



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Kateřina Půlpánová

**SLEDOVÁNÍ LETU VE SPORTOVNÍM A  
VŠEOBECNÉM LETECTVÍ**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

2018

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



**K621..... Ústav letecké dopravy**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Kateřina Půlpánová**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**B 3710 – LED – Letecká doprava**

Název tématu (česky): **Sledování letu ve sportovním a všeobecném letectví**

Název tématu (anglicky): Flight Monitoring at Sport and General Aviation

**Zásady pro vypracování**

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

- Základní parametry systémů pro sledování letu
- Aplikace systémů pro sledování letu v letecké akrobacii
- Aplikace systémů pro sledování letu ve všeobecném letectví
- Porovnání dostupných řešení



- 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: FAI Sporting Code, Section 6  
Commission Regulation (EU) No 748/2012  
Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems, Paul D. Groves

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jakub Kraus, Ph.D.**  
**Ing. Vladimír Machula**

Datum zadání bakalářské práce: **20. října 2017**  
(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: **27. srpna 2018**  
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

Ing. Jakub Kraus, Ph.D.  
vedoucí  
Ústavu letecké dopravy



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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Kateřina Půlpánová  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 20. října 2017

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat svým vedoucím práce, panu doc. Ing. Jakubu Krausovi, Ph.D. a panu Ing. Vladimíru Machulovi za cenné rady při zpracování této práce. Dále za jejich odborný, ale lidský přístup, při všech konzultacích a za mentální podporu a shovívavost.

Dále bych chtěla poděkovat rodině a přátelům, kteří mě dnem i nocí nevyčerpávajícím temperamentem motivovali, poskytovali morální a materiální podporu, po celou dobu studia.

## PROHLÁŠENÍ

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

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

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

V Praze dne 27.8.2018

  
podpis

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

FAKULTA DOPRAVNÍ

**SLEDOVÁNÍ LETU VE SPORTOVNÍM A VŠEOBECNÉM LETECTVÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

srpen 2018

Kateřina Půlpánová

**ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá analýzou a srovnáním zařízení pro sledování letadel v kategorii všeobecného letectví. Obecně srovnává aktuálně běžně dostupná řešení a definuje specifické požadavky na optimální řešení, které se hodí pro sportovní a soutěžní létání.

**ABSTRACT**

This Bachelor thesis analyses and compares devices suitable for aircraft monitoring in General aviation category. Currently, available solutions are compared and evaluated. It also defines specific system requirements for tracking device suitable for sports and competition flying.

**KLÍČOVÁ SLOVA**

monitoring letadel, sledování letu, všeobecné letectví, sportovní létání

**KEY WORDS**

aircraft monitoring, flight tracking, General aviation, sports flying

## Obsah

Seznam použitých zkratk	5
Seznam obrázků	6
Seznam tabulek	6
ÚVOD	7
1. BEZPEČNOST V LETECTVÍ	9
1.1. INCIDENT	9
1.2. LETECKÁ NEHODA	9
1.3. ODBORNÉ PRÁCE, KTERÉ SE ZABÝVALY OBDOBNÝM TÉMATEM	11
2. ZÁKLADNÍ PARAMETRY SYSTÉMŮ PRO SLEDOVÁNÍ LETU	13
2.1. URČENÍ PARAMETRŮ	13
2.2. EXISTUJÍCÍ PRODUKTY NA TRHU	16
2.2.1. EKONOMICKY NÁROČNÉ ŘEŠENÍ	16
2.2.2. EKONOMICKY PŘIJATELNÉ ŘEŠENÍ	17
2.3. SROVNÁNÍ MOŽNOSTÍ EXISTUJÍCÍCH NA TRHU	23
2.4. TECHNOLOGIE	24
2.4.1. MĚŘENÍ POLOHY, AKCELERACE A ROTACE	24
2.4.2. ZÁKLADY GNSS NAVIGACE	25
2.4.3. INERCIÁLNÍ NAVIGAČNÍ SYSTÉM	25
2.4.4. PŘENOS DAT Z POHYBUJÍCÍCH SE OBJEKTŮ	26
3. APLIKACE SYSTÉMŮ PRO SLEDOVÁNÍ LETU – Všeobecné letectví	28
3.1. HISTORICKÝ ÚVOD	28
3.2. SOUČASNOST VŠEOBECNÉHO LETECTVÍ	28
3.3. FUNKČNÍ PARAMETRY PŘI APLIKACI MONITOROVÁNÍ PROVOZU VE VŠEOBECNÉM LETECTVÍ	30
3.4. MONITOROVÁNÍ PROVOZU VE VŠEOBECNÉM LETECTVÍ	32
3.5. REALIZOVATELNOST NÁVRHU, CENOVÁ NÁROČNOSTI/DOSTUPNOST	34
3.6. VYUŽITELNOST SYSTÉMU	34
4. APLIKACE SYSTÉMŮ PRO SLEDOVÁNÍ LETU – Sportovní letectví	35
4.1. HISTORICKÝ ÚVOD	35
4.2. SOUČASNOST LETECKÉ AKROBACIE, FAI A CIVA	35
4.3. MONITOROVÁNÍ PROVOZU VE SPORTOVNÍM LETECTVÍ	38
4.4. STRUKTURA SYSTÉMU AHMD	41
4.5. REALIZOVATELNOST NÁVRHU, CENOVÁ NÁROČNOST/DOSTUPNOST	41
4.6. ZVYŠOVÁNÍ BEZPEČNOSTI	41
5. ZÁVĚR	42

POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE..... 43

## Seznam použitých zkratk

AFIS	Aerodrome Flight Information Service	Letecká informační služba
GSM	Global System for Mobile Communications	Globální systém pro mobilní komunikace
PIC	Pilot in command	Velitel letounu
ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
FAA	Federal Aviation Administration	Federální úřad pro civilní letectví v USA
METAR	Aviation Routine Weather Report	Pravidelná hlášení meteorologických informací
NOTAM	Notice to Airmen	Poznámky pro letce
SMS	Safety Management systém	Systém a přístup k provozní bezpