáš Kubáč

2016



K621..... Ústav letecké dopravy

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Tomáš Kubáč

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – LED – Letecká doprava

Název tématu (česky): **GNSS pro kluzáky**

Název tématu (anglicky): GNSS for Gliders

Zásady pro vypracování

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

- GNSS
- Možnosti využití GNSS v bezmotorovém létání
- Aplikace GNSS v bezmotorovém létání
- Návrh osnov pro výuku létání s GNSS
- Zhodnocení zavedení GNSS v bezmotorovém létání



- 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: Global navigation satellite systems, Basudeb Bhatta
<https://www.cumulus-soaring.com/>
<http://www.fai.org/>
<http://www.aecr.cz/>

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Bc. Jakub Hospodka, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **25. října 2015**
(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: **25. srpna 2016**
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. Stanislav Szabo, PhD. MBA
vedoucí
Ústavu letecké dopravy



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Tomáš Kubáč
jméno a podpis studenta

V Praze dne 25. října 2015

Poděkování

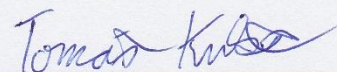
Rád bych poděkoval doc. Ing. Bc. Jakobovi Hospodkovi, Ph.D. za odborné vedení, připomínky a vstřícnost při vedení bakalářské práce. Dále chci poděkovat všem, kteří se zúčastnili mého průzkumu. Děkuji také instruktorům a pilotům aeroklubu Roudnice nad Labem za cenné konzultace. Chci také poděkovat svým rodičům za trpělivost, rady a podporu při psaní bakalářské práce i za celou dobu studia.

Prohlášení

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

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).

V Praze dne 19. srpna 2016



Tomáš Kubáč

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Bakalářská práce

GNSS pro kluzáky

Tomáš Kubáč

Srpen 2016

Abstrakt

Cílem této práce je podat přehled o možnostech využití a aplikace GNSS v bezmotorovém létání, dále potom navrhnout osnovy pro teoretickou a praktickou výuku létání s těmito přístroji a zhodnotit jejich zavedení. První část práce se věnuje uvedení GNSS, zvláště principu jejich fungování. V druhé části se nachází přehled možností využití GNSS v bezmotorovém létání. Zřetel je brán na IGC schválené letové zapisovače a požadavky k jejich schvalování. Další kapitola je věnována aplikaci těchto možností, tedy přehledu variant GNSS přístrojů a programů pracujících s daty z nich. Kapitola pět se věnuje popisu současného stavu předpisů pro výcvik pilotů kluzáků a návrhem osnov pro výuku létání s GNSS přístroji. V závěru práce jsou shrnuty výhody a nevýhody zavedení GNSS do bezmotorového létání a je zde průzkum o využívání GNSS přístrojů piloty kluzáků. Přínosem práce je přehled o GNSS přístrojích pro kluzáky, jež mohou využít piloti s malou znalostí problematiky.

Klíčová slova

GNSS, bezmotorové létání, SPL, GLD, navigace, letový zapisovač, FR, FLARM, IGC

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of Transportation

Bachelor thesis

GNSS for Gliders

Tomáš Kubáč

August 2016

Abstract

The goal of this thesis is to provide an overview of the possible uses and applications of GNSS in gliding, devise a curriculum for theoretical and practical training aimed at flying with these devices and to evaluate implementation of these systems. The first part is devoted to introduce GNSS, particularly the principle of their operation. The second part is an overview of the possibilities of using GNSS in gliding. Attention is given to the IGC approved flight recorders and requirements for their approval. Next chapter is devoted to the application of these possibilities, thus the variations of GNSS devices and programs working with data from them. Chapter five deals with the description of the current state of regulations for flight crew training of glider pilots and drafts curricula for training aimed at flying with GNSS devices. Conclusion of thesis summarizes advantages and disadvantages of GNSS introduction into gliding and there is a survey on the use of GNSS devices by glider pilots. The benefit of this work is an overview of GNSS devices for gliders, which can use glider pilots with little knowledge of the subject.

Key words

GNSS, gliding, soaring, SPL, GLD, navigation, flight recorder, FR, FLARM, IGC

Obsah

Seznam obrázků	7
Seznam grafů.....	7
Seznam tabulek	8
Seznam použitých zkratek.....	9
1 Úvod	13
2 GNSS.....	14
2.1 Princip funkce	15
2.2 Segmenty.....	17
2.2.1 Kosmický segment	18
2.2.2 Řídící segment.....	19
2.2.3 Uživatelský segment	20
2.3 Chyby a přesnost.....	21
2.4 Augmentační systémy	23
3 Možnosti využití GNSS v bezmotorovém létání.....	25
3.1 Záznam.....	25
3.1.1 Vyhodnocení letu	25
3.1.2 Záznam pro dokládání sportovních výkonů	29
3.1.2.1 Datový formát IGC.....	30
3.1.2.2 Poziční zapisovače	33
3.1.2.3 Letové zapisovače	33
3.1.2.3.1 Historie	33
3.1.2.3.2 Stupně schválení.....	35
3.1.2.3.3 Technické specifikace	36
3.2 Navigace.....	39
3.3 Snížení rizika kolize s jiným kluzákem za letu	41
3.3.1 FLARM.....	42
3.4 Nouzové lokační vysílače.....	43
4 Aplikace GNSS v bezmotorovém létání.....	45

4.1	Programy pro vyhodnocení a plánování letu na PC	45
4.2	Přístroje pro použití v kluzáku	46
5	Návrh osnov pro výuku létání s GNSS.....	51
5.1	Současný stav	51
5.2	Návrh teoretické osnovy pro výuku létání s GNSS.....	53
5.3	Návrh praktické osnovy pro výuku létání s GNSS.....	54
6	Zhodnocení zavedení GNSS v bezmotorovém létání.....	56
6.1	Výhody a nevýhody	56
6.2	Průzkum využívání GNSS přístrojů mezi piloty kluzáků	57
6.2.1	Otázka 1: Létáte na vlastním letadle nebo na aeroklubovém?	58
6.2.2	Otázka 2: Využíváte GNSS přístroje?.....	58
6.2.3	Otázka 3: Máte v letadle vestavěný GNSS přístroj?	59
6.2.4	Otázka 4: Jaký typ GNSS přístroje používáte?	59
6.2.5	Otázka 5: Pokud používáte mobilní zařízení v letadle jako GNSS navigaci, jaký má operační systém?	61
6.2.6	Otázka 6: Pokud používáte mobilní zařízení v letadle jako GNSS navigaci, jaký navigační software používáte?.....	62
6.2.7	Důvěryhodnost průzkumu ze statistického hlediska	62
7	Závěr.....	64
	Použité zdroje.....	66

Seznam obrázků

Obrázek 1: princip určování polohy dálkoměrnou metodou ve 3D prostoru [38]	15
Obrázek 2: měření pseudovzdálenosti [47]	17
Obrázek 3: oběžné dráhy konstelace (zleva) GPS, Galileo a GLONASS [38]	19
Obrázek 4: řídicí segment GPS [41]	20
Obrázek 5: znázornění GDOP ve 2D [48] (upraveno)	23
Obrázek 6: pokrytí systémy SBAS ve světě [46]	24
Obrázek 7: výška a trať letu zobrazená na mapovém podkladu v programu SeeYou.....	26
Obrázek 8: detail traťové rychlosti letu zobrazené na mapovém podkladu v programu SeeYou	26
Obrázek 9: detail vertikální rychlosti letu zobrazené na mapovém podkladu v programu SeeYou.....	26
Obrázek 10: detail zobrazení dvou letů na mapovém podkladu v programu SeeYou	27
Obrázek 11: 3D trať letu s vertikální rychlostí zobrazená v programu SeeYou	27
Obrázek 12: část statistik fází letu zobrazených v programu SeeYou	28
Obrázek 13: FAI odznaky a diplom [16].....	30
Obrázek 14: RD Logger [17]	34
Obrázek 15: Cambridge Model 10 [17]	35
Obrázek 16: IGC rozložení vodičů v RJ-45 konektoru [10]	38
Obrázek 17: hlavní zobrazení při klouzavém letu v programu XCSoar	41
Obrázek 18: obrazovka s pomocníkem kroužení v programu XCSoar	41
Obrázek 19: Příklad protikolizního přístroje FLARM [24]	42
Obrázek 20: Družice LEOSAR a GEOSAR [28].....	44
Obrázek 21: GPLIGC & OGIE [35]	45
Obrázek 22: EMI Gliding Equipment ERIX [30]	47
Obrázek 23: Colibri.....	48
Obrázek 24: Colibri II [33].....	48
Obrázek 25: LX Eos [33]	48
Obrázek 26: LX 8000 s variometrem V9 instalovaný v kluzáku Duo Discus XLT.....	49
Obrázek 27: příklad uchycení mobilního telefonu v kluzáku VSO-10	50
Obrázek 28: předpisy a organizace k výcviku pilotů kluzáků.....	53

Seznam grafů

Graf 1: otázka 1: Létáte na vlastním nebo na aeroklubovém letadle?.....	58
Graf 2: otázka 2: Využíváte GNSS přístroje?	58
Graf 3: otázka 3: Máte v letadle vestavěný GNSS přístroj?.....	59

Graf 4: otázka 4: Jaký typ GNSS přístroje používáte?.....	59
Graf 5: otázka 5: Pokud používáte mobilní zařízení, jaký má operační systém?	61
Graf 6: otázka 6: Pokud používáte mobilní zařízení v letadle jako GNSS navigaci, jaký navigační software používáte?.....	62

Seznam tabulek

Tabulka 1: porovnání systémů GPS, GLONASS, Galileo a Compass [38, 40, 41, 42, 46]	18
Tabulka 2: kombinace odpovědí na otázku 4	60
Tabulka 3: výsledky průzkumu s nejistotami	63

Seznam použitých zkratk

3D	Three-dimensional	Trojdimenzionální
AAIM	Aircraft autonomous integrity monitoring	Autonomní monitorování integrity v letadle
ABAS	Aircraft-Based Augmentation Systems	Palubní augmentační systémy
ACAS	Airborne collision avoidance system	Protisrážkový letadlový systém
ADS-B	Automatic dependent surveillance – broadcast	Automatické závislé přehledové vysílání
AeČR		Aeroklub České republiky
AGL	Above ground level	Výška nad zemí
AMSL	Above mean sea level	Výška nad střední hladinou moře
ANDS	Air traffic, Navigation and Display Systems	Systémy letového provozu, navigace a displeje
ASCII	American Standard Code for Information Interchange	Americký standardní kód pro výměnu informací
BIPM	Bureau International des Poids et Mesures	Mezinárodní úřad pro míry a váhy
BNC	Bayonet Neill-Concelman	
CDMA	Code division multiple access	Kódový multiplex
CGCS2000	China Geodetic Coordinate System 2000	
COTS	Commercial off-the-shelf	Komerčně sériově vyráběné produkty
CPS		Celostátní plachtařská soutěž
CTR	Control zone	Řízený okresek
DGNSS	Differential GNSS	Diferenciální GNSS
DLL	Dynamic-link library	Dynamicky linkovaná knihovna
DOP	Dilution of precision	Činitel zhoršení přesnosti
DS	Digital signature	Digitální podpis
EASA	European Aviation Safety Agency	Evropská agentura pro bezpečnost letectví
ELT	Emergency locator transmitter	Nouzový lokační vysílač
EMI	Electromagnetic interference	Elektromagnetická interference
ENL	Environmental Noise Level	Úroveň hluku okolí

FAA	Federal Aviation Administration	Federální letecká správa
FAI	Fédération Aéronautique Internationale	Mezinárodní federace leteckých sportů
FCL	Flight Crew Licensing	Licencování letových posádek
FDMA	Frequency-division multiple access	Frekvenční multiplex
FI(S)	Flight instructor (sailplane)	Letový instruktor (kluzák)
FR	Flight Recorders	Letové zapisovače
FXA	Fix Accuracy	Přesnost fixu
GBAS	Ground-Based Augmentation Systems	Pozemní augmentační systémy
GDOP	Geometric DOP	Geometrický DOP
GEO	Geostationary Earth orbit	Geostacionární oběžná dráha Země
GFAC	GNSS Flight Recorder Approval Committee	Schvalovací výbor GNSS letových zapisovačů
GLONASS	Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistema	Globální satelitní polohový systém
GNSS	Global navigation satellite system	Globální satelitní polohový systém
GPS	Global Positioning System	Globální polohovací systém
GTRF	Galileo Terrestrial Reference Frame	
HAFR	High Altitude Flight Recorder	Letový zapisovač pro vysoké výšky
HDOP	Horizontal DOP	Horizontální DOP
ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IGC	International Gliding Commission	Mezinárodní komise pro bezmotorové létání
IRNSS	Indian Regional Navigation Satellite system	Indický regionální satelitní polohový systém
ISA	International Standard Atmosphere	Mezinárodní standardní atmosféra
LEO	Low Earth orbit	Nízká oběžná dráha Země
LOV	Low Voltage	Nízké napětí
MCC	Mission Control Centre	Vyhodnocovací středisko
MD	Message-digest	
MEO	Medium Earth orbit	Střední oběžná dráha Země

MOP	Means of Propulsion	
NAC	National Airport Control	Národní letecká sportovní kontrola
NAVIC	Navigation with Indian Constellation	
NAVSTAR	Navigation Signal Timing And Ranging	
NMEA	National Marine Electronics Association	Národní sdružení pro lodní elektroniku
NSS	Navigation satellite system	Satelitní polohový systém
NTSC	National Time Service Center	
OAT	Outside air temperature	Teplota vnějšího vzduchu
OLC	On-Line Contest	Online soutěž
OO	Official Observer	Oficiální pozorovatel
PC	Personal computer	Osobní počítač
PDA	Personal digital assistant	Osobní digitální pomocník
PDOP	Position DOP	Poziční DOP
PEV	Pilot Event	Pilotem spuštěná událost
PLB	Personal locator beacon	Osobní lokátor
PNA	Personal Navigation Assistant	Osobní navigační pomocník
PR	Position Recorder	Poziční zapisovače
PRN	Pseudorandom noise	Pseudonáhodný šum
PZ90	Parametry Zemli 1990	
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System	
RAIM	Receiver autonomous integrity monitoring	Autonomní monitorování integrity přijímače
RTC	Real-time clock	Hodiny reálného času
SBAS	Satellite-Based Augmentation Systems	Satelitní augmentační systémy
SD	Secure Digital	
SHA	Secure Hash Algorithm	
SMC	SubMiniature version C	
SU	Soviet Union	Sovětský svaz
TAI	Temps Atomique International	Mezinárodní atomový čas
TCAS	Traffic collision avoidance system	Protisrážkový letadlový systém
TDOP	Time DOP	Časový DOP

TE	Total energy	Celková energie
TMA	Terminal control area	Koncová řízená oblast
TMG	Tourist motor glider	Turistický motorový kluzák
TRA	Temporary reserved area	Dočasně vymezený prostor
TSA	Temporary segregated area	Dočasně vyhrazený prostor
ÚCL		Úřad pro civilní letectví
USERE	User equivalent range error	Ekvivalentní chyba vzdálenosti přijímače
UHF	Ultra high frequency	Ultra krátké vlny
USB	Universal Serial Bus	Univerzální sériová sběrnice
USNO	United States Naval Observatory	Námořní observatoř Spojených států
UTC	Coordinated Universal Time	Koordinovaný světový čas
VDOP	Vertical DOP	Vertikální DOP
VFR	Visual flight rules	Pravidla pro let za viditelnosti
VHF	Very high frequency	Velmi krátké vlny
WGS84	World Geodetic System 1984	Světový geodetický systém 1984

1 Úvod

Globální satelitní polohové systémy jsou v dnešní době již neodmyslitelnou součástí mnoha odvětví. Přes prvotní vojenský účel se tyto systémy vyvinuly v nezbytný polohový prostředek pro civilní sféru. Aplikace využívající GNSS se uplatňují nejen v dopravě (silniční, železniční, letecké a námořní), ale i v oblastech telekomunikace, geodézie, zemědělství, těžba nerostných surovin a ekologie. Trh s produkty souvisejícími s GNSS neustále roste. Očekává se, že v roce 2020 budou v provozu asi 3 miliardy přijímačů GNSS signálu [50]. Satelitní navigace se tak stává součástí každodenního života velkého počtu lidí. S neustále se zvyšující přesností, spolehlivostí a dostupností GNSS se stupňuje i využití v samotném civilním letectví (ať už jako budoucí systém přesného přístrojového přiblížení nebo traťová navigace). Napomáhá tomu také vývoj nových globálních a regionálních polohových satelitních systémů a také augmentačních (podpůrných) systémů.

Ve specifických podmínkách bezmotorového létání se různé GNSS aplikace uplatňují dnes již nezanedbatelným podílem. V současnosti se v podstatě nesetkáváme s pilotem, který by letěl traťový let a z navigačních pomůcek by měl na palubě pouze mapu a palubní kompas. Drtivá většina pilotů využívá přinejmenším záznamové zařízení. Mezinárodní federace leteckých sportů (FAI) ustanovila pro záležitosti bezmotorového létání Mezinárodní komisi pro bezmotorové létání (IGC). Tato spatřila potenciál GNSS a aktivně podporovala jeho zavedení do bezmotorového létání. Hlavní přínos IGC viděla v záznamu. Dříve byl při plachtařských závodech potřeba značný personál pro kontrolu průletu otočných bodů. Snaha o zjednodušení organizace a snížení organizační náročnosti světových šampionátů byl jeden z prvních impulzů pro vývoj GNSS záznamového zařízení. Po úspěšné implementaci GNSS záznamových zařízení komise začala vydávat technické požadavky pro tyto přístroje a nastavila proces schvalování. Došlo tedy k unifikaci těchto zařízení. IGC schválené letové zapisovače jsou využívány k většině traťových letů, ať už jako důkaz sportovního výkonu nebo jako záznam pro vyhodnocení letu. Mladí piloti, žáci i starší piloti však mnohdy netuší, co za krabičku si do letadla dávají. Mnoho mladých pilotů se postupem času dobere k základním znalostem o GNSS záznamových zařízeních a pokud mají štěstí na ochotného zkušenějšího pilota nebo instruktora naučí se přístroje ovládat i v pokročilejším měřítku. U starších pilotů ovšem může přetrvávat nechuť k moderním technologiím, tyto znalosti ani nechtějí a ti co zájem mají, se učí jen velice pomalu. V současnosti neexistuje předpis, který by počítal s praktickou výukou létání s GNSS přístroji (ať už záznamovými, navigačními nebo protisrážkovými). Dá se předpokládat, že se většina nových pilotů k těmto znalostem nakonec dobere. Dnes, kdy se sportovní výkony v drtivé většině případů uznávají pouze GNSS záznamovými zařízeními, je ovšem škoda, aby piloti museli spoléhat na dobrou vůli instruktorů tyto zařízení zahrnout do výcviku. Cílem práce je podat přehled o možnostech využití a aplikace GNSS v bezmotorovém létání, návrh osnov pro létání s těmito přístroji a zhodnocení jejich zavedení (včetně zmapování využívání přístrojů piloty v současné době).

2 GNSS

Globální satelitní polohové systémy neboli GNSS jsou systémy pro autonomní určování prostorové polohy pomocí satelitů s celosvětovým pokrytím. S GNSS můžeme malým elektronickým přijímačem určit jeho polohu pomocí signálů vysílaných ze satelitů. Kdokoliv, kdo má GNSS přijímač, může určit své polohové a časové informace kdekoliv na Zemi, ve dne i v noci a za jakéhokoliv počasí. GNSS se skládá ze tří částí (segmentů):

- Kosmický segment – satelity obíhající Zemi
- Řídící segment – monitorovací a řídicí stanice na Zemi
- Uživatelský segment – přijímače vlastněné uživateli

GNSS satelity vysílají signál z vesmíru, který je zachycen a identifikován přijímačem. Každý přijímač poskytuje informace o 3D poloze (zeměpisná šířka, délka a výška), přesném čase a další informace sloužící pro správnou funkčnost systému. V současné době jsou v provozu dva systémy dvou zemí:

- Global Positioning System (GPS) neboli Navigation Signal Timing and Raging Global Positioning System (NAVSTAR GPS) – Spojené státy americké
- Глобальная навигационная спутниковая система – v přepisu do latinky Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistema (GLONASS) – Ruská federace

Systém GPS byl vyvinut jako první. Byl plně funkční a dostupný po celém světě v roce 1994. V roce 2000 byla na příkaz prezidenta Clintona vypnuta selektivní dostupnost (ta úmyslně snižovala přesnost pro civilní uživatele). Systém GLONASS byl plně funkční v roce 1995. Ve špatné ekonomické situaci Ruska v devadesátých letech docházelo k úpadku kosmického segmentu systému. Obnova začala v roce 2001 a plné funkčnosti GLONASS znovu dosáhl v roce 2011.

Další systémy jsou momentálně ve fázi vývoje a uvedení do provozu:

- Galileo – Evropská unie
- BeiDou-2 neboli Compass – Čína

Galileo má v současné době ve vesmíru 14 satelitů (z 30 plánovaných do roku 2020) a Compass 21 (z 35 plánovaných do roku 2020) [38, 40, 43].

Existují také regionální polohové satelitní systémy (NSS). Principem fungování jsou shodné s GNSS, ale nemají globální pokrytí. Jedná se o:

- Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) – Japonsko
- Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS) jinak také Navigation with Indian Constellation (NAVIC) – Indie

QZSS má v současné chvíli aktivní pouze 1 satelit. Do roku 2018 Japonsko plánuje plný provoz systému se 4 satelity a po roce 2018 je v plánu celkem 7 satelitů [44]. IRNSS je momentálně plně funkční se 7 satelity ve vesmíru [45].

Další součástí GNSS jsou různé augmentační (podpůrné) systémy (kapitola 2.4):

- GBAS – Ground-Based Augmentation Systems (pozemní augmentační systémy)
- SBAS – Satellite-Based Augmentation Systems (satelitní augmentační systémy)
- ABAS – Aircraft-Based Augmentation Systems (palubní augmentační systémy)

GNSS a stejně tak i regionální NSS se neustále modernizují a vylepšují. I letitější systémy jako GPS a GLONASS nahrazují starší satelity novými. Přibývají tím funkce, využití a provázání jednotlivých GNSS. Například i pro takzvané aplikace „bezpečnosti života“ (safety of life) je dnes k dispozici vlastní přesný kód.

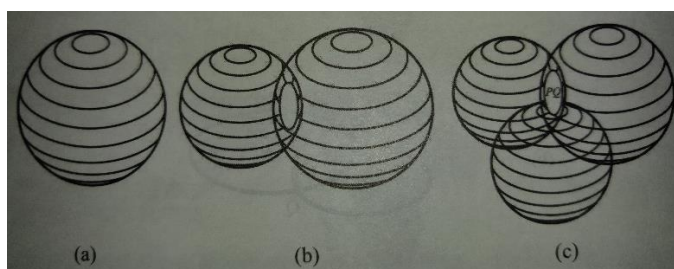
Účel této kapitoly je popsat základy GNSS, protože se celá práce zaměřuje na využití těchto systémů, nikoliv jejich komplexní problematiku. Některé body proto nejsou popsány podrobně.

2.1 Princip funkce

K určení polohy pomocí satelitních polohových systémů slouží dálkoměrná metoda. Měříme čas, za který dojde určitý signál z jednoho bodu do druhého. Vzhledem k tomu, že známe rychlost rádiového signálu, která je 299 792 458 m/s ve vakuu, můžeme určit vzdálenost oněch dvou bodů:

$$r = c \cdot \Delta\tau \quad (2.1)$$

Kde r je hledaná vzdálenost, c je rychlost světla ve vakuu a $\Delta\tau$ je změřené časové zpoždění signálu mezi dvěma body. Samozřejmě signál cestuje jinou rychlostí ve vakuu a jinou v atmosféře. O tomto problému se píše ve zvláštní kapitole (2.3).



Obrázek 1: princip určování polohy dálkoměrnou metodou ve 3D prostoru [38]

Satelity spolu se signálem vysílají i další informace, včetně těch o své poloze. Se znalostí kartézských souřadnic satelitů (x_i , y_i , z_i) můžeme zjistit vzdálenost přijímače od jednotlivých satelitů r_i . Poloha přijímače (x , y , z) se tedy bude rovnat průsečíku kulových ploch. K 2D určení polohy teoreticky postačí tři satelity. Jak je vidět na obrázku 1, pomocí tří satelitů získáme dvě možné polohy přijímače (P a Q).

Ty se ovšem velice liší. Přidáním čtvrtého satelitu (není na obrázku) dostaneme 3D polohu. Pravá geometrická vzdálenost R se vypočítá 3D trilateračním vzorcem:

$$R = c \cdot \Delta\tau = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} \quad (2.2)[38]$$

V GNSS se však počítá s takzvanou pseudovzdáleností. Pseudovzdálenost se tak nazývá, protože je zde zahrnuto velké množství chyb (včetně časových). Satelity GNSS mají vysoce přesné atomové hodiny (měří čas na základě resonance atomů), ty ale nemají přijímače. Rozdíl v čase satelitů a přijímače se řeší zavedením neznámé Δt , která značí chybu hodin přijímače od referenčního GNSS času. Z rovnice (2.2) tedy získáme obecný vzorec pro pseudovzdálenost p :

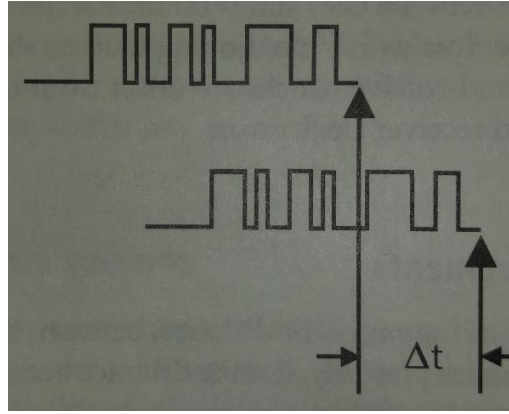
$$p = R + c \cdot \Delta t \quad (2.3)[38]$$

Pro každý satelit budeme mít jeden vzorec (2.3). Pro získání 3D polohy tedy minimálně potřebujeme vyřešit čtyři rovnice o čtyřech neznámých. Chyba hodin přijímače zdaleka není jediná chyba působící na systém. Výsledná rovnice pseudovzdálenosti musí započítat všechny chyby:

$$p = R + c(\Delta T - \Delta t) + d_p + c \cdot d_{ion} + c \cdot d_{trop} + \varepsilon_{mp} + \varepsilon_p \quad (2.4)[38]$$

kde je ΔT chyba hodin satelitu proti referenčnímu GNSS času, d_p chyba oběžné dráhy satelitu (efemeridu), d_{ion} ionosférické zpoždění, d_{trop} troposférické zpoždění, ε_{mp} chyba vícecestného šíření a ε_p chyba přijímače. Podrobněji se o těchto chybách píše v kapitole 2.3. Úkolem přijímačů je tedy matematicky najít řešení soustavy rovnic a určit tím přesnou polohu na referenčním elipsoidu (geodetickém standardu), která se skrývá pod proměnnou R (geometrickou vzdáleností) a tedy souřadnicemi. Čím více satelitů máme k dispozici, tím přesnější výpočty můžeme provést a zpřesnit tak i výslednou polohu.

Samotnou pseudovzdálenost měříme již zmiňovaným časovým rozdílem, po který zpráva cestuje mezi satelitem a přijímačem. Satelit vysílá určitý kód (tzv. PRN, více v kapitole 2.2.1), který přijímač přijme a porovná ho s replikou, kterou sám vytvořil (každý satelit má určený signál). Přijmutý a replikovaný signál se samozřejmě neshoduje právě o časový rozdíl cesty. Signály spolu takzvaně nekorelují (obrázek 2). Porovnáním signálů vytvořených ve stejném čase tedy může přijímač určit časové zpoždění polohového signálu a tedy i pseudovzdálenost. Pokud má přijímač k dispozici informace o přibližných polohách všech satelitů systému (takzvaný almanach, který je obsažen v navigační zprávě nebo stažený z internetu) může si připravit kusy kódu pro satelity, které očekává v dohledu. Touto autokorelační metodou se značně se tím sníží čas prvního zaměření (fixu). Jakmile je dosažena korelace přijmutého a replikovaného signálu je udržována korelačním kanálem GNSS přijímače. Říká se, že přijímač dosáhl „lock“ signálu (v překladu zamknutí nebo zajištění).



Obrázek 2: měření pseudovzdálenosti [47]

Pro výsledné zobrazení polohy se využívá výpočtová aproximační metoda nejmenších čtverců. Příjímače také musejí vyřešit Dopplerův posun (změna frekvence a vlnové délky přijímaného oproti vysílanému signálu při nenulové vzájemné rychlosti vysílače a přijímače). Například sesouhlasením oscilátoru přijímače s měnící se frekvencí vysílání. Měření Dopplerova posunu se mohou využít pro zjištění rychlosti přijímače.

Dále existuje možnost měření vzdálenosti pomocí fázového posunu nosné vlny. Tento způsob je složitější na zpracování přijímačem, ale mnohem přesnější (milimetry). Nosná vlna vysílá na mnohem větší frekvenci (přes 1 GHz) než samotný kód PRN (okolo 1 MHz). Pulsy se tedy nacházejí mnohem více u sebe a jsou přesnější. Jeho další popis je mimo rozsah práce.

2.2 Segmenty

Složení segmentů se liší pro jednotlivé systémy. Popis segmentů se nachází v jednotlivých podkapitolách. V tabulce 1 jsou uvedeny nejdůležitější údaje (ze dne 14.8.2016) pro systémy GPS, GLONASS, Galileo a Compass. Údaje však nejdou do podrobností, jako jsou frekvence jednotlivých nosných vln, frekvence vysílání a další. V podkapitolách budou uváděny příklady pro systém GPS, neboť byl první v provozu a je v současné době nejpoužívanější.

Parametry	GPS	GLONASS	Galileo	Compass
Oběžných drah	6	3	3	6
Satelitů (podle původního plánu) navržených + záložních (v závorce aktuální stav celkem - dočasně nefunkčních)	21+3 (31-2)	21+3 (27-4)	27+3 (14-5)	35 (5 z nich je geostacionárních ze staršího systému BeiDou-1) (21-x)
Inklinace oběžné dráhy	55°	64,8°	56°	55°

Nadmořská výška oběžných drah	20 200 km	19 100 km	23 222 km	21 150 km
Oběžná doba	11 h 57 min 58 s	11 h 15 min 44 s	11 h 4 min	12 h 37 min 34,45 s
Řídicí středisko	1 + 1 záložní	1	2	1
Monitorovací a řídicí stanice, pozemní antény a další	26	16	30	32
Četnost aktualizace dat efemerid	2 h	30 min	3 h	x
Multiplexování	CDMA	FDMA	CDMA	CDMA
Geodetický standard	WGS84	PZ90	GTRF	CGCS2000
Časový standard	UTC (USNO)	UTC (SU)	TAI (BIPM)	UTC (NTSC)
Kmitočtová pásma (kódy)	3 (L1, L2, L5)	3 (L1, L2, L3)+2 CDMA pro interoperabilitu s dalšími GNSS (L1CR, L5)	4+1 (E1 nebo L1, E5a, E5b, E6, L6)	6 (B1, B1-BOC, B1-2, B2, B3, L5)

Tabulka 1: porovnání systémů GPS, GLONASS, Galileo a Compass [38, 40, 41, 42, 46]

2.2.1 Kosmický segment

Kosmický segment GNSS skládající se ze satelitů na oběžné dráze, vysílajících rádiový signál, je srdce celého systému. Satelity se nacházejí na střední oběžné dráze (MEO). Přibližně tedy ve 20 000 km. Výška se samozřejmě liší pro jednotlivé systémy (tabulka 1). Tato výška umožňuje pokrytí velkých oblastí menším počtem satelitů. Ty jsou uspořádány tak, aby GNSS přijímač na zemi vždy mohl přijímat signál z nejméně 4 satelitů ve kterémkoliv čase. Satelity se pohybují rychlostí více než 13 000 km/h. Napájení zajišťují solární panely a baterie. Životnost jednotlivých satelitů se liší jak u jednotlivých systémů, tak i u jednotlivých generací satelitů. U starších je obvyklá předpokládaná životnost okolo 7,5 let a u nejnovějších se počítá s životností 15 let. Pro udržení satelitů na správné oběžné dráze jsou vybaveny malými raketovými motory. Satelity také rotují kolem své osy, aby vysílaný signál vždy směřoval směrem k Zemi.

Každý satelit nese minimálně tři vysoce přesné atomové hodiny a neustále vysílá rádiový signál s vlastním unikátním identifikačním kódem (aby se zamezilo zaměnění signálu více satelitů). To platí pro systémy používající kódový multiplex CDMA. Satelity systémů využívající frekvenční multiplex FDMA vysílají signál s unikátní frekvencí (což přináší potřebu širšího vysílacího pásma, aby

nedocházelo k interferencím mezi kanály), ale stejným kódem (protože nedochází k rušení vzhledem k jiné frekvenci). Jedná se o nízkoenergetické radiové signály na několika frekvencích v mikrovlnném spektru. Aby signál dorazil do přijímače, je nutná tzv. přímá viditelnost mezi přijímačem a satelitem. To znamená, že signál projde mraky, sklem, plasty, ale už ne přes pevné objekty, jako jsou budovy nebo třeba hory.

Každý signál systému využívající CDMA obsahuje pseudonáhodný šum (komplexní vzor digitálního kódu) neboli PRN (Pseudo Random Noise). Signál je natolik komplikovaný, že vypadá jako náhodný elektrický šum. Účelem PRN je umožnit výpočet času po který signál cestuje k přijímači a zamezit záměně za signál z jiné družice.

Signál (ať už CDMA nebo FDMA systému) obsahuje navigační zprávu. Ta má velice pomalý přenos dat (50 bit/s pro GPS a GLONASS). Poskytuje informace o čase, zdraví (stavu) satelitu a informace pro atmosférické opravy, data efemerid (velmi přesná poloha satelitu ve vesmíru) a almanach (přibližná data o ostatních satelitech systému). Tato data jsou nahrána řídicím segmentem systému.

Satelity vysílají na různých kmitočtech různé kódy, které mají rozdílné určení (civilní, vojenské, ochrana života) a přesnost nebo šifrování. GNSS Galileo také využívá čtyř druhů navigačních zpráv pro různé účely.



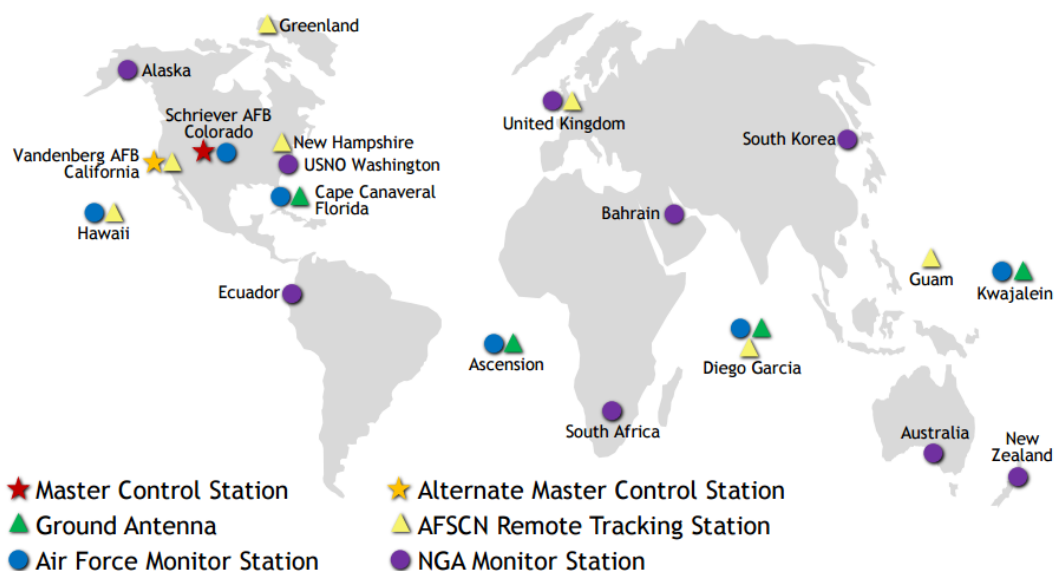
Obrázek 3: oběžné dráhy konstelace (zleva) GPS, Galileo a GLONASS [38]

2.2.2 Řídicí segment

Řídicí nebo také pozemní segment GNSS má za úkol, jak již název napovídá, kontrolovat a řídit satelity GNSS. Jedná se o hlavní řídicí středisko (nebo střediska), monitorovací a nahrávací stanice. Jejich hlavním posláním je:

- Monitorování satelitů
- Kontrola chyb hodin satelitů
- Definovat oběžné dráhy satelitů, jejich polohu, výšku, natočení a tedy předvídat efemeridy a almanach
- Vysílat data o opravách oběžných drah, hodin, data efemerid a almanach

Monitorovací stanice neustále sledují satelity a získané informace posílají hlavnímu řídicímu středisku. Zde jsou data zpracovány a odeslány do nahrávacích stanic, které je odešlou satelitům. Data jsou posílány alespoň jednou denně. Na obrázku 4 můžeme vidět příklad rozložení stanic řídicího segmentu (zde pro GPS). Z obrázku je patrná potřeba rozmístění stanic po celém světě. Monitorování a nahrávání nesmí být omezeno jen na satelity nacházející nad územím státu, který systém provozuje (to tolik neplatí například pro Rusko, neboť ze svého území zvládne pokrýt značnou část satelitů).



Obrázek 4: řídicí segment GPS [41]

2.2.3 Uživatelský segment

Uživatelským segmentem GNSS jsou přijímače. Obecně se skládají z antény (vestavěné nebo externí) naladěné na vysílací frekvence satelitů, procesoru a vysoce stabilních hodin (často krystalický oscilátor – založeno na piezoelektrickém jevu). Hodiny nejsou ale ani zdaleka tak přesné a stabilní jako atomové hodiny satelitů. Dále přijímač ve většině případů obsahuje také displej pro zobrazování informací o poloze a pro navigaci.

Důležitý parametr přijímačů je počet kanálů, na kterých může pracovat. To specifikuje, kolik satelitů najednou může přístroj využít. Původní přijímače měli limit čtyř až pěti kanálů. Toto číslo se časem zvyšovalo a dnes je standard (podle druhů přístroje) 12-48 kanálů (některé mohou mít i více). Přijímače zvládají využívat více systémů najednou, a proto se větší množství kanálů využije.

Hlavní úkoly přijímačů jsou:

- Vybrat satelity v dohledu
- Získat pasující signály a zhodnotit jejich správnost (zdraví)
- Provést měření rozdílu času odvysílání a přijmutí signálu

- Provést měření Dopplerova posunu
- Vypočítat svou polohu a odhadnout velikost chyby
- Vypočítat svou rychlost (ať už změnou polohy za čas nebo přesněji pomocí Dopplerovského posunu)
- Poskytovat přesný GNSS čas

U některých přístrojů, jejichž hlavním účelem není přijímání GNSS signálů a navigace, může být problém zjistit počet kanálů nebo kompatibilní GNSS a augmentační systémy. Například výrobci mobilních telefonů většinou podrobnosti neuvádějí, což je škoda, protože navigace je dnes již důležitou součástí těchto multifunkčních přístrojů.

2.3 Chyby a přesnost

Existuje několik faktorů ovlivňujících činnost GNSS a výběr systému uživateli:

- Přesnost na určité úrovni, když je použit vhodný hardware, software a operační procedury
- Dostupnost – úroveň, do které je systém dostupný pro všechny uživatele kdekoliv na světě a ve kteroukoliv denní dobu
- Kontinuita – stupeň, po který je průběžně udržována určitá úroveň přesnosti
- Spolehlivost systému a výsledků – podpořeno určitou reprodukovatelností přesnosti
- Integrita – schopnost monitorovat činnost systému a upozornit uživatele, když přesnost klesne pod určitou úroveň.
- Cena a konkurenční technologie

Přesnost je pravděpodobně nejdůležitějším faktorem pro většinu civilních uživatelů.

Přesnost ovlivňují chyby, které už byly naznačeny ve vzorci (2.4). Tyto chyby se nazývají UERE neboli ekvivalentní chyba vzdálenosti přijímače. Celková UERE se vyjadřuje jako:

$$UERE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (UERE_i)^2} \quad (2.5)[38]$$

Tedy jako odmocněná suma druhé mocniny všech jednotlivých UERE. Dále jsou vypsány jednotlivé chyby s krátkým popisem a příkladem přibližné hodnoty chyby (pro kód P systému GPS podle [38]):

- Chyba hodin – rozdíl časových údajů satelitu od referenčního času systému, patří sem také relativistický efekt na hodiny (čas běží pomaleji v silnějším gravitačním poli a při pohybu velkou rychlostí, první efekt je pro satelity významnější a jejich hodiny jsou tedy o něco málo rychlejší než ty na Zemi) – 3,0 m
- Šum přijímače – chyba zahrnuje anténu přijímače, metodou použitou pro konverzi signálu, korelační proces a další – 0,2 m

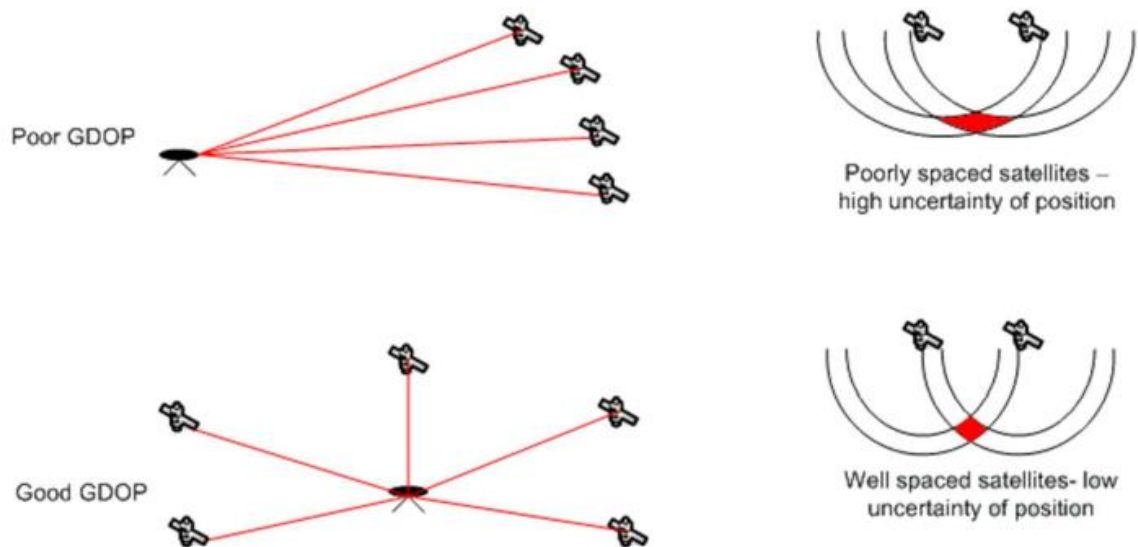
- Ionosférické zpoždění – průchodem ionosférou (50-1000 km nad zemí) se signál zpomalí (už se nepohybuje ve vakuu) a také mírně změni jeho směr difrakcí (ohybem) a refrakcí (lomem). Míra účinku ionosféry na signál se mění s měnícími se vlastnostmi samotné ionosféry v průběhu dne. Hlavním parametrem je elektronová hustota. Nejmenší zpoždění signálu vzniká mezi půlnocí a brzkým ránem a maximální je okolo poledne. Účinek této značné chyby se dá snížit použitím ionosférických modelů obsažených v navigační zprávě. – 2,3 m
- Troposférické zpoždění – nejnižší část atmosféry (výška se mění od 7 do 14 km) v níž také žijeme. Troposféra je nedispersní médium pro frekvence pod 30 GHz (tam také spadá signál ze všech GNSS). Vzniká zde tedy pouze chyba refrakcí (která závisí na teplotě, tlaku a vlhkosti) a zpomalením signálu ve vzduchu. – 2,0 m
- Vícecestné šíření – vzniká v případě, že se signál odrazí od nějaké překážky (budovy, hory) než ho detekuje anténa. Je možné zmenšit chybu různými metodami přímo v přijímačích. Přijímače se snaží rozlišit zpožděný signál od původního. Nejúčinnější obrana proti této chybě je umístění antény mimo dosah reflektivních povrchů. – 1,2 m
- Chyba efemerid – satelit se může dostat mimo svou oběžnou dráhu působením slunečního větru a měnícím se gravitačním silám. Jakmile k takovéto změně dojde v mezeře mezi časy aktualizací dat efemerid, tak se vytvoří tato chyba. – 4,2 m
- Další chyby všech segmentů – 2,9 m

Celková chyba UERE by v tomto příkladu a s použitím vzorce (2.5) byla asi 6,8 m.

Druhou složkou výsledné chyby (a tedy přesnosti) je tzv. činitel zhoršení přesnosti DOP. Jedná se o nejistotu způsobenou rozložením užívaných satelitů. Pokud jsou satelity rozmístěny rovnoměrně, tak dostáváme nejmenší hodnotu DOP, pokud ale například „vidíme“ satelity jen v úzkém kuželu (mezi budovami, v údolí mezi horami), tak bude DOP vysoký. DOP se dělí na:

- GDOP – Geometrický DOP
 - PDOP – Poziční DOP
 - HDOP – Horizontální DOP
 - VDOP – Vertikální DOP
 - TDOP – Časový DOP

Na obrázku 5 můžeme vidět jednoduché znázornění GDOP. V horní levé části je vidět špatné postavení satelitů a tedy vysoké (a špatné) GDOP. Důsledek je vidět v pravé části. Červené pole zobrazuje nejistotu pozice, která je v horním případě (oproti dobrému GDOP v dolním) značně vyšší.



Obrázek 5: znázornění GDOP ve 2D [48] (upraveno)

Výsledná nejistota polohy bude součin GDOP a UERE.

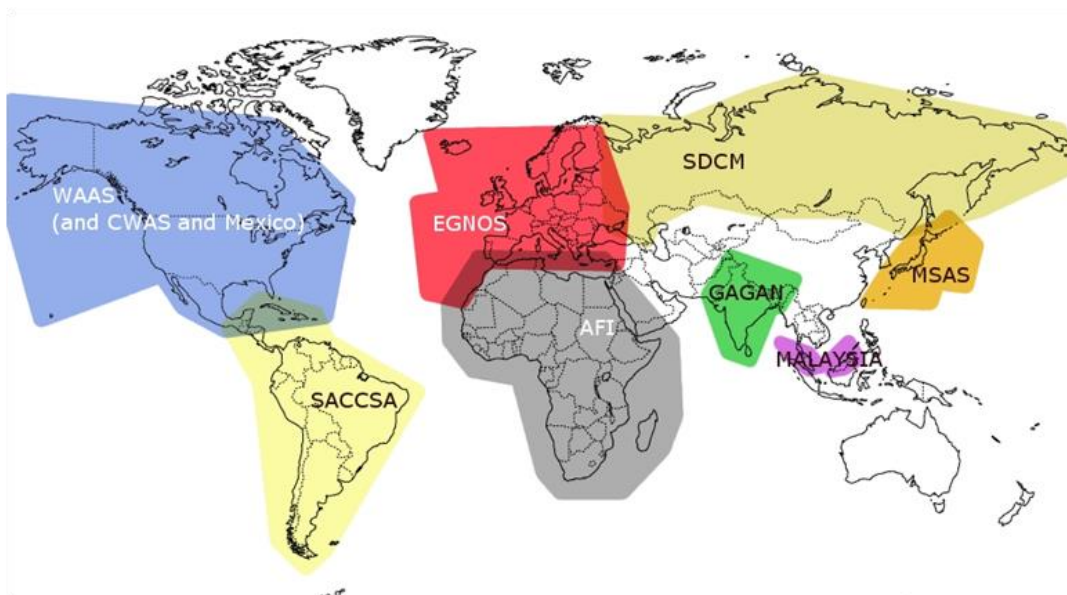
$$\sigma = GDOP \cdot \sigma_{UERE} \quad (2.6)[38]$$

2.4 Augmentační systémy

Podpůrné neboli augmentační systémy slouží k vylepšení funkcí a vlastností GNSS vyšší přesností, integritou a mnohdy i dostupností. Jak již bylo zmíněno v začátku kapitoly, tyto systémy se dělí na GBAS, SBAS a ABAS.

Pozemní augmentační systémy neboli GBAS využívají jednu nebo více pozemních stanic, které přesně znají svou polohu. Tyto stanice přijímají GNSS signál od satelitů stejně jako přijímače uživatelů. Vzhledem k tomu, že znají svou polohu, jsou schopny určit opravy pro chyby v jejich oblasti a odvíjet je uživatelům v dosahu. Takový systém augmentace se všeobecně nazývá diferenciální GNSS (DGNSS) a jeho podstata je využita i u systémů SBAS. GBAS mají lokální a regionální pokrytí. Všeobecně se GBAS považují za lokální a podporují přijímače v okruhu několika desítek kilometrů. Vysílají na VHF a UHF frekvencích. GBAS bude v budoucnu sloužit k přesnému přístrojovému přiblížení.

Satelitní augmentační systémy (SBAS) poskytují augmentaci velkým oblastem pomocí dalších satelitů vysílaných zpráv. Skládají se z desítek pozemních referenčních stanic, které opět znají svou přesnou polohu a přijímají signál z GNSS satelitů. Signál je vyhodnocen a zpracován. Systém poté vyšle zprávu o integritě a korekční data (chyby hodin, efemerid a ionosférické korekce) geostacionárním satelitům, které je zase vysílají přijímačům jednotlivých uživatelů. SBAS je tudíž stejně jako GBAS založen na DGNSS. SBAS byly důležité zejména v době zapnuté selektivní dostupnosti systému GPS, kdy se přesnost pro civilní uživatele mohla pohybovat okolo 100 m.



Obrázek 6: pokrytí systémy SBAS ve světě [46]

Palubní augmentační systémy neboli ABAS slouží k zajištění integrity systému. Včas uživatele varuje, pokud dojde k poruše na kterémkoliv segmentu GNSS. Použití chybných informací z disfunkčních částí systému by mohlo vést k zobrazení zavádějících nebo dokonce chybných informací. To by mohlo, zejména v letectví, vést k nehodě. Informace o integritě systémů jsou částí navigační zprávy samotných GNSS, ale ty pro některé aplikace nemusejí být dostatečné. ABAS autonomní monitorování integrity přijímače (RAIM) využívá algoritmus, který vystavuje polohová data testu konsistence. Potřebuje viditelnost alespoň pěti satelitů. Vytvoří pět skupin po čtyřech, porovná získané pozice (minimálně čtyři satelity jsou potřeba k určení polohy) a pokud nějaká kombinace udává značně rozdílnou polohu, může varovat uživatele. Při šesti a více satelitech dokáže chybný satelit identifikovat a vyřadit z výpočtů. Systém autonomního monitorování integrity v letadle (AAIM) využívá jak metodu RAIM, tak i další palubní zdroje jako jsou data z výškoměru, informace z pozemních navigačních systémů (DME, VOR) a inerciální navigaci. Nabízí i spolehlivější a přesnější určení polohy než by mohla poskytnout samotná data GNSS.

3 Možnosti využití GNSS v bezmotorovém létání

GNSS přístroje mají v bezmotorovém létání široké využití, které se netýká pouze navigace. Některé přístroje a programy mohou tyto způsoby využití GNSS kombinovat a zvládají více funkcí. U všech možností využití GNSS přístrojů existuje nebezpečí upínání přílišné pozornosti na něj. Mohou z toho vznikat při nejmenším nepříjemné situace a při nejhorším smrtelné nehody. Je proto nanejvýš vhodné, aby pilot byl před prvním použitím jakéhokoliv přístroje, který odebírá pozornost od sledování okolí, poučen o vhodném rozdělení pozornosti. Měli by to být FI(S). Ti ale dosud nemají takovou povinnost (více v kapitole 5). Při správném zacházení tyto přístroje ulehčí práci, ale při špatném ji mnoho přidělají. O jednotlivých možnostech pojednávají následující podkapitoly.

3.1 Záznam

Zařízení zaznamenávající polohu a výšku celého letu pomocí přesné polohy GNSS přijímačů jsou v bezmotorovém létání nejpoužívanější GNSS přístroje vůbec. Tento záznam piloti využívají pro:

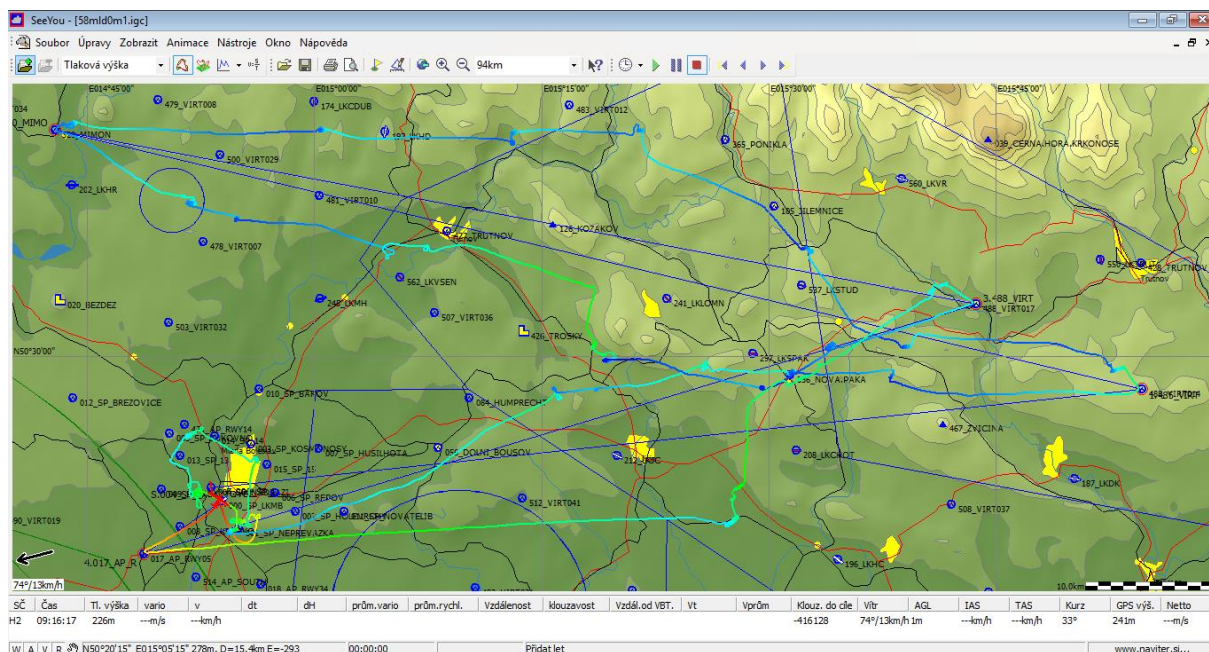
- vyhodnocení letu a poučení se z taktických a dalších chyb, kterých se mohli dopustit
- záznam pro dokládání sportovních výkonů
 - přihlášení letu do online soutěží typu CPS a OLC
 - doložení a kontrola letu na soutěžích (závodech)
 - důkaz o letu k získání odznaku nebo diplomu FAI

Aby bylo možné let podle pravidel bodovat, uznat nebo vyhodnocovat je potřeba před letem v přístroji vytvořit nebo do něj nahrát deklaraci plánovaného letu. Jedná se pouze o předletové údaje o pilotovi, letadlu a trati k danému plachtařskému výkonu.

3.1.1 Vyhodnocení letu

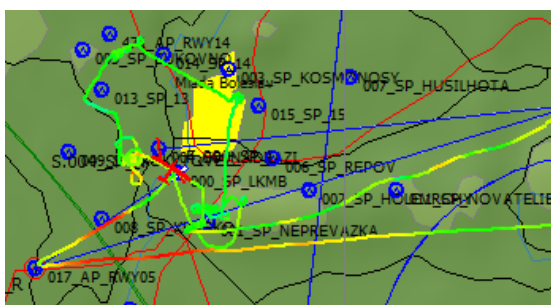
Většina pilotů a především pak ti, kteří se chtějí dále zlepšovat, své lety po přistání vyhodnocují. Nejhlouběji se vyhodnocování letů věnují aktivní závodníci. Z GNSS záznamů je možné získat velké množství informací. Samotný .igc nebo jiný záznamový soubor nám ale mnoho neřekne. Jak je rozepsáno v kapitole 3.1.2.1, jedná se pouze o seznam fixů s přesnou polohou, tlakovou výškou (u přístrojů vybavených i barometrických výškoměrem) a GNSS výškou. K tomuto účelu slouží specializované programy. O jednotlivých typech programů se píše v kapitole 4. Abychom převedli jiný záznamový soubor (například z COTS) na .igc formát, musíme použít některý validační program (dostupné jsou i zdarma online). Pilot po letu může chtít vědět informace, které popisují v následujících odstavcích.

Trať letu na mapovém podkladu s možností nastavení barvy čáry letu podle požadovaných informací. Tyto informace mohou být například výška letu, vertikální rychlost a rychlost vůči zemi. Dále je užitečné vložit do mapy let dalších pilotů (pokud pilot neletěl trať sám) a spustit synchronizovanou animaci více letů současně. Kromě postupně se kreslících barevných čar letů jsou užitečné i informace o aktuálním stavu již zmíněných veličin. Dají se tak porovnat například hodnoty vertikální rychlosti v rozdílných stoupavých proudech, pod které se každý pilot rozhodl letět. Toto umožní pilotům zpětně kriticky zhodnotit taktická rozhodnutí prováděná za letu.

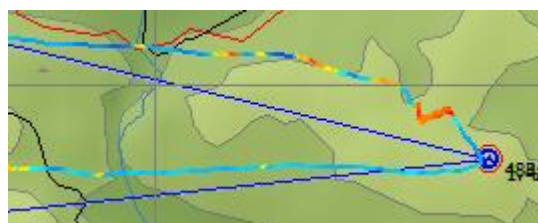


Obrázek 7: výška a trať letu zobrazená na mapovém podkladu v programu SeeYou

Na obrázku 7 je patrná původní deklarace traťového letu (tmavě modré čáry mezi zvýrazněnými otočnými body). Dále zde můžeme vidět skutečnou trať a její výšku odlišenou barevnou stupnicí (od nejnižší červené po tmavě modrou nejvyšší). Je zde patrné kroužení k nabrání výšky i přeskoky mezi stoupavými proudy (podle aktuálních podmínek co nejrychlejší a nejefektivnější rovný let k dalšímu předpokládanému stoupavému proudu).

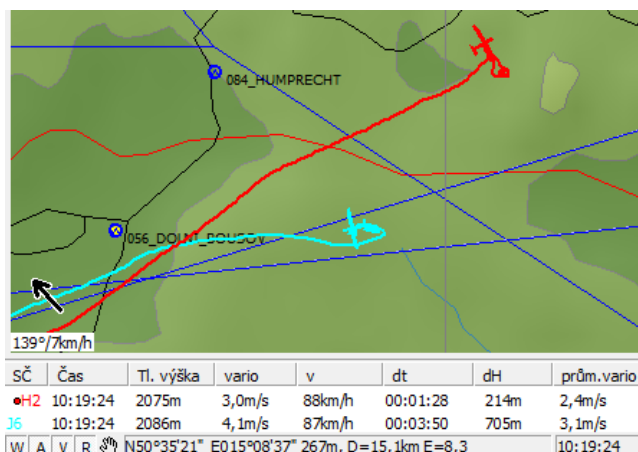


Obrázek 8: detail traťové rychlosti letu zobrazené na mapovém podkladu v programu SeeYou



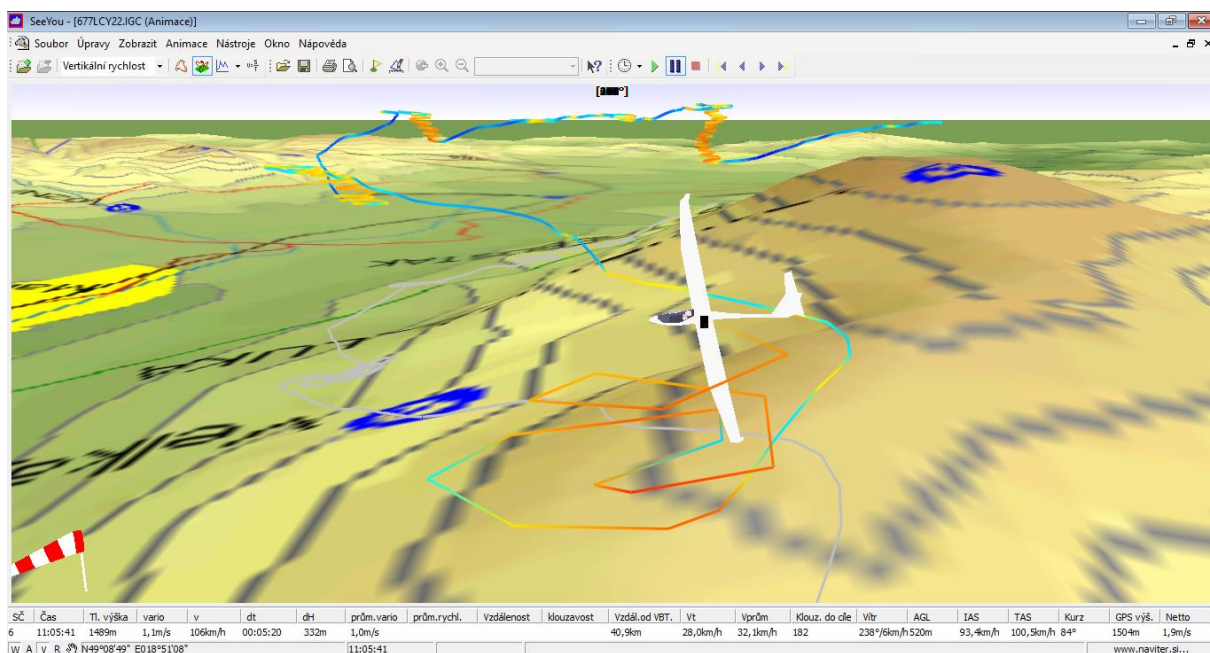
Obrázek 9: detail vertikální rychlosti letu zobrazené na mapovém podkladu v programu SeeYou

Obrázek 8 může být použit k vyhodnocení dokluzu (závěrečná fáze letu, kdy pilot již nekrouží ve stoupavých prouděch, ale snaží se co nejrychleji a nejefektivněji doletět do cíle). Spolu s dalšími informacemi se z obrázku dá vyčíst, že pilot začal zrychlovat poměrně pozdě a poté se snažil přebytečnou výšku co nejagresivněji vyměnit za rychlost. Na obrázku 9 je pak dobře patrné i stoupání mimo kroužení.



Obrázek 10: detail zobrazení dvou letů na mapovém podkladu v programu SeeYou

Užitečná je také možnost prohlédnout si svůj let (případně i spolu s dalšími lety) ve 3D animaci. Opět je výhodná funkce kreslení čáry letu v různých barvách v závislosti na výšce, vertikální rychlosti nebo traťové rychlosti. Pilot se tak může znovu vžít do situace za letu mnohem lépe než z pouhého 2D modelu.



Obrázek 11: 3D trať letu s vertikální rychlostí zobrazená v programu SeeYou

Jak je vidět na obrázku 11, 3D animace je zvláště užitečná v horském terénu. Program je schopen vypočítat směr a rychlost větru i bez hodnot dynamického tlaku a to pomocí driftu (posunu vlivem větru) při ustáleném kroužení ve stoupavých proudech. Po zhlédnutí záznamu z obrázku může pilot dojít k závěru, že učinil nesprávné rozhodnutí, když letěl po závětrné straně svahu. Stoupavé proudy tam byly rozbité a průlet celou oblastí trval nepřiměřeně dlouhou dobu. Kdybychom ještě připojili záznam pilota, který letěl stejnou trať po návětrné straně svahu, uvidíme značný rozdíl ve stoupavých proudech i celkové rychlosti průletu. Jsou to zásadní věci, které si pilot snáze uvědomí a ujasní právě s pomocí analýzy záznamu. 3D záznam je také velice vhodný ke kontrole kroužení. Při zobrazování vertikální rychlosti můžeme vidět, jestli například pilot netočil stoupavý proud mimo jeho jádro (a tedy neefektivně). Na záznamu by například byla vidět půlka otočky modrou barvou (klesání) a půlka oranžovou až červenou (stoupání).

Další užitečné statistiky letu jsou údaje o kroužení. Programy umí rozlišit takzvané pokusy od samotného kroužení ve stoupavém proudu. Za pokus se dá označit kroužení kratší než 45 sekund. Zjistíme zde například, že jsme pokusy ztratili 5 minut, nastoupali 180 metrů a naopak vyklesali 260m. Pilot se z takovýchto údajů může poučit pro příští lety a soustředit se na to, aby nereagoval na tolik slabších stoupavých proudů kroužením, protože se to nevyplatí. Informace o tom, jestli pilot točí více pravé nebo levé zatačky jsou pak spíše už navíc. Ale fakta, že pilot kroužil ze 4 hodinového letu celkem 1 hodinu a 27 minut, nastoupal při tom 9700m a vyklesal 430 metrů ve 33 stoupácích už užitečné jsou.

Informace o směru a rychlosti větru v různých výškách jsou také už spíše pro zajímavost a zpětné porovnání odhadu pilota s realitou.

Pokud pilota zajímá jeden určitý stoupavý proud nebo přeskok, přijde mu vhod statistika fází celého letu seřazená podle zvolených parametrů, jak můžeme vidět na obrázku 12.

Fáze	Začátek /	Konec	Doba letu	Počáteční v.	Konečná v.	dH	prům.vario	Netto	prům.rychl.	Prům.IAS	dVzdál.	Klouzavost
Klouzání (Vlek)	09:21:59	09:26:08	00:04:09	226m	910m	684m	2,7m/s	3,5m/s	109km/h	112km/h	7,5km	-11,0
Klouzání	09:26:08	09:26:48	00:00:40	910m	929m	19m	0,5m/s	1,4m/s	99km/h	85km/h	1,1km	-58
Kroužení - Doprava	09:26:44	09:32:52	00:06:08	923m	1647m	724m	2,0m/s	2,9m/s	84km/h	84km/h		
Klouzání	09:32:48	09:37:48	00:05:00	1641m	1581m	-60m	-0,2m/s	0,8m/s	85km/h	85km/h	7,0km	117
Kroužení - Smišené	09:37:44	09:39:57	00:02:13	1569m	1835m	266m	2,0m/s	3,0m/s	83km/h	83km/h		
Klouzání	09:39:53	09:43:40	00:03:47	1833m	1716m	-117m	-0,5m/s	0,4m/s	97km/h	85km/h	6,1km	52
Kroužení - Doleva	09:43:36	09:46:36	00:03:00	1712m	1936m	224m	1,2m/s	2,2m/s	87km/h	87km/h		
Klouzání	09:46:32	09:53:59	00:07:27	1933m	1490m	-443m	-1,0m/s	-0,2m/s	103km/h	96km/h	12,8km	29
Kroužení - Doprava	09:53:57	09:55:06	00:01:09	1490m	1283m	-207m	-3,0m/s	-2,3m/s	114km/h	114km/h		
Klouzání	09:55:03	09:57:32	00:02:29	1307m	1130m	-177m	-1,2m/s	-0,4m/s	118km/h	118km/h	4,9km	28
Kroužení - Doleva	09:57:28	10:01:52	00:04:24	1116m	2135m	1019m	3,9m/s	4,8m/s	87km/h	87km/h		
Klouzání	10:01:48	10:17:16	00:15:28	2135m	1727m	-408m	-0,4m/s	0,3m/s	109km/h	105km/h	28,2km	69
Kroužení - Doprava	10:17:12	10:19:04	00:01:52	1712m	1999m	287m	2,6m/s	3,5m/s	89km/h	89km/h		

Obrázek 12: část statistik fází letu zobrazených v programu SeeYou

Pilot, který se chce dále co nejefektivněji zlepšovat, najde ve všech těchto údajích, zobrazeních a animacích nepostradatelné poznatky. Placené programy pro vyhodnocení letu většinou mají i funkci deklarace trati.

3.1.2 Záznam pro dokládání sportovních výkonů

Piloti mohou záznam využít k přihlášení letu do online soutěží typu OLC a CPS, k doložení správně uletěného soutěžního letu na vyhlášených závodech nebo jako důkaz pro získání FAI odznaků, diplomů a rekordů následujících druhů (pod jednotlivými druhy je výčet podmínek k jejich získání):

- stříbrný odznak
 - a. přímá vzdálenost 50 km
 - b. čas letu 5 hodin
 - c. zisk výšky 1000 m
- zlatý odznak
 - a. vzdálenost 300 km
 - b. čas letu 5 hodin
 - c. zisk výšky 3000 m
- diamantový odznak (3 diamanty, které se po jednom mohou přidat na zlatý nebo stříbrný odznak)
 - a. vzdálenost 300 km návratovou tratí (jeden otočný bod) nebo trojúhelníkovou tratí
 - b. vzdálenost 500 km
 - c. zisk výšky 5000 m
- vzdálenostní diplomy
 - a. vzdálenost 750 km a za každých dalších 250 km další diplom
- rekordy (zvlášť pro muže, ženy a jednotlivé druhy kluzáků)
 - vzdálenostní (zvlášť pro jednotlivé druhy tratí, popsáno ve sportovním řádu FAI)
 - rychlostní
 - návratová trať
 - a. vzdálenost 500 km nebo násobky
 - trojúhelníková trať
 - a. vzdálenost 100, 300, 500, 750, 1250 km nebo násobky 500 km
 - výškové
 - zisk výšky
 - absolutní (maximální) výška
 - a. minimální výška nad výškou vzletu 5000 m



Obrázek 13: FAI odznaky a diplom [16]

Podmínky pro jednotlivé odznaky, diplomy a rekordy, stejně jako pro ostatní plachtařské sportovní výkony, se řídí sportovním řádem FAI sekce 3 [16]. Základem pro uznání většiny plachtařských výkonů je platná deklarace s minimálně výchozím bodem trati (neplatí například pro časové rekordy).

GNSS záznam z letu můžeme získat z několika druhů zařízení. Jsou to:

- COTS
- Poziční zapisovače (PR)
- Letové zapisovače (FR)

Všechny záznamy musejí používat geodetický standard WGS84. Vzhledem k rozdílu GNSS výšky a tlakové výšky, při použití tohoto standardu, nemůže být GNSS výška použita k výpočtům pro rekordy (u PR platí speciální pravidlo, více v kapitole 3.1.2.1). Může být ale použita jako důkaz nepřerušnosti letu pokud tlakový senzor selže.

Záznamy z COTS jsou obvykle využívány pouze k analýze letu. Nicméně za určitých podmínek mohou sloužit i jako doklad plachtařského výkonu (nikoliv však pro rekordy, odznaky a diplomy FAI) na soutěžích typu OLC a CPS. Musejí mít platný G záznam (více v kapitole 3.1.2.1), na palubě musí být funkční barograf, který doloží nepřetržitost letu nepřerušným barografickým záznamem, a let musí potvrdit pověřená osoba. Pověřená osoba je oficiální pozorovatel (OO) s platnou kvalifikací rozhodčího 1. nebo 2. třídy.

3.1.2.1 Datový formát IGC

Formát .igc je ve své podstatě podobný všem ostatním GNSS záznamovým formátům. Jde o „kontejner“ ASCII textu série časově označených fixů polohy a výšky, případně jiných informací na řádek.

Informace v této i dalších kapitolách se týkají současných IGC standardů. Jak je ale popsáno v kapitole 3.1.2.3, tak existují různé stupně IGC schválených FR a ty na nižším stupni již těmto standardům nemusejí odpovídat.

Každý řádek (záznam) začíná určitým písmenem, které určuje jeho povahu a informace v něm obsažené. Nutné náležitosti každého záznamu můžeme najít v IGC požadavcích pro FR [10]. Druhy záznamů jsou:

- A – výrobce FR (povinný), identifikace souboru a další (volitelný)
- B – fix (povinný)
- C – úloha/deklarace
- D – diferenciální GNSS v užití
- E – event (PEV, LOV)
- F – GNSS konstelace v užití (povinný)
- G – bezpečnostní součet (povinný)
- H – hlava souboru s různými informacemi (povinný)
- I – seznam rozšíření ke standardnímu záznamu B (povinný – FXA, ENL nebo MOP)
- J – seznam rozšíření v každém K záznamu
- K – rozšiřující data
- L – záznamník/komentáře
- M, N, ... – náhradní

Následuje příklad .igc souboru z letového zapisovače LX Navigation Colibri. Jedná se o starší a již nevyroběný kus, je ale rozšířen především po aeroklubech. Kurzívou je vysvětlení k zásadním řádkům souboru. Za vysvětlením, také v kurzívě, je hodnota. Mezery mezi jednotlivými řádky v původním souboru pochopitelně také nejsou.

ALXNCY2FLIGHT:2 *kód výrobce (LXN), identifikace souboru (CY2) a číslo letu dne (Flight:2)*
HFDTE070716 *UTC datum letu (7.7.2016)*
HFFXA100 *typická přesnost GNSS v metrech (100m)*
HFPLTPILOT:Tomáš.Kubáč *jméno pilota (Tomáš Kubáč)*
HFGTYGLIDERTYPE:VSO-10 *typ kluzáku (VSO-10)*
HFGIDGLIDERID:OK-5634 *registrační značka kluzáku (OK-5634)*
HFDTM100DATUM:WGS-1984 *GNSS datum (100) značí použitý model země (WGS84)*
HFRFWFIRMWAREVERSION:4.2 *verze firmwaru zařízení (4.2)*
HFRHWHARDWAREVERSION:3.0 *verze hardwaru zařízení (3.0)*
HFFTYFRTYPE:LXNAVIGATION,COLIBRI *verze/název zařízení (LXNAVIGATION,COLIBRI)*
HFGPSGPS:U-BLOX/TIM-LP,16,max9000m *název GNSS přijímače uvnitř zařízení (U-BLOX/TIM-LP,16) a maximální výška, pro kterou je přijímač certifikován (9000 m)*
HFPRSPRESSALTSENSOR:INTERSEMA,MS5534A,max8000m *název tlakového senzoru uvnitř zařízení (INTERSEMA,MS5534A) a maximální výška, pro kterou je senzor certifikován*
HFCIDCOMPETITIONID:6 *startovní číslo letadla na svislé ocasní ploše (6)*
HFCCLCOMPETITIONCLASS:Klub *sportovní třída kluzáku (klub)*
I023638FXA3941ENL *udává, že v záznamech B jsou 2 rozšíření a to FXA (přesnost fixu) na 36 až 38 místě a ENL (hluk motoru) na 39 až 41 místě*
C070716090244070716000102 *všechny následující řádky se záznamem C obsahují deklaraci letu. První řádek*
C4845967N01835200E089LZPE *udává datum a čas deklarace (7.7.2016, 9:02:44), datum, kdy má pilot*
C4845967N01835200E089LZPE *v plánu let letět (7.7.2016), referenční číslo deklarace (01) a počet otočných*
C4922017N01929483E117ORAVA *bodů (2)*
C4820567N01806300E190ZOBOR *všechny další řádky jsou ve formátu: souřadnice a jméno bodu*
C4845967N01835200E089LZPE
C4845967N01835200E089LZPE
LLXNSEC0001A12044270A1045000A2000000R103000R200000 *všechny následující řádky se záznamem L, jsou poznámky výrobce*
... *zde jsem vynechal další podobné záznamy (stejný smysl mají i ostatní tečky níže)*

LLXNSEC0304A12216803A1045000A200000R103000R200000
LLXNORIGIN0916124846218N01835469E
LCUConversion-DLL-Jun 5 2007
B0916124846218N01835469EA0020200261000000
...
B0917424846220N01835469EA0020100261000000
B0917544846218N01835466EA0020200261000072
LLXNORIGIN0916124846218N01835469E
LLXNORIGIN0918174846192N01835436E
B0918184845988N01835204EA0021200269000107
B0918204845956N01835169EA0021500271000138
...

všechny následující záznamy B jsou fix ve formátu: čas (9:16:12), souřadnice, status GNSS (A – 3D fix, V – 2D fix), 5 čísel pro GNSS výšku (202 m), 5 čísel pro tlakovou výšku (261 m), tři čísla pro přesnost (chybu) fixu (0 m) a tři čísla pro hodnotu hluku motoru ENL (0) (více o ENL v podkapitole o FR)

G1000C6D1CA8F0621DF6A5BD70A22F6C21238E09ACD465AD2E914F

bezpečnostní součet – bezpečnostní/digitální podpis, udává, jestli data v igc souboru odpovídají datům původně nahraným ve FR

Data v .igc souboru moderního nového zapisovače se budou samozřejmě lišit a to především v množství použitých nepovinných záznamů. Tento krátký příklad však pro účely práce a základní představu o formátu .igc stačí.

Zdroj časových dat je GNSS (ten má z principu nej přesnější možný čas k dispozici). Je zaznamenáván v UTC a musí být ze stejných dat, jako k nim patřící souřadnice fixu. Pokud není GNSS fix, tak je čas brán z RTC v samotném záznamovém zařízení.

Záznamy B se mohou zaznamenávat buď ihned po zapnutí zařízení. Další možností je ustavení referenční pozice (20 validních fixů) a k zapisování dojde až po pohybu (doporučeno je 15 km/h) nebo změně tlakové výšky (1 m/s po dobu 5 s). Tento postup zmenší celkový počet fixů v souboru a sníží tak jeho velikost. Referenční pozice je potřeba i k správné detekci vzletu. Základní požadovaná hodnota intervalu fixů je 60 s (s dalšími podmínkami pro FR). Záznam může být ukončen pokud: nebyl detekován horizontální ani vertikální pohyb po dobu 10 minut (10 minut kvůli případnému statickému letu ve vlně nebo na svahu), nebo je zařízení vypnuto úmyslným jednáním, nebo zařízení za letu ztratí napájení po více než 5 minut (tolerance pro výměnu napájecí baterie za letu), nebo je učiněn pokus ke stažení souboru letu (a napájení je nepřerušeno). Celý .igc soubor je vytvořen až při stahování dat ze zařízení. G záznam je tedy také vytvořen až v tu chvíli.

Bezpečnost je hlavní důvod schvalování FR. Zajišťuje jí již více zmiňovaný digitální podpis (DS). Hodnota hashovacího algoritmu (MD) je v podstatě obsah .igc souboru a reprezentuje obraz celého souboru. MD je zašifrováno pomocí soukromého klíče (každý FR má alespoň jeden soukromý klíč, který zná jen několik registrovaných lidí ze strany výrobce, IGC a GFAC pod smlouvou o mlčenlivosti) a stává se tím DS, který je přidán do souboru staženého z FR do PC v podobě G záznamu. Samotná letová data tak nejsou šifrována. MD je generován pomocí hashovacího algoritmu z rodiny SHA-256 nebo SHA-512 nebo jiným systémem schváleným GFAC. Musí být zajištěna nedosažitelnost bezpečnostních algoritmů rozebráním FR. Nároky na algoritmy se zvyšují s úrovní IGC schválení přístroje. Ke kontrole validity souboru slouží veřejné klíče. Výrobce je musí dodat v DLL souboru

GFAC. Klíče jsou poté zveřejněny na webových stránkách IGC. K zašifrování .igc souboru může sloužit více než jeden soukromý klíč a tedy více než jeden G záznam. Vzhledem k rychle se vyvíjející výpočetní technice se algoritmy založené právě na veřejném klíči stanou méně bezpečné. Mělo by se tedy očekávat, že se budou zvyšovat nároky na SHA algoritmy, zvláště pak pro nejvyšší stupeň IGC schválení. Další (fyzické) bezpečnostní a jiné podmínky pro FR jsou zmíněny v kapitole 3.1.2.3.

3.1.2.2 Poziční zapisovače

PR je samostatný GNSS zapisovač, jehož záznam může být použit pod pravidly IGC pro validaci stříbrných a zlatých odznaků FAI.

Jedná se o kategorii zapisovačů pod IGC schválenými FR. Nemají všechny funkce jako FR, také nesplňují bezpečnostní standardy FR a nejsou schvalovány IGC. PR schvalují jednotliví NAC. Musí zkontrolovat dodržení sportovního řádu IGC. Hlavním poradcem IGC v záležitostech GNSS záznamových zařízení je GFAC, jemuž NAC také posílají návrhy schvalovacích dokumentů k PR. Po schválení jsou dokumenty umístěny na webové stránky IGC.

Pokud PR není schopen zaznamenávat tlakovou výšku, jako důkaz postačí GNSS výška. Musí se ale aplikovat 100 metrová rezerva. Pokud například chceme uletět převýšení 1000 m na stříbrný odznak, zisk výšky musí být 1100 metrů.

Některé PR mohou disponovat funkcí předvídání dalších fixů. Tato funkce musí být před vzletem vypnuta a zkontrolována od OO. Minimální frekvence fixů je 1 za minutu. U PR nejsou pro frekvenci fixů žádné další podmínky (na rozdíl od FR). Deklarace je zde platná pouze psaná (ať už na papíře nebo v elektronické podobě) a obsahující všechny náležitosti dané sportovním řádem. Pokud PR nepoužívá formát .igc musí být záznam převeden pomocí NAC schváleného programu a validován. Další náležitosti se řídí sportovním řádem FAI stejně jako FR.

PR není mnoho a zatím jich několik certifikovalo pouze 7 NAC (náš ne).

3.1.2.3 Letové zapisovače

IGC schválené FR jsou specifický druh GNSS letových zapisovačů, které prodělají testování a zhodnocení od GFAC. Musejí odpovídat pravidlům a standardům IGC [10].

3.1.2.3.1 Historie

První diskuze o GNSS letových zapisovačů a jejich vývoj začal ze strany IGC již v roce 1987. V roce 1991 Dr David Ellis v USA prezentoval výzkum o GPS záznamech. Byl založen na GPS záznamu letu provedeném na Cessně 172 z Palo Alta v Kalifornii a demonstroval použitelnost GPS záznamů. Cambridge Aero Instruments vyrobili záznamový systém skládající se z Garmin GPS-10 a kapesní

kalkulačky HP-95. Byl poprvé použit na plachtařských závodech v Matamatě na Novém Zélandu v únoru roku 1992. V tomtéž roce se na trhu objevil první komerční GPS zapisovač od firmy RD Aviation Ltd., UK. Ředitel společnosti byl zkušený pilot kluzáků. Tento „RD Logger“ byl připojen kabelem k samostatnému GPS přijímači a jednalo se vlastně o jednoduchý paměťový modul bez tlakového senzoru nebo jakékoli vestavěné bezpečnosti.



Obrázek 14: RD Logger [17]

Výchozí formát dat byl ASCII .dat (zkratka pro data) a později z něj byl vyvinut formát .igc, tak jak ho známe dnes.

První zapisovače s elektronickými barografy se objevily v roce 1993. Měli větší paměť, opět se připojovali k samostatnému GPS přijímači a zaznamenávaly jak GPS fixy, tak i tlakovou výšku. Dvě společnosti, které je vyvinuly, byly EW Avionics (UK) a Borgelt Instruments (Austrálie). V tomto roce IGC začalo s testováním zapisovačů. První testy proběhly na světovém šampionátu v bezmotorovém létání ve Švédsku na zařízeních poskytnutých zdarma společností Dr Ellise Cambridge Aero Instruments. IGC rozeslalo výrobcům specifikace GPS zapisovačů, které by byly použity na dalším světovém šampionátu. Dále vyjednalo s Cambridge Aero Instruments vypůjčení zapisovačů pilotům za jednotkovou cenu US\$200 na Novozélandský národní šampionát.

V roce 1994 IGC schválilo použití designu zapisovačů společnosti Cambridge jako hlavní záznamové zařízení pro světový šampionát v roce 1995. Tímto zařízením se stal Cambridge Model 10. Bylo to poprvé, co IGC dalo prioritu GPS zapisovačům nad fotografickým důkazem. Tento zapisovač zaznamenával i tlakovou výšku, obsahoval fyzické a elektronické bezpečnostní opatření a měl GPS přijímač a paměťový modul v jednom uzavřeném zapečetěném obalu. IGC bylo velice opatrná v otázce bezpečnosti (zvláště kvůli případu falšování fotografického důkazu na závodech v Borlange). Zařízení Cambridge používalo mikrospínač indikující otevření obalu a elektronický systém kontrolního součtu, který kontroloval validitu dat pro IGC standard integrity. Cambridge Model 10 obsahoval také vysokokapacitní vnitřní baterii a anténu (mohla být umístěna přímo na přístroji nebo kabelem vedena na vhodnější místo), takže nepotřeboval žádné změny v avionice letadla.



Obrázek 15: Cambridge Model 10 [17]

Vývoj datového formátu .igc byl dokončen v roce 1994 a poprvé použit na světovém šampionátu na Novém Zélandu v roce 1995. V tomtéž roce byl také oficiálně schválen od IGC a zanesen do přílohy B v novém sportovním řádu. Původní název formátu byl .gps, ale GFAC se tento název zdál příliš obecný a tak ho později v tomtéž roce změnili na .igc.

Po úspěšném testovacím provozu na závodech v roce 1995 si IGC přizvala další technické experty, aby mohli sepsat první konečnou verzi obecných pravidel pro použití GPS zapisovačů ve světovém bezmotorovém létání. Stalo se tak 15. března 1995 v Paříži za účasti členů IGC a potenciálních výrobců zapisovačů. Výsledkem byla již více zmíněná příloha B sportovního řádu. Schválení proběhlo 18. března téhož roku, kdy také vznikla GFAC.

Nyní už nic nebránilo vydání prvních schválení. V lednu roku 1996 tak byly schváleny Cambridge Model 10, 20 a 25. Všechny tyto verze už v sobě měli databázi otočných bodů a podporovaly deklarace letu. Byla také možnost k nim připojit externí displej, kde se zobrazovala vzdálenost a další data vzhledem k vybraným otočným bodům. A obsahovala také nově vyvinutý systém detekce hluku okolí (motoru) ENL. Tento systém naprosto převyšoval řešení ostatních výrobců a brzy se stal IGC standardem. Později kvůli pokroku v motorech instalovaných do kluzáků (a potřebě zaznamenat nižší frekvenci jejich hluku) byl vyvinut externí MOP senzor. O těchto systémech více v dalších odstavcích.

Po prvních zkušenostech vydal GFAC technické specifikace pro budoucí FR. Tyto specifikace jsou pravidelně aktualizovány a v roce 2010 prodělali kompletní přeměnu.

V současné době existuje 56 IGC schválených GNSS letových zapisovačů od 20 různých výrobců. 39 z nich je stále ve výrobě [17].

3.1.2.3.2 Stupně schválení

Existují tři různé stupně IGC schválení:

- Level 1 – všechny lety
 - schválení zahrnuje veškeré lety a to včetně světových rekordů IGC
- Level 2 – všechny IGC/FAI odznaky a diplomy
 - nejsou platné jako důkaz pro světové rekordy
- Level 3 – IGC/FAI odznaky až do diamantového
 - platí pouze pro stříbrné, zlaté a diamantové odznaky

Časem se FR může snížit stupeň schválení nebo i odvolat schválení. Existují takzvaná „Grandfather Rights“, které zajišťují, aby výrobci nemuseli neustále vylepšovat již schválené přístroje podle rychleji obnovovaných pravidel IGC. Díky těmto právům platí zařízením stupeň schválení, dokud mezi nimi, IGC pravidly a sportovním řádem není značný rozdíl. Týká se to především bezpečnosti dat. Návrh na snížení podává GFAC. Ten je poté projednáván s výrobcem a IGC ANDS výborem. Výrobce se může za podmínek sepsaných v IGC pravidlech pro FR [10] odvolat proti rozhodnutí. Faktory ve snižování stupně schválení jsou:

- nepravdivé údaje – pokud se zjistí, že se s daty dá snadno manipulovat (například s B záznamem v .igc souboru) a přesto projdou validací
- bezpečnost FR – vlastní fyzická bezpečnost zařízení
- datum změny – může být urychleno, pokud je podezření, že by data z FR mohla být použita k nárokům na lety z jiných FR stejného typu
- ostatní faktory – pokud má dojít ke snížení z jiných důvodů než výše zmíněných, datum rozhodne IGC (typicky mezi 6-12 měsíci od vyhlášení)

3.1.2.3.3 Technické specifikace

Kromě bezpečnosti .igc záznamu (která je popsána ve své kapitole) jsou na FR kladeny přísné podmínky pro celkové zabezpečení přístroje. Každý FR musí být vybaven mechanismem, který zaznamená pokus o fyzickou nebo elektronickou interferenci s daty. Tento mechanismus by měl zajistit, aby v tom případě neměl soubor správný DS. Mělo by toho být dosaženo pomocí systému, který se spustí v případě otevření obalu FR a vymaže privátní klíče, bez nichž není možné spočítat validní DS. Může být použit například systém mikrospínače nebo podobný. Systém musí zajistit i ochranu vnitřních obvodů FR. I tyto systémy musejí být chráněny před vnější manipulací (například přes ventilační otvory nebo uvolněné konektory) pomocí štítů nebo zábran. Dále na přístroji musí být fyzická pečeť (pokud není obal přístroje sám permanentně uzavřen ke spokojenosti GFAC). Umístěna by měla být tak, aby zakrývala alespoň dva šrouby nebo spoje a přístroj tak nemohl být bez jejího porušení otevřen. Typ pečeti podléhá schválení GFAC. Musí zde být i bezpečnostní opatření pro případ manipulace s daty a interním programem FR přes připojený počítač. Řešením je firewall. Nejhorší možný případ je připojený výkonný počítač za letu (u dvousedadlových kluzáků to není nereálné) nebo na zemi bez

dohledu OO. Obrana proti této interferenci musí být popsána v žádosti pro IGC schválení a GFAC ji testuje. Samotné paměťové médium musí být navrženo tak, aby nemohlo být přístupné, změněno, zneužito nebo spojeno jakýmkoliv způsobem, který by kompromitoval bezpečnost letových záznamů a dalších dat (například paměťová média se softwarovým rozdělením).

GNSS přijímač v IGC schváleném FR musí zvládnout zpracovat data z alespoň 12 satelitů současně.

Pilot musí mít před letem možnost zvolit ze škály intervalů fixů kvůli úspoře velikosti souboru (5, 10, 20 s). Musí také být k dispozici PEV funkce, která okamžitě zaznamená fix a poté následuje série fixů v 1 s intervalu (vhodné například pro průlety otočnými body).

Pokud FR nemá interní baterii schopnou napájet přístroj alespoň 10 hodin, musí mít k dispozici vstup pro 12 V DC. V případě nízkého napětí, nesmějí být ztraceny data již dříve zaznamenaná. Musí také být zaznamenán kód LOV v E záznamu, jakmile se napětí přiblíží k určené hraniční hodnotě.

FR musí být vybaven senzorem tlakové výšky (samostatným nebo s přívodem statického tlaku ze systému letadla) kalibrovaným podle ICAO ISA. Požadavky pro kalibraci jsou popsány v technických specifikacích IGC pro FR [10]. Fixy s výškou se musejí zaznamenávat, i když nefunguje GNSS (dokáže se tak kontinuita letu). Pro výškové rekordy přes 15 000 metrů musí být jako důkaz použit záznam ze speciálního IGC schváleného zapisovače pro vysoké výšky (HAFR). Nad tuto výšku HAFR používá jako hlavní zdroj výšky GNSS výšku neboť změna tlaku je již příliš malá. Proto musejí být HAFR speciálně testovány a schvalovány nad rámec běžných FR.

V dnešní době, kdy jsou rozšířené kluzáky s motorem, již hraje důležitou roli schopnost FR zaznamenávat hluk motoru. Systém sledování úrovně hluku okolí (motoru) ENL je povinný pro FR používané v kluzácích s jakýmkoliv pohonem vyvozujícím tah. Hodnoty ENL v .igc záznamu mohou být od 000 do 999. Akceptovány jsou pouze hodnoty 010 – 999. Hodnota 000 by mohla znamenat poškození systému. 010 je absolutní ticho, 999 typický dvoutaktní motor, hodnoty okolo 600 potom čtyřtaktní motor. Systém musí být navržen tak, aby nebyl zaměněn let s hlasitým hlukem okolí (například let ve stoupavém proudu s plně otevřeným větracím okénkem a skluz) s letem se spuštěným motorem. Například let ve stoupavém proudu s plně otevřeným větracím okénkem a skluz, jako nejhlasitější případy, by měli dosahovat ENL pod 300. Pokud je v kluzáku instalován motor tak tichý (proudový nebo elektrický), že ho ENL systém prostě nedokáže bezpečně odlišit od hluku okolí, je povinná instalace dodatečného senzoru MOP v těsné blízkosti motoru. U jakých motorů a jejich instalací to je potřeba určuje GFAC. MOP má vlastní další místo v B záznamu a tím pádem i v seznamu dodatků I záznamu. Vývod z MOP senzoru je k FR veden kabelem. Integrita systému může být zajištěna například tak, že FR posílá v intervalech po kabelu zakódovaný signál, který vrátí hodnotu MOP (opět od 010 do 999). Některé z raných designů FR měli senzor založený na vibracích nebo používali mikrospínač na motoru.

Jsou povoleny jen následující konektory, které mohou procházet obalem FR:

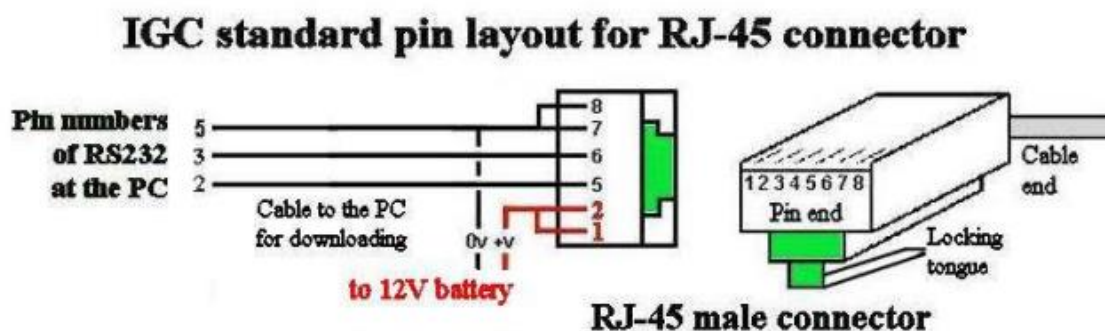
- konektor napájecího kabelu (12 V DC)
- konektor kabelu antény GNSS přijímače
- konektor kabelu k navigačnímu displeji
- konektor kabelu pro další schválené funkce (PEV, MOP, FLARM)
- konektor kabelu propojujícího FR s PC
- slot pro paměťové médium (USB flash disky, paměťové karty)

Výrobce musí zajistit, aby pomocí těchto kabelů nešlo změnit GNSS fix a geodetický model v užití.

Standardem IGC pro externí GNSS antény FR je 9 mm BNC konektor. A tam, kde jsou potřeba menší šroubovací konektory to je SMC konektor se 4 mm samicí a 3,5 mm samcem. Šroubovací konektory jsou potřeba zajistit proti vyšroubování.

IGC standard pro kabely propojující FR s PC jsou 8-pinový RJ-45 konektor, USB konektory a 9-pinový RS-232. RJ-45 používá IGC rozložení popsané na obrázku 16. Tento kabel je často používán i jako napájecí, protože má zajišťovací jazýček (na obrázku locking tongue), díky kterému nehrozí vypadnutí kabelu za letu při turbulenci.

<u>RJ-45 Pins</u>	<u>Function</u>
1&2	Volts +
3&4	Spare, for future application with GFAC approval
5	Data out
6	Data in
7&8	Earth (Volts -ve)



Obrázek 16: IGC rozložení vodičů v RJ-45 konektoru [10]

V případě USB konektorů je na straně FR doporučeno použít samičí USB-B nebo USB-mini-B. K připojení do PC se potom použije kabel s redukcí USB-B do USB-A (PC má klasicky USB-A samici).

9-pinové RS-232 konektory jsou typu D-Sub samice. Pin 2 je pro data z FR do PC, pin 3 pro data z PC do FR a pin 5 pro zemnicí signál. Ostatní piny mohou být použity pro další účely, pokud splní standard RS-232.

Výrobce musí zajistit metodu identifikace nepřesných dat. Může tak učinit už v rámci FR (programem, který označí podezřelé fixy s velkým FXA nebo nekonzistentní fixy) nebo počítačovým analyzačním programem po letu (ten spočítá rychlost vůči zemi mezi fixy a zvýrazní ty, mezi kterými je spočítaná rychlost nepravděpodobná).

GFAC provádí testování, při kterém určenými postupy zkoumá, jestli přístroj splňuje požadavky IGC [10]. Postupuje následovně:

- Všeobecné požadavky – jednoduchá manipulace a provoz
- Vyhodnocení a analýza – bude použit program od jiného výrobce, bude zkontrolována forma IGC dat, včetně FXA, PEV, rychlých fixů, ENL a MOP
- Fyzická inspekce – konstrukce, rozložení a typy komponentů
- Přesnost systému a záznamové schopnosti – pozemní a letový test
- Ochrana proti falšování – pokusy o manipulaci s daty a případné návrhy na vylepšení ochrany
- Zdroj energie – spotřeba energie, kontrola správné funkce LOV záznamu
- Elektromagnetické interference – citlivost na EMI podle současných požadavků EASA a FAA, integrita dat a paměti po vystavení FR EMI, která by se mohla vyskytnout za letu
- Letové testy – budou konány v několika různých kluzácích a za různého počasí
 - Přesnost
 - Bezpečnost
 - Let s manévrováním
 - Záznam tlakové výšky
 - ENL a MOP

3.2 Navigace

Další hlavní kategorií využití GNSS přístrojů v bezmotorovém létání je navigace. Ať už používáme COTS přístroj nebo, pokud to umožňuje, samotný FR či PR, vždy hledáme určité základní funkce:

- Určení polohy v souřadnicích (například pro případ přistání do terénu)
- Kurz a vzdálenost k dalšímu otočnému nebo vybranému bodu (spolu s údajem o našem aktuálním kurzu)

Tyto funkce stačí pro základní navigaci a je vhodné, když je alespoň druhá zmiňovaná provázána s FR, protože potom si můžeme být jisti správným obletěním otočného bodu. Další funkce lze označit za doplňkové, ale výrazně ulehčují práci pilota a nechávají mu prostor na řešení jiných problémů. Jsou to převážně následující funkce a informace:

- Zobrazení polohy (a stopu minulých poloh) a deklarované trati na mapovém podkladu

- Zobrazení rozložení vzdušného prostoru
- Kurz a vzdálenost k nejbližší vhodné ploše pro přistání
- McCreadyho výpočty (optimální rychlost letu mezi stoupavými proudy – přeskoky)
- Úprava výpočtů podle vodní zátěže a zahmyzení křídel
- Vypočítaná výška nad dalším otočným bodem
- Celková předpokládaná výška potřebná k obletu deklarované tratě
- Rychlost a směr větru
- Průměrná klouzavost (x uletěných kilometrů na 1000 m vyklesané výšky) za určené časové období
- Minimální potřebná klouzavost pro úspěšný dokluz
- Pomocník kroužení stoupavých proudů (tzv. thermal assistant)
- Varování před překážkou (kopcem) v trase plánovaného dokluzu
- Rychlost vůči zemi
- Netto variometr (skutečný vertikální pohyb vzduchu)
- Výška nad zemí
- Výška AMSL
- Čas letu, očekávaná rychlost v úloze

Většina těchto informací se samozřejmě nevejde na jednu obrazovku. Počet a rozestavění informačních boxů se liší u jednotlivých výrobců navigačních programů a přístrojů. Ve většině programů a přístrojů si pilot může vybrat, jaké informace ho zajímají a ty přednostně nastavit na hlavním obrazovkovém módu. Další možností potom je automatické zobrazování jiných informací, pokud k tomu je vhodná příležitost. Například informace o rychlosti vůči zemi je v kroužení stoupavého proudu neúčinná a naopak informaci o průměrném stoupání v tu chvíli pilot ocení. Na obrázku 17 můžeme vidět příklad hlavní navigační obrazovky v programu XCSoar. Užitečnost těchto informací je jasná, pilot ví, že je 11,2 km od otočného bodu a nachází se na správném kurzu k němu (znak <<>> pod vzdáleností). Bude nad ním (terénem) mít 687 m výšky, pokud poletí přímo k němu. Ví, že nejbližší vhodná plocha pro přistání (mimo polí) je letiště Ružomberok a má možnost rychle přepnout na navigaci k tomuto letišti (kde potom uvidí informace o dokluzu na něj). Zná svou GNSS výšku AMSL a AGL. Vidí aktuální nastavení McCreadyho čísla, doporučenou rychlost a svou aktuální rychlost vůči zemi a průměrnou klouzavost. Můžeme zde vidět i informace o celkové potřebné výšce na oblet tratě a GNSS variometr.



Obrázek 17: hlavní zobrazení při klouzavém letu v programu XCSOar



Obrázek 18: obrazovka s pomocníkem kroužení v programu XCSOar

Na obrázku 18 je potom příklad módu asistenta kroužení, kde některé, v tu chvíli nedůležité, informace nejsou nebo jsou nečitelná. Nahradily je relevantnější data. Informace o průměrném stoupání za určitou časovou jednotku a kruh termálního asistenta jsou nejdůležitější z nich. Termální asistent ukazuje polohu letadla vůči vypočítanému rozložení stoupavého proudu (vypočítává se z již uletěných kruhů a stoupání v jednotlivých místech). Pilot se tak může snáze usměřit. Nachází se zde také informace o průměrné rychlosti v úloze (zde je nulová hodnota, protože úloha ještě nebyla odstartována), jenž nemá s kroužením nic společného, ale protože žádná další informace nebyla potřeba, pilot si ji na místo vybral. Je vhodná pro kontrolu průběhu celé úlohy. Výběr info boxů opět záleží čistě na uživateli.

Užitečná je také funkce varování před vlétnutím do určitého vzdušného prostoru (ať už TMA, CTR, TRA, TSA nebo zakázané či nebezpečné prostory). Zobrazení vzdušných prostorů totiž v některých případech (přílišné přiblížení mapy) nemusí stačit. Varování by mělo přijít v čas, aby mohl pilot reagovat. V zařízení musí být možnost je zrušit nebo pozastavit (ať už na 5 minut, den nebo pro určité prostory navždy).

Veškeré více popsané funkce a informace pomáhají pilotovi ke správnému rozhodnutí při letu. Snižují jeho zátěž a zvyšují pravděpodobnost úspěšného splnění úlohy.

3.3 Snížení rizika kolize s jiným kluzákem za letu

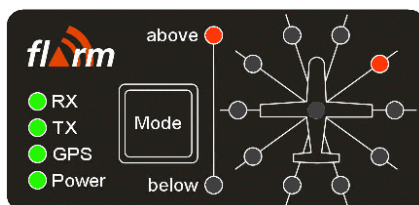
Snížení rizika kolize s jiným letadlem za letu je důležité téma. Přestože je při VFR létání důležité spoléhat se na vlastní oči, nejsou dokonalé. Jsou situace, kdy druhý kluzák prostě nevidíme (a to i za plného denního světla mimo mraky). Existuje několik způsobů, jak snížit toto nebezpečí. Barevné nebo reflexní prvky na samotných kluzácích jsou vhodný základ (jediná nevýhoda pro někoho může být jejich vzhled). Nejviditelnější by byl černý kluzák. Černá barva je však nepoužitelná, protože pohlcuje teplo ze slunečního záření a nepřiměřeně by tak zahřívala konstrukci kluzáku. Jediná další možnost jsou elektronické systémy. Ty, fungující na základě odpovídáče sekundárního radaru (ACAS/TCAS) jsou pro použití v kluzácích značně nevhodné. Všeobecně se dá říct, že jsou moc drahá, těžká a spotřebují

hodně elektrické energie (vše samozřejmě bráno z pohledu potřeb kluzáků). Další možností jsou přístroje založené na GNSS poloze (kapitola 3.3.1).

Pro snížení rizika střetu chce pilot znát následující informace:

- Směr k ohrožujícímu letadlu vzhledem k mé vlastní orientaci
- Vertikální poloha vzhledem k mé poloze
- Poloha všech blízkých letadel zobrazená na displeji (navíc, ale užitečná informace)

U prvních dvou informací je důležité jejich jednoznačné a důrazné zobrazení pomocí displeje, diod a zvuku. Na obrázku 13 můžeme vidět nejjednodušší příklad protikolizního přístroje. V jeho levé části vidíme diody indikující správnou funkčnost. Vpravo se potom nachází indikace směru k letadlu, proti kterému nás systém varuje a vlevo od růžice se nachází indikace jeho vertikální polohy.



Obrázek 19: Příklad protikolizního přístroje FLARM [24]

3.3.1 FLARM

V současné době je nejlepším řešením systém FLARM („flight“ – let a „alarm“). Byl vyvinut v roce 2004 třemi švýcarskými piloty, kteří založili firmu FLARM Technology. FLARM získá data o své 3D poloze z GNSS (a tlakového senzoru) a předvídá další polohu. Tyto informace poté zašifruje a pošle po digitálním rádiovém kanálu (jedná se tedy o technologii podobné ADS-B). Přístroje v blízkých letadlech signál přijmou a srovnají s vlastními vypočtenými předpověďmi polohy. Pokud je speciálním algoritmem detekována nebezpečná situace, jsou piloti obou letadel upozorněni na displejích (případně zvukově). Systém je tedy funkční pokud ho používají všichni nebo co nejvíce pilotů v okolí. V současné době je používáno skoro 30 000 FLARM kompatibilních zařízení [22] a jsou pro kluzáky povinné v několika zemích (například Francie). Polovina používaných přístrojů je od firmy FLARM Technology. Ostatní jsou vyrobeny licencovanými výrobci.

Šifrování je zdůvodněno lehkou napadnutelností nešifrovaného systému. Objevili se názory proti šifrování, které lze také brát jako pouze marketingový tah. Cokoliv je vysíláno může být také využito, a proto některé společnosti implementovali FLARM do svých výrobků bez licencování. S nástupem šifrování každého odchozího signálu to však již není možné. Napadnutí systému by mohl být například v podobě vytvoření falešného vysílání polohy a tedy zmatení zařízení v okolí, která by vydávala falešná varování. Šifrování však značně zatěžuje procesor a snižuje rychlost zařízení.

Všechny zařízení FLARM jsou navzájem kompatibilní a sdílejí stejný komunikační protokol. Licencovaní výrobci proto musejí splnit požadavky na kompatibilitu (bez které by byl systém bezcenný). Jedná se o tyto technické specifikace:

- Fyzická vrstva a radiový protokol – kódování, frekvence odesílání signálu, zábrana kolize paketů (dva přístroje posílající data ve stejný čas)
- Sémantika dat – formát výšky a pozice, přesnost fixu
- Funkce – zpracování a filtrace dat, konfigurace, indikace chyb

Všechny (i licencované) FLARM přístroje mají stejný elektronický design a stejný software s pouze minimálními variacemi. Pro soukromou firmu je to logický a levnější postup než vydávání standardů a certifikování každého přístroje. Licencovaní výrobci potom mohou takto standardní „jádro“ zabudovat do vlastního konečného řešení.

Instalace FLARM do letadel (nebo letounu) podléhá povolení EASA. Je to však považováno za menší změnu na letadle a proto stačí tzv. EASA Minor Change Approval (MCA). Toto povolení zahrnuje požadavky pro instalaci a pokračování letové způsobilosti.

FLARM také může obsahovat databázi překážek a sloužit jako varování před blížícím se terénem. Databáze je k zakoupení zvlášť na webu společnosti FLARM za € 35 a obsahuje databázi čítající přes 35 000 překážek ve Švýcarsku, Německu, Rakousku, Itálii a Francii.

3.4 Nouzové lokační vysílače

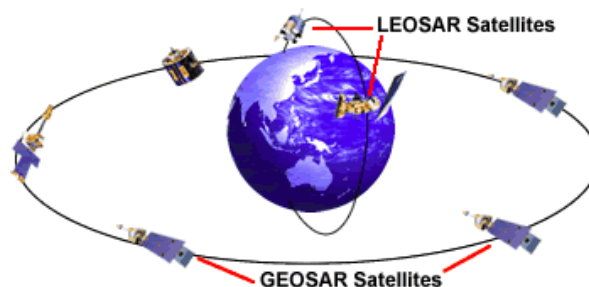
V případě nehody je důležité být co nejrychleji nalezen záchranými složkami. Na každé minutě mohou záviset životy a to platí i v bezmotorovém létání. Nouzové lokační vysílače jsou bezpodmínečně nutná součást vybavení pro lety (i bezmotorové) v oblastech, jako je Austrálie a další rozlehlé pusté oblasti. Nicméně i v našich podmínkách střední Evropy jsou velice vhodné.

V letectví se pro účely nouzové lokace používá termín nouzový lokační vysílač ELT. V bezmotorovém létání by potom ještě bylo možné použít osobní lokační vysílač PLB. ELT je v České Republice od roku 2008 povinný pro všechny letouny. Je tomu tak i v mnoha dalších zemích. U letadel (a tedy i kluzáků) u nás však ELT povinné není. Nejsou tedy tolik rozšířeny.

ELT je zařízení, které v případě nouze (stisknutí nouzového tlačítka), nárazu (pokud se jedná o automatický model) nebo namočení vodou (u příslušného modelu) začne vysílat nouzový signál záchranému systému Cospas-Sarsat (mezinárodní družicový systém pro službu pátrání a záchran).

Rozeznáváme analogová a digitální ELT zařízení. Analogová jsou starší a mohou vysílat na frekvenci 121,5 MHz a 243 MHz. Frekvence 121,5 MHz od roku 2009 již není monitorována družicemi systému Cospas-Sarsat. Nová digitální zařízení využívají frekvenci 406 MHz (některé modely používají všechny

tří frekvence). Tato frekvence umožňuje signálu přenášet řadu informací jako je identifikační kód, země původu majitele, GNSS pozici (pokud ji má zařízení k dispozici) a informaci o tom, jestli je maják vybaven 121,5 MHz naváděcím vysílačem.



Obrázek 20: Družice LEOSAR a GEOSAR [28]

Existují dva systémy a to LEOSAR a GEOSAR. LEOSAR se skládá z 5 družic na nízké oběžné dráze a GEOSAR z 10 (3 z nich jsou momentálně testovány) geostacionárních družic [27]. Družice LEOSAR zajišťují pokrytí polárních oblastí (které jsou jinak mimo dosah geostacionárních družic), mohou spočítat pozici nouzového vysílání pomocí tzv. Dopplerovského zpracování a jsou méně náchylné k překážkám, které by mohli blokovat signál (protože se vzhledem ke zdroji signálu neustále pohybují). Vzhledem k tomu, že družice není vždy v dosahu pozemní stanice, mají paměťový modul, kde se signál uchová a odešle ji, jakmile bude stanice v dosahu. Družice GEOSAR mají pokrytí celé Země (až na polární oblasti) a obsahují opakovač frekvence 406 MHz. Družice, nesoucí systémy mají také další (hlavní) účely. Většinou se jedná o meteorologické družice. V současné době je ve fázi příprav a testování nový systém MEOSAR, který má vlastnosti obou svých předchůdců a měl by je nahradit. Jeho družice jsou geostacionární a jsou umístěné na nových družicích GNSS (Galileo, Glonass a GPS).

Po sepnutí systém ELT začne vysílat signál na frekvenci 406 MHz a ten zachytí družice systému Cospas-Sarsat. Pokud signál obsahuje GNSS polohu ELT, tak ji satelity předají pozemním stanicím, jakmile je nějaká v dohledu. Pokud ne, tak satelity LEOSAR vypočítají pozici vysílajícího majáku pomocí Dopplerovského zpracování. Pozemní stanice poté signál předají záchrannému řídicímu středisku (MCC).

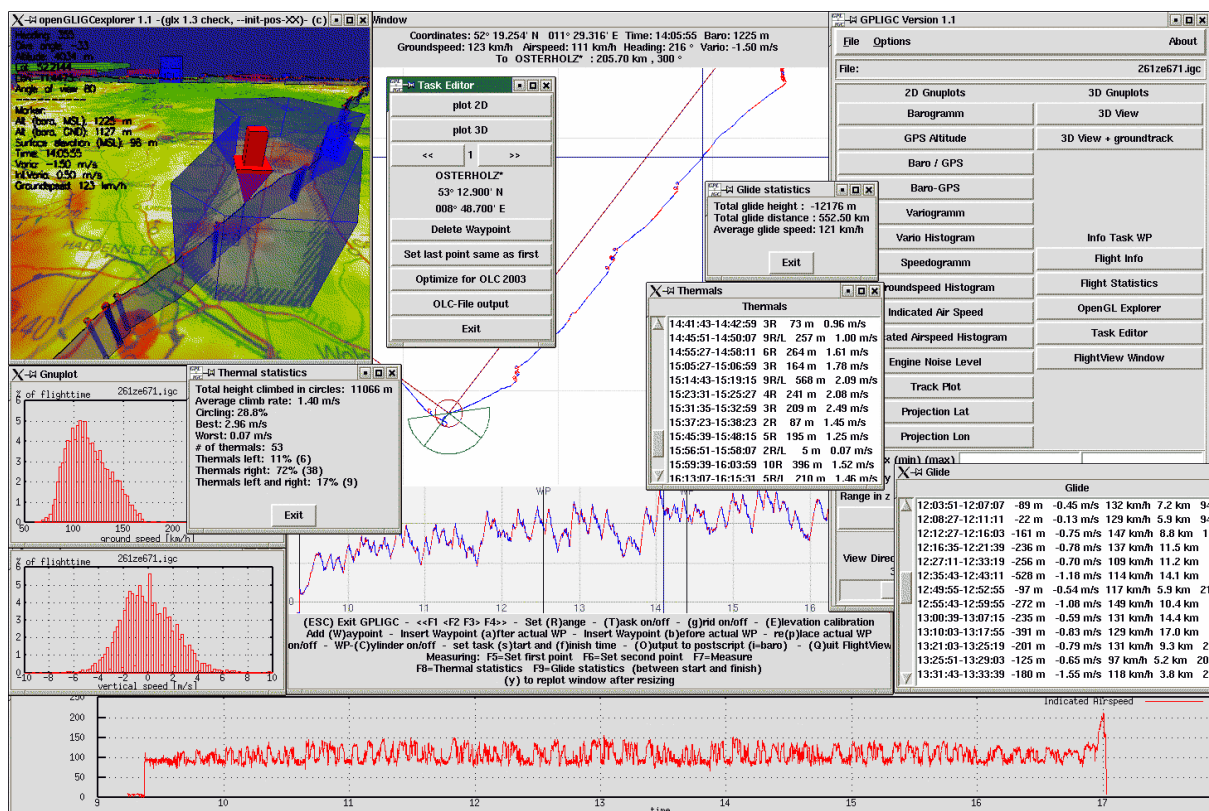
Trh s ELT je velice rozsáhlý a přístroje podléhají schválení Cospas-Sarsat.

4 Aplikace GNSS v bezmotorovém létání

Pro samotnou aplikaci všech možností využití GNSS v bezmotorovém létání existuje mnoho variant. Je na samotném pilotovi (nebo aeroklubu), jak se v nabídce zorientuje a vybere řešení, které mu nejvíce vyhovuje. Při výběru je třeba brát ohled nejen na funkce a schopnosti zařízení, ale i na jeho cenu. V tomto ohledu jsou rozdíly velké.

4.1 Programy pro vyhodnocení a plánování letu na PC

Programy pro vyhodnocování a plánování letů musí k jednotlivým FR dodávat výrobci. Většinou však jde o aplikace s velice základními funkcemi. Pokud pilot chce využít pokročilejších funkcí (popsáno v kapitole 3.1.1) musí také hledat programy, které to umožňují. Na internetových stránkách GFAC [34] můžeme najít seznam (i s odkazy na webové stránky) programů pro vyhodnocování letů, které používají .igc formát a byly nahlášeny IGC.



Obrázek 21: GPLIGC & OGIE [35]

Většina programů zdarma nemá mnoho funkcí a jediná výhoda některých z nich oproti programům dodávaným výrobcem FR je jejich online funkčnost (soubor se nahraje na jejich webovou stránku a zde se může ihned prohlížet). Příkladem je IGC Webview nebo GPS Visualizer. Jednou z výjimek je program GPLIGC & OGIE. Tento program nabízí pokročilé analyzační nástroje (včetně 3D animace) na úrovni

placených programů. Jeho značná nevýhoda je poměrně složitá instalace a uživatelská náročnost (obrázek 21).

Z placených programů, se všemi funkcemi, které pilot může potřebovat, tu potom jsou programy jako StrePla (cena 142 € tedy asi 3 837 Kč zahrnuje aktualizace na rok [36]) od německé firmy 8F Computer PC und Internet Service GmbH. A SeeYou (cena 129 € a 49 €/rok za licenci, celkem tedy asi 4 810 Kč a 1 324 Kč/rok) od slovinské společnosti Naviter. Ze všech možností působí SeeYou nejprofesionálněji, nejjednodušeji se s ním pracuje (obrázky jsou součástí kapitoly 3.1.1.) a podporuje také počítače Apple Macintosh. Tomu samozřejmě odpovídá cena. Výběr aplikace je opět čistě na osobní preferenci uživatele.

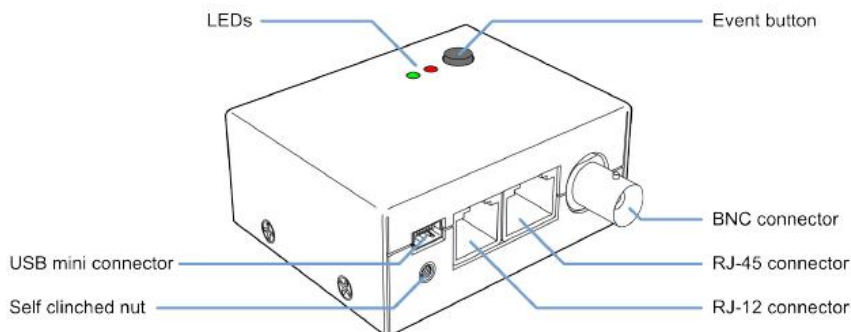
4.2 Přístroje pro použití v kluzáku

Zařízení můžeme rozdělit podle toho, jestli jsou v letadle vestavěny nebo jestli jsou volné a přenositelné mezi jednotlivými letadly. U volných variant je vždy třeba mít na paměti jejich vhodné umístění a uchycení v letadle. Mnohdy stačí pouhý držák na přísavku. Jednotlivé způsoby využití GNSS se v mnoha přístrojích prolínají. Nejčastěji to tak je u funkcí záznamu a navigace. Rozeznáváme následující druhy přístrojů (podle hlavní funkce):

- Záznam
 - FR nebo PR bez displeje a s FLARM nebo bez něj (FLARM samozřejmě vyžaduje svůj vlastní displej)
- Navigace
 - COTS s úhlopříčkou displeje do 5 palců
 - COTS s úhlopříčkou displeje nad 5 palců
- Záznam a navigace
 - FR nebo PR s displejem bez mapového podkladu a FLARM nebo bez něj
 - FR nebo PR s displejem a mapovým podkladem a FLARM nebo bez něj
- FLARM
- ELT

Příkladem pro první druh je volné zařízení od české firmy IMI Gliding Equipment a to FR ERIXX. Je IGC schválený stupněm 1 (všechny lety) a spolu s veškerým příslušenstvím se dá pořídit za 349 € (přibližně 9 430 Kč) včetně daně. Prozatím však není k dispozici verze s ENL. Tyto přístroje se vyznačují velice nízkou spotřebou elektrické energie. Konkrétně u tohoto modelu to je přibližně 40 mA při 12 V. Další pozitivum je jednoduché ovládání, které se v podstatě skládá jen z tlačítka EVENT. Jeho funkce za letu je PEV značka v záznamu nebo, pokud zařízení zrovna nezaznamenává, změna aktivní deklarace. Přístroj má možnost uchovat najednou dvě deklarace. Ty jsou nahrány přes PC pomocí dodávaného programu IMI-Connect. Zařízení obsahuje ještě zvuková upozornění na průlet sektoru,

začátek, konec záznamu a aktivní deklaráci. Z vizuální indikace má přístroj pouze jednu zelenou a jednu červenou diodu. Podle blikání značí stav napájení, GNSS signál a další informace. ERIXX má klasickou konektorovou výbavu, jak je vidět na obrázku 22 jedná se o BNC konektor pro GNSS anténu, napájecí RJ-45, RJ-12 pro případné propojení s PDA a jeho napájení a USB mini pro propojení s PC.



Obrázek 22: EMI Gliding Equipment ERIXX [30]

Dalším příkladem této kategorie je vestavěný PowerFLARM od FLARM Technology. Jak již napovídá název má i protisrážkové funkce FLARM. Samotný PowerFLARM stojí \$ 1 599 včetně daně. Přístroj je potom však bez IGC schválení, které se musí dokoupit za \$ 95 (stupeň schválení 3) [29]. FLARM displej, který je nutný pro protisrážkové funkce také není součástí. Jedno z nejlevnějších a nejjednodušších řešení je externí displej FLARM V3 od švýcarské firmy ABOBA Elektronik za 172 CHF [31]. Celková cena se vyšplhá v přepočtu (přibližně pro kurzy ze 7.8.2016) na 45 300 Kč. Spotřeba PowerFLARM je při 12 V 165 mA (bez displeje). Přijímá také ADS-B signál a signál z odpovídačů Mode-S a Mode-C. Funguje tedy, i když letadlo nemá FLARM, ale má odpovídač (což je standardní pro letouny). Levnější variantou je potom například volný LX FLARM Mouse od LXNAV (sesterská společnost LX Navigation). Spolu s IGC certifikací a nejlevnějším (1 990 Kč) displejem od stejné firmy vyjde cena na 23 770 Kč [32]. Je však také možnost pořídit si dražší (9 490 Kč) displej, který už kromě FLARM má i základní navigační funkce. Celková cena by poté byla 31 270 Kč [32]. To už zasahujeme do kategorie zařízení záznamových a navigačních s FLARM. Všechna řešení v tomto odstavci mají také možnost dokoupit si funkci ENL a je tu i možnost pořídit si je bez IGC certifikace (ušetří se zhruba 2 500 Kč), aby plnili pouze protisrážkovou funkci FLARM.

Kategorie FR pro záznam a navigaci s displejem, ale bez mapového podkladu je velice rozsáhlá. Dnes již neprodávaný volný LX Navigation Colibri (stupeň certifikace 3) je stále nadmíru oblíbený a používaný obzvláště v aeroklubovém prostředí. Oproti zařízením bez displejů nabízí řadu dalších možností. Je to však stále jednodušší a levnější přístroj. Jedná se tedy o základní navigační funkce. Umí už ale například deklarovat tratě bez použití PC. Do Colibri pouze nahrajeme databázi bodů pomocí micro SD karty nebo mini USB-B konektoru a můžeme let deklarovat bez nutnosti dalšího propojování s PC. Kromě těchto konektorů má Colibri ještě napájecí RJ konektor a BNC konektor pro připojení GNSS antény. Existuje i možnost propojit přístroj s COTS nebo jinými navigačními přístroji a odesílat

NMEA data (standartní formát GNSS dat). Nemá interní baterii a spotřebuje asi 100 mA při 12 V. Přístroj také umí zobrazit informace o trvání, uletěné vzdálenosti (podle deklarace), průměrné rychlosti na trati a průměrné vertikální rychlosti ve stoupání minulých letů.



Obrázek 23: Colibri



Obrázek 24: Colibri II [33]



Obrázek 25: LX Eos [33]

Novější volný Colibri II se stupněm IGC certifikace 1 (obrázek 23) už má interní baterii s výdrží až 10 hodin letu. Je možné ho také napájet z externího zdroje (5 V). Byl vyvinut jako pokračovatel úspěšného modelu Colibri a nabízí řadu nových funkcí (elektronický variometr, pomocník kroužení, možnost připojení FLARM a další). Jeho cena se pohybuje okolo 545 € [33] (přibližně 14 726 Kč) včetně daně a příslušenství. Vestavěnou a dražší variantou v této kategorii je kupříkladu LX Eos (stupeň IGC certifikace 1) od stejné firmy za cenu 1 799 € (přibližně 48 609 Kč) [33]. Tento přístroj (obrázek 25) je v podstatě elektronický variometr s různými možnostmi zobrazení na displeji uprostřed přístroje. Jeho předností (oproti právě Colibri II) je integrovaný gyroskop a akcelerometry, vestavěná baterie (pouze na dvě hodiny provozu), sondu venkovní teploty (OAT), vstup ze senzoru kompenzace celkové energie (TE compensation) a ze sondy celkového tlaku pro přesné výpočty Netto variometru (skutečný vertikální pohyb vzduchu) a nepochybně i pohodlí vestavěného přístroje. Spotřeba se pohybuje okolo 140 mA při 12 V.

V kategorii vestavěných FR s displejem a mapovým podkladem stojí za to zmínit LX 8000 (stupeň IGC schválení 1) od LXNAV. Je to jeden z nejpokročilejších, nejdražších a nejfunkčnějších přístrojů, které můžeme v bezmotorovém létání vidět. Má barevný, na slunci velice čitelný (svítivost 1 200 cd), 3,5 palcový displej s rozlišením 320x240 pixelů. Obsahuje veškeré navigační funkce zmíněné v kapitole 3.2. Má integrované protisrážkové funkce FLARM (možnost přikoupit) a kromě toho i nesčetně mnoho dalších funkcí. Zvládá například základní vyhodnocování letů včetně grafického zobrazení. Je dodáván s elektronickým variometrem, který doplňuje možnosti přístroje (jsou na výběr různé varianty, včetně

té s umělým horizontem). O příjem GNSS signálu se stará 56 kanálový u-Blox přijímač, který podporuje jak GPS a GLONASS, ale i Galileo. K zakoupení je mimo jiné i speciální nástavec na řídicí páku, kde se nachází ovládací prvky přístroje (9 190 Kč [32]). Při 12 V spotřebuje 300 mA s minimálním jasnem displeje, 390 mA s maximálním a dalších 160 mA se musí připočíst pro elektronický variometr V9 (hodnoty bez zapnutého zvuku). Celkem tedy až 550 mA bez zvuku. Přístroj v základní konfiguraci s FLARM vyjde na 93 690 Kč s daní.



Obrázek 26: LX 8000 s variometrem V9 instalovaný v kluzáku Duo Discus XLT

Existují ještě pokročilejší řešení, například LX Navigation Zeus 7.0. Jedná se o velký přístroj se 7 palcovým displejem a, stejně jako v případě LX 8000, pokročilými funkcemi a možnostmi. Zde už ani není omezující faktor velikosti displeje. Při této velikosti se veškeré funkce zobrazují naprosto přehledně. Jeho cena je 5044 € (přibližně 136 289 Kč) včetně daně, FLARM, ENL a IGC certifikovaného variometru LX Eos.

V tuto chvíli již máme základní představu o IGC schválených FR. Zajímavé jsou údaje o jejich spotřebě elektrické energie. Od 40 mA pro nejjednodušší přístroj až po hodnotu přesahující 550 mA pro jeden z nejnáročnějších.

COTS můžeme dělit (jak již bylo zmíněno výše) podle velikosti úhlopříčky displeje (pod a nad 5 palců). Pak je také můžeme rozčlenit dle jejich původní hlavní funkce, kterou může být auto navigace, mobilní telefon, tablet, PDA nebo PNA. U větších modelů COTS a menších kabin kluzáků již může být problém s dostatečným místem pro uchycení. Čím však máme větší displej, tím se zařízení pohodlněji ovládá a je čitelnější. Je proto potřeba najít ten správný kompromis pro konkrétní kluzák.



Obrázek 27: příklad uchycení mobilního telefonu v kluzáku VSO-10

Hlavní pozornost by se při výběru COTS měla věnovat čitelnosti displeje na slunci (svítivosti a samotné technologii displeje). Měli bychom také počítat s jeho neustálým připojením k napájení. COTS většinou nejsou stavěny na šest hodin trvající zapnutí displeje a běžící GNSS přijímač. Před volbou přístroje by si měl uživatel zvolit navigační software. Ne všechny totiž fungují na všech COTS. Z těch nejpoužívanějších to jsou LK 8000 a XCSoar, které jsou zdarma. Funkce mají velice rozsáhlé a podobají se přístrojům vyšší cenové kategorie. Z placených je potom dobrým příkladem SeeYou Mobile od společnosti Naviter, který můžeme pořídit za 199 € (přibližně 5 377 Kč) včetně daně [12]. Všechny tyto programy jsou funkčností velice podobné, liší se jen v přístupu k zobrazování.

Všechny certifikované modely ELT a PLB jsou vypsány na stránkách Cospas-Sarsat [25]. Při výběru je opět třeba dávat pozor na rozměry. V kluzácích obvykle není mnoho místa nazbyt. Dále je důležité uvědomit si, jestli chci ELT se vstupem GNSS dat z externího zařízení nebo s integrovaným přijímačem. Ceny se pohybují okolo 13 000 Kč za levnější PLB a okolo 30 000 za ELT. Příkladem pro ELT je vestavěný ARTEX ME406. Stojí 35 167 Kč [37]. Baterie má certifikovanou životnost 6 let. Vysílá na frekvencích 406 a 121,5 MHz výkonem 5 W po dobu 24 hodin. Nemá vestavěný GNSS přijímač, ale je automaticky spustitelný při 2,3 G .

Tento přehled hardwaru a softwaru, který můžeme využít v bezmotorovém létání, by měl pomoci při základní orientaci ve velmi širokém trhu.

5 Návrh osnov pro výuku létání s GNSS

5.1 Současný stav

V současné době se, jak teoretická, tak praktická část výcviku k získání průkazu způsobilosti pilota kluzáků (nově SPL - Sailplane Pilot Licence a dříve GLD nebo GPL – Glider Pilot Licence) řídí postupy vydanými Úřadem pro civilní letectví.

- CAA-ZLP-049 Způsobilost pilota kluzáků – vychází z předpisu L1 (Způsobilost leteckého personálu civilního letectví) – pro staré (ale stále platné) průkazy GLD
- CAA-ZLP-161 Způsobilost pilota kluzáků – vychází z Nařízení Komise (EU) č. 1178/2011 ze dne 3. listopadu 2011, kterým se stanoví technické požadavky a správní postupy týkající se posádek v civilním letectví podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 216/2008 [1]. A tedy i z Rozhodnutí č. 2011/016/R výkonného ředitele Evropské agentury pro bezpečnost letectví (EASA) ze dne 15. prosince 2011 „Přijatelné způsoby průkazu a poradenský materiál k Části-FCL“. Konkrétně u teoretické části jde o AMC1 FCL.120. U praktické části jde o AMC1 FCL.110.S, FCL.210.S. – pro nově vydávané průkazy SPL.

Minimální hodinová dotace teoretického výcviku nebyla stanovena. Výcviková organizace musí zkontrolovat, jestli byly všechny předměty probrány na dostatečné úrovni, před doporučením žáka ke zkoušce.

Aeroklub České republiky pro zjednodušení vydává zkušební osnovy pro teoretické zkoušky pilotů kluzáků civilního letectví Os 15 a dále také osnovy výcviku na kluzácích AK-PL 2006, které jsou v souladu s postupy CAA-ZLP-049. Není u nich ale uvedena revize, změna nebo oprava k novým předpisům CAA-ZLP-161. Jsou tedy neaktuální. Nové průkazy způsobilosti pilotů kluzáků se totiž již vydávají pouze jako SPL a tedy pod CAA-ZLP-161.

V AMC1 FCL.120 II.A. 9. NAVIGATION – SAILPLANE se nachází položka 9.6. Global navigation satellite systems. Další rozsah předmětu zde není specifikován.

V Os 15 Hlava 7 – Navigace – Radionavigace – 75 GPS můžeme najít poněkud rozsáhlejší popis předmětu:

- použití
- principy
- indikace a interpretace
- pokrytí (dosah, pole působnosti)
- chyby a přesnost

- faktory ovlivňující spolehlivost a přesnost

Os 15 tedy blíže specifikuje teoretickou výuku GNSS. V názvu části 75 by však mělo být správně uvedeno GNSS. Zcela jistě se totiž nechtěli zaměřit pouze na systém GPS.

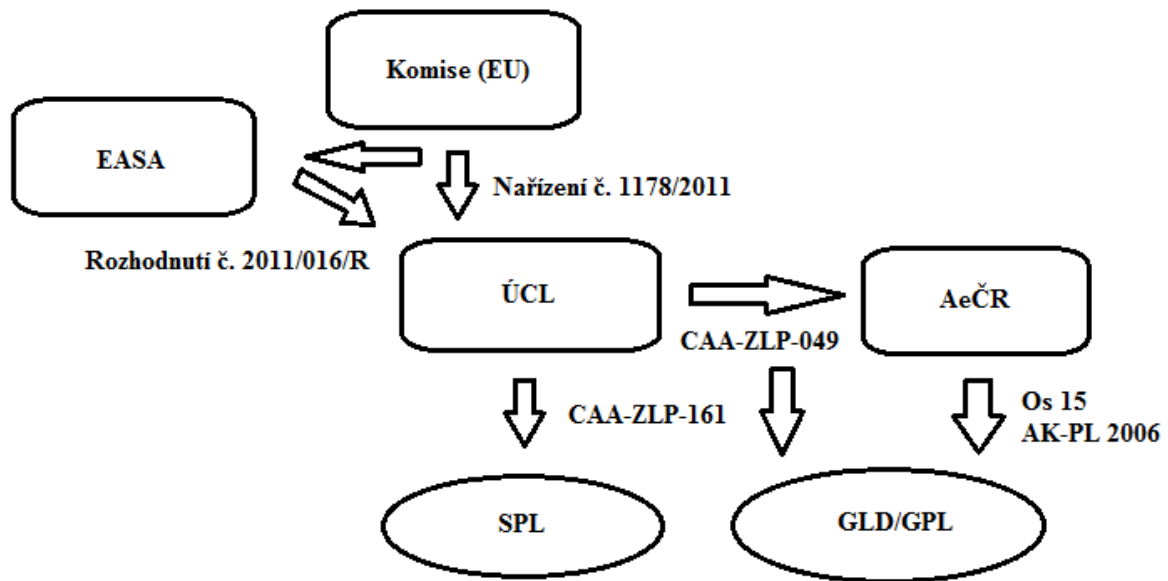
AK-PL 2006 zde v souladu s CAA-ZLP-161 a AMC1 FCL.110.S, FCL.210.S uvádí v Osnově universálního základního výcviku úlohu IU/11NAV. Jde o cvičný traťový navigační let. CAA-ZLP-161 ho dále specifikuje na navigační let sólo pod dozorem letového instruktora (FI(S)) v délce minimálně 50 km, nebo ve dvojím řízení s letovým instruktorem v délce minimálně 100 km. Let smí být proveden na turistickém motorovém kluzáku (TMG).

V AMC1 FCL.110.S, FCL.210.S můžeme najít seznam předmětů, které se musí během navigačního letu probrat. A to v následujících kapitolách:

- (b) Letový výcvik – (1) – (ix) traťové lety s využitím vizuálních referencí, navigace výpočtem a dostupných navigačních prostředků,
- (c) Osnova letového výcviku – (4) – (xxvii) Úloha 17a: Plánování letu,
 - (xxviii) Úloha 17b: Navigace za letu,
 - (xix) Úloha 17c: Techniky traťového letu.

Číslování Úlohy 17c je zde pravděpodobně špatně. Podle návaznosti má mít číslo xxix ne xix (část xix je věnovaná Úloze 13: První samostatný let). Část Úlohy 17b – (G) používání doplňkového vybavení, je-li vyžadováno, dokonce zmiňuje doplňkové vybavení, je ale příliš obecná a v zásadě dává možnost toto vybavení nezahrnout. Jako doplňkové vybavení by se daly chápat právě GNSS přístroje.

V žádném z předpisů se tedy přímo nepočítá s praktickou výukou létání s GNSS přístroji na kluzácích. V dnešní době, kdy je jejich využití prakticky standardem, to je vcelku zásadní nedostatek. Žák se tak s GNSS přístroji dostane do styku až po pilotních zkouškách. V mnoha případech to může vést k tomu, že se pilot bude sám učit s těmito přístroji zacházet. Zkušenosti letových instruktorů by pak jistě ocenil. A naopak není jediný důvod, proč by tato výuka nemohla být zavedena. Pokud v předpise nebude doslovně uvedena výuka s GNSS přístroji, FI(S) ji prostě nezahmou. V současné době, kdy jsou tyto přístroje velice rozšířené to je špatně.



Obrázek 28: předpisy a organizace k výcviku pilotů kluzáků

5.2 Návrh teoretické osnovy pro výuku létání s GNSS

Jako základ osnovy je vhodné použít Os 15.

Teoretické výuce létání s GNSS by se mělo věnovat dostatek času, neboť úroveň nabytých znalostí může žákům značně ulehčit pozdější přeletové a i místní létání.

Po absolvování teoretické výuky by měl žák chápat a rozumět následujícímu:

- proč a jak funguje GNSS (samotným principům fungování GNSS se nemusí věnovat neúměrné množství času - od žáků se očekává využívání GNSS přístrojů a nikoliv jejich konstruování)
- jakou přesnost očekávat, čas do prvního fixu, možné chyby, spolehlivost různých přístrojů, nároky na baterii
- co může způsobit zhoršení přesnosti a spolehlivosti systému
- druhy přístrojů (IGC schválený letový zapisovač, s mapovým podkladem, bez mapového podkladu, vestavěné v kluzáku, volné, FLARM, ELT), jejich možnosti a parametry (u volných přístrojů kapacita baterie, velikost a kvalita displeje, čas fixu)
- práce s navigačním softwarem (může se využít softwaru, který je v letadlech aeroklubu anebo přednášející zvolí svou preferenci, musí ale žáky upozornit na možné rozdíly různých programů a výuka by měla být spíše všeobecná)
- správné vyhodnocení indikací navigačního softwaru a FLARMu
- funkce ELT

- nebezpečí plynoucí z upínání přílišné pozornosti na GNSS přístroj (pilot by se měl stále věnovat pilotáži, měl by mít přehled o dalších letadlech a okolí – musí být vždy schopen navigace i bez GNSS navigace)

Rozsah výuky a čas věnovaný předmětu je plně na posouzení výcvikové organizace.

Z výše popsaných důvodů je návrh teoretické osnovy následující:

- a) princip funkce
- b) přesnost, chyby a spolehlivost
- c) faktory ovlivňující přesnost a spolehlivost
- d) druhy přístrojů a jejich parametry
- e) navigační software
- f) indikace a interpretace
- g) ELT
- h) nebezpečí plynoucí z upínání přílišné pozornosti na GNSS přístroj.

5.3 Návrh praktické osnovy pro výuku létání s GNSS

Vzhledem k tomu, že v AK-PL 2006 není specifikován maximální čas věnovaný úloze IU/11NAV a její obsah zní: Cvičný traťový navigační let. Bylo by proto vhodné připojit k obsahu této úlohy větu: Včetně využití GNSS navigačních a záznamových přístrojů.

To by bylo v souladu jak s CAA-ZLP-161, tak i s AMC1 FCL.110.S, 210.S, do kterých by se poté mohla doplnit podrobnější osnova, aby FI(S) měli základní podklad k provedení úlohy.

Praktická osnova by měla navazovat na teoretickou. Žáci by si měli vyzkoušet funkce GNSS zařízení a měli by se naučit je ovládat. Návrh praktické osnovy pro výuku létání s GNSS:

- a) deklarace traťového letu
- b) správný odlet podle nastavených pravidel letu
- c) bezpečná výška
- d) změna tratě za letu
- e) výběr náhradního letiště nebo plochy z databáze a navigace na ně
- f) prostory a další varování (včetně FLARM pokud je k dispozici)
- g) traťová rychlost
- h) rozdělení pozornosti
- i) správné prolétnutí otočnými body podle nastavených pravidel letu

- j) dokluz
- k) správný přílet podle nastavených pravidel letu
- l) stažení .igc souboru

Instruktor by také měl žákovi důrazně vysvětlit, že se z navigačního hlediska nemůže na GNNS přístroje úplně spoléhat. Musí vždy vědět kde je a jak se dostat do cíle (zpět na letiště). Také si vždy musí být vědom aktivních prostorů.

Při přeškolení na nový typ letadla, které má pevně instalované GNSS zařízení je důležité, aby FI(S) pilota obeznámili s funkcemi tohoto zařízení. Je to součástí letadla a nesmí se zanedbat při přeškolení.

6 Zhodnocení zavedení GNSS v bezmotorovém létání

6.1 Výhody a nevýhody

Zavedení GNSS v bezmotorovém létání lze hodnotit jednoznačně kladně. Toto vám potvrdí drtivá většina instruktorů, pilotů, kteří plachtí závodně, ale i těch, kteří létají jen rekreačně a na závody se vydává minimálně nebo vůbec.

Důvody pro to jsou následující:

- zjednodušení navigace a s tím související úspora času, kterou může pilot věnovat jiným činnostem (sledování okolních letadel, plánování strategie vzhledem k vývoji počasí, samotná pilotáž)
- zpřesnění navigace (i pro případ přistání mimo letiště – pilot může oznámit transportnímu týmu přesnou polohu)
- výpočty prováděné GNSS přístrojem (dokluz, vzdálenosti na nejbližší letiště, průměrná traťová rychlost, rychlost vůči zemi a další)
- plánování a deklarace letu (let lze jednoduše naplánovat i nadeklarovat z počítače s příslušným softwarem, anebo, v případě modernějších a sofistikovanějších GNSS přístrojů, přímo v zařízení)
- záznam letu (druhy záznamu jsou podrobněji rozepsány v kapitole 3) – jednoduché dokládání letů
- možnost vyhodnocení letu ze záznamu
- zvýšení bezpečnosti (FLARM a ELT)

Samotné závody, přelety a uznávání přeletů pro získání výkonnostních odznaků FAI je potom kapitola sama pro sebe. Dříve pilot musel mít na palubě velký barograf, který zaznamenával výšku a čas pomocí jehlice, která vrývá údaje do sazemi očouzeného papíru (očouzovalo se směsí petroleje a nafty). Papír se záznamem se po letu vyjmul a ponořil do nádoby s lakem, aby se nerozmazal. Dále byly na palubě potřeba tehdy neskladné fotoaparáty, jejichž prostřednictvím piloti dokazovali průlet nad otočným bodem. Na některých závodech dokonce stáli v místech otočných bodů i rozhodčí závodu zaznamenávající registrační značky větroňů. Všechny tyto obtíže a složitá dokazování s nástupem GNSS zařízení odpadla.

Přesto je i v dnešní době možné přidat let do CPS (nebo podobných soutěží) pomocí fyzického barozáznamu a fotografické dokumentace otočných bodů. Tyto fotografie však musejí být pořízeny fotoaparátem na film (nikoliv digitálním). Záznamy poté musejí být předány certifikovanému rozhodčímu [15]. Pro získání některých FAI odznaků a diplomů je i dnes možno použít fyzický

barozáznam, ale už nestačí fotografie otočných bodů. Je potom ale potřeba záznam trati z GNSS IGC PR [9].

Záporů na zavedení a používání GNSS přístrojů není mnoho. Ale i zde se najdou určité komplikace a obtíže:

- nepřiměřená důvěra a spoléhání se na GNSS přístroje piloty (pilot může slepě akceptovat data z přístroje a neuvědomit si, že mohou být i naprosto chybná, to může vést k fatálním důsledkům)
- potřeba další baterie v letadle, z čehož pramení její složitá zástavba, protože volné uložení baterií (i když gelových, kde nehrozí vylití) není ideální (neukotvený předmět v pilotní kabině v místě, kam pilot nedosáhne, může při turbulentních letech způsobit potíže)
- zástavba kabelů a antény (ať už se jedná o vestavěný nebo volný GNSS přístroj, je vždy vhodné udělat pevnou zástavbu kabelů a antény)
- zástavba samotného vestavěného GNSS přístroje (včetně jeho připojení na tlakové snímače letadla)
- nákup GNSS přístroje (není to levná záležitost, podrobněji rozebráno v kapitole 4)

Dalo by se namítnout, že značnou nevýhodou GNSS přístrojů je možnost zfalšování záznamu letu (ať už pro soutěže typu CPS a OLC nebo FAI odznaky a diplomy). Falšování souborů .igc ale není vůbec jednoduché. Každý IGC schválený zapisovač má i vlastní tlakový barometr. Nestačí tedy nasimulovat GNSS pozice. Zapisovače pak mají i další bezpečnostní mechanismy, které jsou popsány v kapitole 3.

6.2 Průzkum využívání GNSS přístrojů mezi piloty kluzáků

Prozatím jsem v této kapitole uváděl převážně své názory a názory několika pilotů a instruktorů. Je ale zřejmě vhodné uvést i nějaké faktické informace.

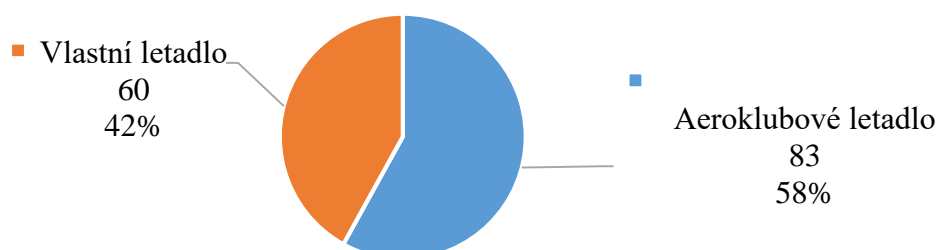
Vytvořil jsem proto průzkum, zaměřující se na GNSS navigační a záznamové přístroje a ten jsem rozeslal pilotům, které znám a také jsem ho umístil na fórum pro piloty kluzáků <http://www.gliding.cz/forum/>.

Ze serveru CPS online [7] AeČR můžeme zjistit, že za rok 2015 přidalo alespoň jeden let 860 pilotů. Toto číslo můžeme brát jako počet pilotů, kteří jsou aktivní a aktivně létají přelety (což je skupina, která nás zajímá). CPS neslouží jen k soutěžním účelům, ale také jako databáze letů a možnost porovnávat výkony v průběhu roku. Lety tam tak přidává v podstatě každý. Z oněch 860 pilotů jich má zhruba 200 přidán pouze jeden let. Na průzkum reagovalo 143 pilotů, což je přibližně 16,63% aktivních pilotů.

O tom, jak můžeme věřit odpovědím a výsledkům jednotlivých otázek ze statistického hlediska pojednává kapitola 5.2.7.

6.2.1 Otázka 1: Létáte na vlastním letadle nebo na aeroklubovém?

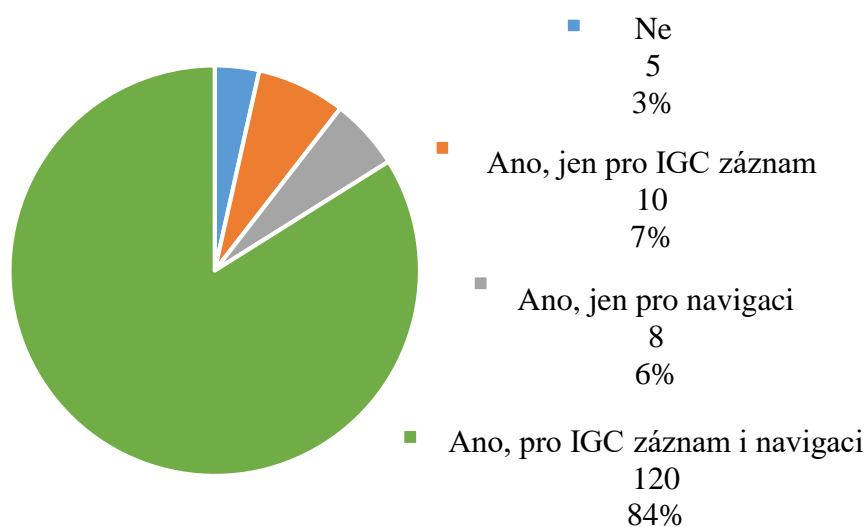
V prvním bodě průzkumu jsem se pilotů dotazoval na to, zda k létání primárně využívají své soukromé letadlo a nebo aeroklubové. Mezi těmito skupinami může být rozdíl ve využívání GNSS přístrojů, protože piloti, kteří si mohou z finančního hlediska dovolit vlastní letadlo, si pravděpodobně budou moci dovolit i sofistikovanější a dražší (a vestavěné) přístroje. Aerokluby do svých letadel většinou nakupují základní řešení (FR bez mapového podkladu nebo i bez displeje). Je to způsobeno nižší cenou těchto přístrojů a také neochotou investovat do letadla, které je ve společném užívání a vlastnictví. Taková letadla a jejich vybavení jsou náchylnější k poškození a nehodám. Většina lidí si jednoduše více váží a stará se o věci, které přímo vlastní.



Graf 1: otázka 1: Létáte na vlastním nebo na aeroklubovém letadle?

6.2.2 Otázka 2: Využíváte GNSS přístroje?

Zásadní položka celého průzkumu. Piloti, kteří odpověděli, že nevyužívají GNSS přístroje na další otázky již neodpovídali.

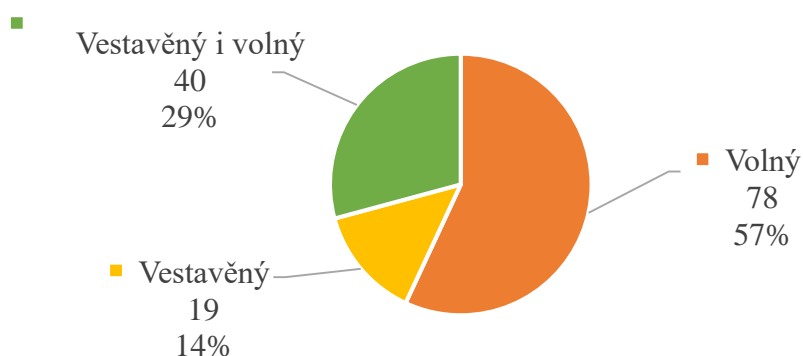


Graf 2: otázka 2: Využíváte GNSS přístroje?

Z odpovědí jasně vyplývá, že většina pilotů GNSS přístroje využívá jak pro IGC záznam, tak pro navigaci. Tyto odpovědi nejsou překvapující, piloti se jednoduše snaží maximálně využít GNSS přístroje a jejich výhody.

6.2.3 Otázka 3: Máte v letadle vestavěný GNSS přístroj?

U této a dalších otázek je snaha zjistit, jaké druhy GNSS přístrojů piloti využívají. Tyto druhy jsou probrány v kapitole 4. Existuje zde značný rozdíl v komfortu používání a schopnostech různých druhů přístrojů.

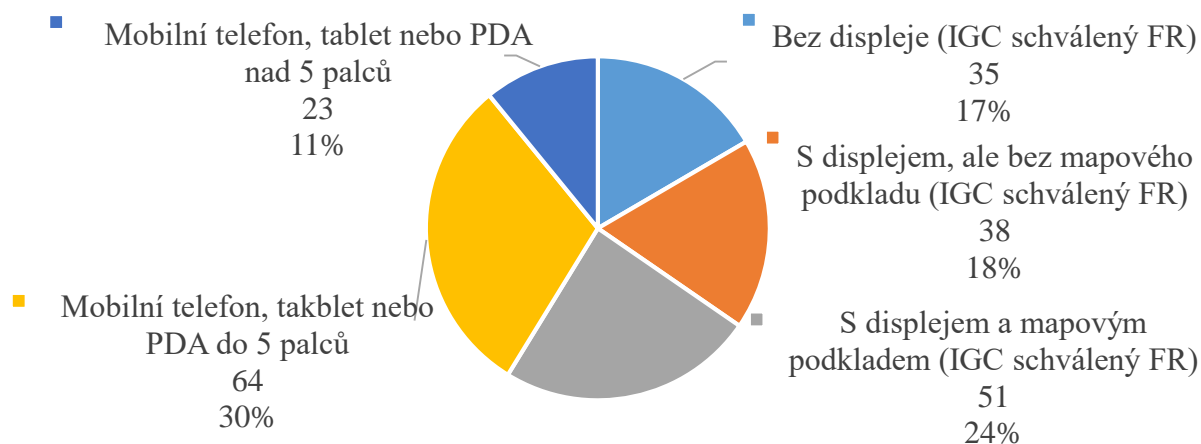


Graf 3: otázka 3: Máte v letadle vestavěný GNSS přístroj?

Nadpoloviční většina pilotů využívá volné přístroje. Vzhledem k tomu, že jsou značně levnější, to není překvapující.

6.2.4 Otázka 4: Jaký typ GNSS přístroje používáte?

Zde již zacházíme do detailnějšího rozdělení přístrojů. Jednotlivé typy jsou opět popsány v předchozích kapitolách. V nabídce bylo možné zvolit z více možností.



Graf 4: otázka 4: Jaký typ GNSS přístroje používáte?

Kombinace typů přístrojů používaných piloty	Počet pilotů
Bez displeje (IGC schválený FR)	8
Bez displeje (IGC schválený FR), Mobilní telefon, tablet nebo PDA do 5 palců	16
Bez displeje (IGC schválený FR), Mobilní telefon, tablet nebo PDA nad 5 palců	4
Bez displeje (IGC schválený FR), S displejem a mapovým podkladem (IGC schválený FR)	2
Bez displeje (IGC schválený FR), S displejem a mapovým podkladem (IGC schválený FR), Mobilní telefon, tablet nebo PDA do 5 palců	2
Bez displeje (IGC schválený FR), S displejem, ale bez mapového podkladu (IGC schválený FR), Mobilní telefon, tablet nebo PDA do 5 palců	3
Mobilní telefon, tablet nebo PDA do 5 palců	16
Mobilní telefon, tablet nebo PDA nad 5 palců	8
S displejem a mapovým podkladem (IGC schválený FR)	26
S displejem a mapovým podkladem (IGC schválený FR), Mobilní telefon, tablet nebo PDA do 5 palců	9
S displejem a mapovým podkladem (IGC schválený FR), Mobilní telefon, tablet nebo PDA nad 5 palců	7
S displejem, ale bez mapového podkladu (IGC schválený FR)	10
S displejem, ale bez mapového podkladu (IGC schválený FR), Mobilní telefon, tablet nebo PDA do 5 palců	17
S displejem, ale bez mapového podkladu (IGC schválený FR), Mobilní telefon, tablet nebo PDA nad 5 palců	3
S displejem, ale bez mapového podkladu (IGC schválený FR), S displejem a mapovým podkladem (IGC schválený FR)	3
S displejem, ale bez mapového podkladu (IGC schválený FR), S displejem a mapovým podkladem (IGC schválený FR), Mobilní telefon, tablet nebo PDA do 5 palců	1
S displejem, ale bez mapového podkladu (IGC schválený FR), S displejem a mapovým podkladem (IGC schválený FR), Mobilní telefon, tablet nebo PDA nad 5 palců	1

Tabulka 2: kombinace odpovědí na otázku 4

Vzhledem k více možnostem v této otázce není graf 4 tak vypovídající, jak by bylo vhodné. Připojil jsem tedy ještě tabulku 2, která jasně mapuje kombinace typů GNSS přístrojů, se kterými piloti létají.

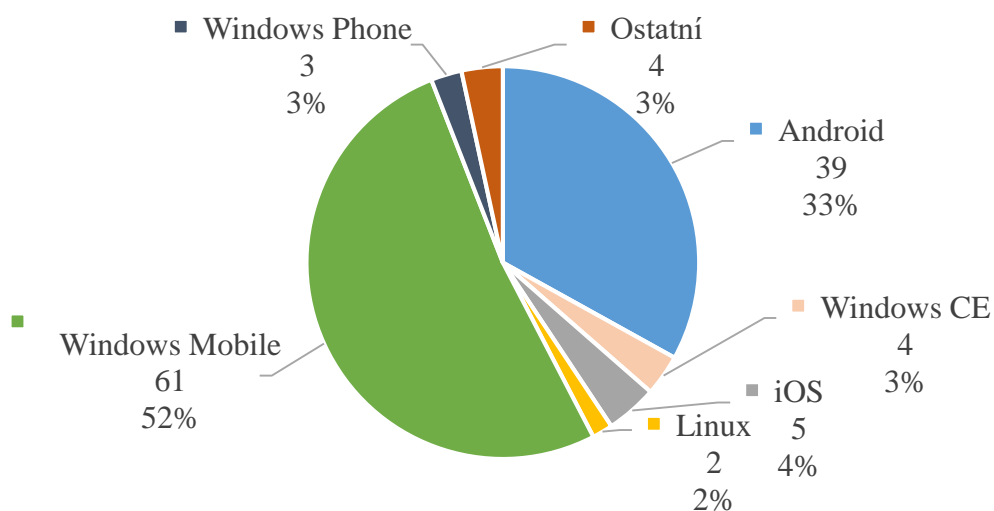
Celkem 28 pilotů uvedlo, že používá IGC schválený přístroj bez displeje a 20 z nich v kombinaci s mobilním zařízením. Není to překvapivé, neboť samotné FR bez displeje neposkytují navigační informace, což je v podstatě hlavní výhoda jejich používání. Tyto přístroje jsou ale značně levnější. Další větší skupina o 20 pilotech používá IGC schválené přístroje s displejem, ale bez mapového podkladu v kombinaci s nějakým mobilním zařízením. Tyto přístroje jsou levnější, než přístroje s mapovým podkladem a poskytují základní navigaci, nicméně mapový podklad je velice důležitý pro celkovou orientaci a přehled (například v aktivních vzdušných prostorech nebo nejbližších alternativních letištích) a jsou také levnější než přístroje s mapovým podkladem. Piloti proto k navigaci mohou použít tablet nebo telefon, který vlastní anebo levnou auto navigaci se správným programem.

Mobilní zařízení samotná pak používá celkem 24 pilotů. Je otázkou do jaké míry správně pochopili otázku, protože odpovědi některých z nich jsou v rozporu. Alespoň u části se tedy dá předpokládat, že používají i IGC schválený FR (ať už s displejem nebo bez). U mobilních zařízeních používaných

v jakékoliv kombinaci pak převládají ty s velikostí displeje do 5 palců. Je to častější volba hned z několika důvodů: jsou skladnější a lépe se pro ně najde vhodné umístění v kabině, většina pilotů již vlastní „chytrý“ mobilní telefon schopný spustit navigační programy, jsou levnější.

51 pilotů pak používá IGC schválené zařízení s displejem a mapovým podkladem v kombinaci s čímkoliv dalším. Je to nejdražší a nejkomfortnější řešení. Při porovnání s otázkou 1 nám vyjde, že 28 pilotů při tom používá vlastní letadlo. 23 potom aeroklubové. Je to vcelku překvapivě těsný výsledek.

6.2.5 Otázka 5: Pokud používáte mobilní zařízení v letadle jako GNSS navigaci, jaký má operační systém?

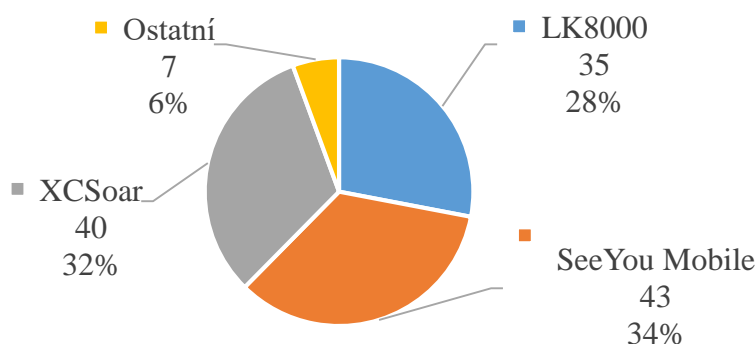


Graf 5: otázka 5: Pokud používáte mobilní zařízení, jaký má operační systém?

Mezi operačními systémy je nejpoužívanější Windows Mobile. V dnešní době se s ním již nesetkáme na běžných mobilních zařízeních. Již v roce 2011 měl podíl na trhu pouze 3% [8] a dál se snižoval. Stále je ale oblíbeným operačním systémem pro PDA a PNA. Tyto přístroje bývají levnějším řešením oproti mobilním telefonům. Jsou také vhodnější ze strany opotřebení. U těchto zařízení pilotům zřejmě nezáleží na výdrži baterie, neboť jsou za letu neustále připojena k napájení. U vlastního mobilního telefonu nebo tabletu naopak chceme výdrž baterie zachovat. Tomu nepřispívají rozdíly teplot (před vzletem bývá v kabině kluzáku velmi vysoká teplota a naopak ve vyšších výškách pod mrakem je kolem 4 °C) a neustálé nabíjení, které tyto zařízení musejí snášet.

Druhou největší skupinou je operační systém Android. Jedná se o v současné době nejrozšířenější operační systém pro mobilní zařízení vůbec. Na konci roku 2015 měl podíl na trhu 80,7% [11]. Na trhu existuje nepřeberné množství zařízení s tímto operačním systémem, včetně těch, s dostatečně kvalitním GNSS čipem, anténou, dobrou čitelností na přímém slunečním světle a dalšími vlastnostmi vhodnými k GNSS navigaci v kluzáku. Cenový rozsah je obrovský. Můžeme pořídit Android zařízení od několika tisíc až po nejlepší modely přesahující cenovku 20 000 Kč.

6.2.6 Otázka 6: Pokud používáte mobilní zařízení v letadle jako GNSS navigaci, jaký navigační software používáte?



Graf 6: otázka 6: Pokud používáte mobilní zařízení v letadle jako GNSS navigaci, jaký navigační software používáte?

Zde se zdá být výsledek vyrovnaný. Každý z těchto navigačních programů má svůj vlastní přístup k zobrazování informací, uživatelskému prostředí a zadávání. LK8000 a XCSoar jsou nezávislé komunitní projekty a jsou zdarma, SeeYou Mobile je oproti tomu profesionální placený program. I s touto nemalou cenou je ale velice používaný. Část uživatelů ovšem může mít tento program opatřený nelegálně, to už však není předmětem této práce.

Windows Mobile a LK8000 používá 26 pilotů. Se SeeYou Mobile ho potom používá 27 pilotů. Android a XCSoar můžeme vidět u 29 pilotů.

Tyto čísla nám poskytují základní rozhled na rozdělení využívání GNSS. Z osobní zkušenosti musím konstatovat, že jsem většinu těchto výsledků očekával.

6.2.7 Důvěryhodnost průzkumu ze statistického hlediska

Je zde vhodné uvést, v jakém rozsahu se pravděpodobně nacházejí reálné hodnoty mimo tento průzkum. K tomuto výpočtu slouží interval spolehlivosti. Je to interval, ve kterém parametr leží s danou pravděpodobností. Přesnost tohoto odhadu je dána šířkou intervalu. Výpočet nelze provést k průzkumu jako k celku, musí se ale udělat pro každou odpověď dané otázky zvlášť.

Použijeme tedy oboustranný interval spolehlivosti pro podíl π . Vzorec:

$$\pi \in p \pm \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \cdot z_{1-\frac{\alpha}{2}} \quad (6.1)[13]$$

kde p je pravděpodobnost úspěchu nebo počet úspěchů ve výběru (v našem případě je to procentuální podíl odpovědí v otázce), n je počet prvků výběru (celkový počet odpovědí na otázku), z je kritická hodnota a α je hladina významnosti.

Nejprve je potřeba si určit hladinu významnosti α . Použijeme oboustranný interval spolehlivosti 95%. Hladina významnosti se tedy bude rovnat 0,05.

$$Z_{1-\frac{\alpha}{2}} = Z_{1-\frac{0,05}{2}} = Z_{0,975} \quad (6.2)[13]$$

Podle výpočtu (6.2) určíme kritickou hodnotu $z_{0,975}$. 0,975 tedy vyhledáme ve statistických tabulkách kvantilů normovaného normálního rozdělení [14]. Kritická hodnota $z_{0,975}$ bude 1,96. Poté už stačí do vzorce (6.1) dosazovat hodnoty z jednotlivých odpovědí otázek.

V následující tabulce se nacházejí vypočítané hodnoty pro ty výsledky, kde intervalový odhad má smysl. Tedy pro odpovědi s dostatečně velkým počtem pilotů hlásících se k nim.

Otázka č.	Odpověď	% pilotů
1	Aeroklubové letadlo	58,0±8,1%
1	Vlastní letadlo	42,0±8,1%
2	Ano, pro IGC záznam i navigaci	84,0±6,0%
2	Ano, jen pro IGC záznam	7,0±4,2%
2	Ano, jen pro navigaci	6,0±3,9%
2	Ne	3,0±2,8%
3	Volný	57,0±8,3%
3	Vestavěný i volný	29,0±7,6%
3	Vestavěný	14,0±5,8%
4	Mobilní telefon, tablet nebo PDA do 5 palců	30,0±6,2%
4	S displejem a mapovým podkladem (IGC schválený FR)	24,0±5,8%
4	S displejem, ale bez mapového podkladu (IGC schválený FR)	18,0±5,2%
4	Bez displeje (IGC schválený FR)	17,0±5,1%
4	Mobilní telefon, tablet nebo PDA nad 5 palců	11,0±4,2%
5	Windows Mobile	52,0±9,0%
5	Android	33,0±8,5%
5	iOS	4,0±3,5%
6	SeeYou Mobile	34,0±8,3%
6	XCSoar	32,0±8,2%
6	LK8000	28,0±7,9%
6	Ostatní	6,0±4,2%

Tabulka 3: výsledky průzkumu s nejistotami

Výsledky výpočtů v tabulce 3 nám říkají, že s jistotou 95% by na danou otázku odpovědělo tímto způsobem určité procento pilotů ± vypočítaných %. Vyplývá z nich, že průzkum není nejpřesnější, ale pro účely práce více než dostačující, neboť poskytuje základní přehled o využívání GNSS přístrojů piloty.

7 Závěr

V kapitole o GNSS jsme si stručně představili globální satelitní navigační systémy. Modernizace starších systémů a zavádění nových dává jasně najevo pozitivní perspektivu těchto systémů do budoucna. Zvláště augmentační systémy GBAS mají velký potenciál pro civilní leteckou dopravu. Jejich celková velká dostupnost má za následek nižší ceny (ať už přijímačů nebo dalších služeb) pro koncové uživatele.

Kapitola tři je věnována výčtu a popisu možností využití GNSS v bezmotorovém létání. GNSS záznam k vyhodnocení letu používají zejména ti piloti, kteří se chtějí dále zlepšovat. Pro ně je tento nástroj naprosto nepostradatelný, protože si díky analyzačním programům mohou zobrazit informace, které by jinak neměli jak získat. Nejzásadnější část je podkapitola o záznamu pro dokládání sportovních výkonů. Tento způsob využití GNSS je nejpřínosnější pro celé bezmotorové létání. Jsou zde popsány požadavky kladené na jednotlivé druhy záznamových zařízení. Zejména pro IGC schválené letové zapisovače jsou požadavky velice přísné a pravidelně aktualizované. Značná část pilotů dnes již využívá GNSS i k navigaci. Pokud je správně využívána dokáže zásadně pomoci rozložení pozornosti pilota. Čas, který by pilot jinak musel obětovat srovnávací navigaci, plachtařským výpočtům, starostí o alternativní letiště a plochy, rozložení vzdušného prostoru a dalším věcem nyní může věnovat pozorování vývoje počasí a hlavně sledování ostatního provozu okolo něj. Na to navazuje další možnost využití GNSS, kterou je snížení rizika kolize s jiným kluzákem. Dnes nejpoužívanější systém FLARM opět uvolňuje část pilotovi pozornosti k dalším starostem. U všech těchto využití GNSS je však neustále třeba mít na paměti, že nejsou neomylné a spoléhat by se pilot měl jen na sebe. GNSS se ještě týkají nouzové lokační vysílače. ELP a PLB nejsou levná záležitost na pořízení, ale je to druh jistoty, který mnozí z nás uvítají.

Další kapitola je věnována samotné aplikaci možností využití GNSS v bezmotorovém létání. Jsou zde popisovány různé varianty u jednotlivých způsobů využití. Je kladen důraz na porovnání placených a neplacených aplikací, stejně jako porovnání levnějších řešení a těch dražších a to včetně funkcí těchto zařízení a aplikací. U přístrojů je porovnávána i spotřeba elektrické energie. Kluzáky nemají motor (většina z nich, a ty které mají, nemají alternátor) a nemohou produkovat elektrickou energii (některé jsou vybaveny solárními panely, ty ale nejsou dostatečnými zdroji), proto je tento údaj vcelku důležitý při nákupu přístroje. Tento přehled by měl sloužit jako základní vodítko pro orientaci v tomto rozsáhlém trhu.

Pátá kapitola se zabývá návrhem osnov pro výuku létání s GNSS. V první části je popsán současný stav předepsané teoretické a praktické výuky. Ze zjištění v této kapitole vyplývá, že v osnovách k teoretické i praktické výuce k vydávání průkazu způsobilosti pilota kluzáků je v současné době zmatek. Přejmenším AeČR by měl vydat aktualizované verze výcvikové dokumentace. V další části je potom uveden návrh pro teoretickou a praktickou osnovu výuky bezmotorového létání s GNSS. Tyto osnovy

se zaměřují na v praxi užitečné znalosti a dovednosti, jež by budoucímu pilotovi mohly pomoci a zamezily nevhodnému používání GNSS (které by mohlo vést až k nehodě). Bylo by žádoucí, kdyby si uceleným seznámením s létáním s GNSS přístroji prošli i starší piloti, kteří se s nimi dosud nenaučili samostatně pracovat.

Kapitola šest řeší zhodnocení zavedení GNSS v bezmotorovém létání. Nejdříve je uveden výčet výhod a nevýhod. Výhody i nevýhody zavedení byly již zmiňovány v průběhu ostatních kapitol, zde jsou však přehledně sepsány spolu s dalším komentářem. Závěr práce je věnován průzkumu využívání GNSS přístrojů piloty kluzáků. Jedná se o hrubý průzkum šířen mezi mé známé piloty a pomocí internetových stránek věnujících se bezmotorovému létání. Z průzkumu jasně vyplývá, že drtivá většina (přibližně 97%) pilotů nějakým způsobem využívá GNSS přístroje. Z osobní zkušenosti musím konstatovat, že se většina výsledků dotazníku dala čekat.

Tato práce by mohla sloužit jako pomůcka při části teoretické výuky navržené v kapitole 5.2. Kromě toho by ji mohli využít piloti, kteří již mají výcvik a pilotní zkoušky za sebou, ale s GNSS přístroji neumí pracovat (nebo umí, ale pouze naprosté základy). Za dobu, kdy bezmotorově létám v aeroklubových podmínkách se mi opakovaně stává, že mě starší piloti žádají o pomoc a radu při práci s GNSS přístroji (ať už jde o COTS nebo přímo IGC schválené letové zapisovače). Práce právě jim poskytne rozhled v problematice a dalo by se čekat, že poté budou mít schopnost dohledat si další informace, které je zajímají sami. Víím, že by pomohla i mně, protože pracovat s GNSS přístroji jsem se musel postupně naučit sám.

Použité zdroje

- [1] Nařízení Komise (EU) č. 1178/2011 ze dne 3. listopadu 2011, kterým se stanoví technické požadavky a správní postupy týkající se posádek v civilním letectví podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 216/2008. In: *Úřední věstník Evropské unie: Právní předpisy* [online]. © Evropská unie, 1998-2016, 2011 [cit. 2016-08-18]. ISSN 1977 0626. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:311:FULL:CS:PDF>
- [2] ÚCL. CAA-ZLP-049: Způsobilost pilotů kluzáků - dle předpisu L1. In: *Úřad pro civilní letectví* [online]. Praha, 2015 [cit. 2016-08-18]. Dostupné z: http://www.caa.cz/file/7587_1_1/
- [3] ÚCL. CAA-ZLP-161 Způsobilost pilotů kluzáků - dle Aircrew Regulation [online]. Praha, 2015 [cit. 2016-08-18]. Dostupné z: http://www.caa.cz/file/7588_2_1/
- [4] ÚCL. *Rozhodnutí č. 2011/016/R* [online]. Praha, 2013 [cit. 2016-08-18]. Dostupné z: http://www.caa.cz/file/6493_1_1/
- [5] AeČR. *ZKUŠEBNÍ OSNOVY Os15: pro teoretické zkoušky pilotů kluzáků (GLD) a pilotů motorových kluzáků (TMG) civilního letectví* [online]. 2005 [cit. 2016-08-18]. Dostupné z: https://cloud.aecr.cz/index.php/s/kxSOxocjsTlcJL6/download?path=%2FOsnovy%20pro%20v%C3%BDcvik%2FBezmotorov%C3%A9&files=os-15_2005.pdf
- [6] AeČR. *OSNOVY VÝCVIKU NA KLUZÁČÍCH AK-PL 2006: Osnovy pro výcvik na kluzácích, motorových kluzácích, UL kluzácích a UL motorových kluzácích.* [online]. 2006 [cit. 2016-08-18]. Dostupné z: https://cloud.aecr.cz/index.php/s/kxSOxocjsTlcJL6/download?path=%2FOsnovy%20pro%20v%C3%BDcvik%2FBezmotorov%C3%A9&files=AK-PL2006-osnovy_vyvcviku_na_kluzacich.pdf
- [7] *CPSKA.cz: Celostátní plachtařská soutěž* [online]. (c) Jiří Mlejnek, 2016 [cit. 2016-08-18]. Dostupné z: <http://cpska.cz/public/index3.php>
- [8] Apple and Google dominate smartphone space while others scramble. EPSTEIN, Zach. *BGR: Mobile and tech news, reviews, opinions and insights* [online]. 2011 [cit. 2016-08-18]. Dostupné z: <http://bgr.com/2011/12/13/apple-and-google-dominate-smartphone-space-while-other-vendors-scramble/>
- [9] FAI. *ANNEX B to FAI SPORTING CODE SECTION 3: REQUIREMENTS FOR EQUIPMENT USED IN THE VALIDATION OF FLIGHT PERFORMANCES* [online]. 2.

- Lausanne, 2015 [cit. 2016-08-18]. Dostupné z:
<http://www.fai.org/component/phocadownload/category/?download=10724:sc3b-with-all10a-2016-2-15>
- [10] FAI. *TECHNICAL SPECIFICATION FOR GNSS FLIGHT RECORDERS* [online]. 2. Lausanne, 2016 [cit. 2016-08-18]. Dostupné z:
<http://www.fai.org/component/phocadownload/category/855-technicalspecifications?download=11005:igc-fr-spec-with-al4a-2016-4-10>
- [11] Gartner Says Worldwide Smartphone Sales Grew 9.7 Percent in Fourth Quarter of 2015. *Gartner Inc.: Technology Research* [online]. Egham, 2016 [cit. 2016-08-18]. Dostupné z: <http://www.gartner.com/newsroom/id/3215217>
- [12] *Naviter.com: Shop* [online]. 2016 [cit. 2016-08-18]. Dostupné z: <https://b2b.naviter.com/>
- [13] NAGY, Ivan a Pavla PECHÁRKOVÁ. FD ČVUT. *Statistika*[online]. Praha, 2010 [cit. 2016-08-18]. Dostupné z: <http://nagy.rudolfpohl.cz/Statistika/Statistika.pdf>
- [14] VYSOKÁ ŠKOLA EKONOMICKÁ V PRAZE FAKULTA INFORMATIKY A STATISTIKY KATEDRA STATISTIKY A PRAVDĚPODOBNOSTI. *Statistika: tabulky* [online]. Praha, 2006 [cit. 2016-08-18]. Dostupné z:
<http://statistika.vse.cz/download/materialy/tabulky.pdf>
- [15] PRAVIDLA CELOSTÁTNÍ PLACHTAŘSKÉ SOUTĚŽE CPS-Online: www.cpska.cz. AEROKLUB ČESKÉ REPUBLIKY, PLACHTAŘSKÁ KOMISE AEČR. *CPSKA.cz* [online]. 2012 [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: http://www.cpska.cz/public/docs/rules/cps2013_zm1.pdf
- [16] Sporting Code: Section 3 - Gliding, CLASS D (gliders) including Class DM (motorgliders). FAI. *FAI portal: The World Air Sports Federation* [online]. Lausanne, 2015 [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: http://www.fai.org/downloads/igc/SC3_2015
- [17] All IGC-approved FRs - table, links to approval documents, general information and history 2016-8-3. FAI, IGC. *FAI portal: The World Air Sport Federation* [online]. Lausanne, 2016 [cit. 2016-08-19]. Dostupné z:
<http://www.fai.org/component/phocadownload/category/?download=11350:2016-8-3a-tables-a-info-on-all-igc-approved-frs>
- [18] Sporting Code: Section 3 - Gliding, Annex C, Official Observer & Pilot Guide. FAI, IGC. *FAI portal: The World Air Sports Federation* [online]. Lausanne, 2015 [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <http://www.fai.org/downloads/igc/SC3C>

- [19] Sporting Code rules on IGC Position Recorders: 1 October 2014. FAI, IGC. *FAI portal: The World Air Sports Federation*[online]. Lausanne, 2014 [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <http://www.fai.org/component/phocadownload/category/1081-position-recorders?download=8673:igc-pr-rules-2014-10>
- [20] IGC File Format homepage. FORSTER-LEWIS, Ian. *Forster-Lewis homepage* [online]. [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: http://carrier.csi.cam.ac.uk/forsterlewis/soaring/igc_file_format/
- [21] IGC FILE FORMAT REFERENCE AND DEVELOPERS' GUIDE. FORSTER-LEWIS, Ian.*Forster-Lewis homepage* [online]. 2009 [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: http://carrier.csi.cam.ac.uk/forsterlewis/soaring/igc_file_format/igc_format_2008.html
- [22] FLARM TECHNOLOGY LTD. *FLARM Technology: The award-winning collision avoidance system for General Aviation* [online]. Baar, Switzerland [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <http://flarm.com/>
- [23] BAS Data Sheet No 6: Electronic Collision Avoidance. FEAKES, Dickie. *Bicester Aviation Services: The Glider Pilot's Technical Website* [online]. 2012 [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <http://www.bas.uk.net/data6.html>
- [24] Aktuelles Beispiel: Segelfliegen und Technik. *Florianjb: Segelfliegen, Aikido und Technik* [online]. [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <https://florianjb.wordpress.com/2013/03/22/aktuelles-beispiel-segelfliegen-und-technik/>
- [25] *Internation Cospas-Sarsat* [online]. 2014 [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <http://www.cospas-sarsat.int/en/>
- [26] Není důležité vidět, ale být viděn. ŠTROP, Marek.*Aeroweb.cz: Informační server pro piloty a zájemce o létání* [online]. 2010 [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: http://www.aeroweb.cz/clanek.asp?ID=2195&stranka=1&zobr_typ=0
- [27] Current LEOSAR/GEOSAR Space Segment Status and SAR Payloads. *Internation Cospas-Sarsat*[online]. 2014 [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <https://www.cospas-sarsat.int/en/system/space-segment-status-pro/current-space-segment-status-and-sar-payloads-pro>
- [28] Detailed Cospas-Sarsat System Description.*Internation Cospas-Sarsat* [online]. 2014 [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <http://www.cospas-sarsat.int/en/system-overview/detailed-cospas-sarsat-system-description>

- [29] Cumulus Soaring, Inc.: Flight Recorder Comparison. *Cumulus Soaring, Inc.* [online]. Savage, Minnesota [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <https://www.cumulus-soaring.com/flightrecorders.htm>
- [30] "ERIXX" GPS letový zapisovač: IMI Gliding. *IMI Gliding: Inovation is our pleasure* [online]. Poříčí nad Sázavou, 2012 [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <http://www.imi-gliding.com/cs/products/erixx-gps-letovy-zapisovac.html>
- [31] ADOBA Elektronik: FLARM Display "V3". *ADOBA Elektronik: Home* [online]. Walliswil b. Wangen, Switzerland, 2016 [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <http://www.aboba.ch/FLARM-Display-and-equipment/FLARM-Display-V3/>
- [32] *Plachtařský obchod: OskarKilo.eu* [online]. Raná, 2015 [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <http://www.oskarkilo.eu/>
- [33] *MilenAir Glider Supplies: Avionics - Pilot Shop*[online]. Hoogeveen, The Netherlands [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <http://www.oskarkilo.eu/>
- [34] *GFAC HOME: web site of the Chairman of the GNSS Flight Recorder Approval Committee* [online]. [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <http://www.ukiws.demon.co.uk/GFAC>
- [35] Home of GPLIGC & OGIE. KRÜGER, Hannes. *Hannes Krüger* [online]. Innsbruck, 2016 [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <http://pc12-c714.uibk.ac.at/GPLIGC/GPLIGC.php>
- [36] 8F COMPUTER PC UND INTERNET SERVICE GMBH. *StrePla Streckenflugplanung und Auswertung: Flight planning and analysing for glider pilots* [online]. Bad Homburg [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <http://www.strepla.de/Index.htm>
- [37] ELT 406 MHz: ME406. *AIR TEAM: Aircraft Parts & Pilot Supplies The Next Generation* [online]. Veverská Bítýška, 2016 [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <https://airteam.eu/cs/shop/gliding/elt-plb/elt-406-mhz/me406-detail#popis>
- [38] BHATTA, B. *Global navigation satellite systems: insights into GPS, GLONASS, Galileo, Compass, and others*. Hyderabad: BS Publications, c2011. ISBN 978-0-415-66560-5.
- [39] GIBBONS MEDIA & RESEARCH LLC. *Inside GNSS: Engineering Solutions from the Global Navigation Satellite System Community* [online]. Eugene, Oregon [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <http://www.insidegnss.com/>
- [40] © EUROPEAN GNSS AGENCY. *European GNSS Service Centre* [online]. Praha [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <http://www.gsc-europa.eu/>

- [41] NATIONAL COORDINATION OFFICE. *Welcome to GPS.gov: Official U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics* [online]. 2016 [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <http://www.gps.gov/>
- [42] *Information and analysis center for positioning, navigation and timing* [online]. Korolyov, 2016 [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <https://www.glonass-iac.ru/en/index.php>
- [43] *BeiDou Navigation Satellite System* [online]. [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <http://en.beidou.gov.cn/>
- [44] *QZSS (Quasi-Zenith Satellite System): Cabinet Office (Japan)* [online]. 2016 [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <http://qzss.go.jp/en/index.html>
- [45] *ISRO - Government of India: Indian Space Research Organisation* [online]. Bengaluru, 2016 [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <http://www.isro.gov.in/>
- [46] *Main Page GNSS: Navipedia* [online]. [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: http://www.navipedia.net/index.php/Main_Page_GNSS
- [47] EL-RABBANY, Ahmed. *Introduction to GPS: the Global Positioning System*. Boston: Artech House, c2002. {The }Artech House mobile communications series. ISBN 1-58053-183-0.
- [48] Basic GPS: Satellite geometry and Accuracy measures - Geometrical interpretation of Dilution of Precision DOP. *The National Programme on Technology Enhanced Learning* [online]. [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: http://nptel.ac.in/courses/105104100/lectureB_11/B_11_3GDOP.htm
- [49] AIRCRAFT BASED AUGMENTATION SYSTEM: Systém rozšíření GNSS na palubě letadla. *Řízení letového provozu: projekt 21X1RL/21X2RL*[online]. Praha, 2012 [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <https://www.fd.cvut.cz/projects/k621x1rl/Old/dokumenty/ABAS.ppt>
- [50] *Český Kosmický Portál - odbor ITS, kosmických aktivit a VaVal: Informační stránky Koordinační rady ministra dopravy pro kosmické aktivity*[online]. 2015 [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <http://www.czechspaceportal.cz/>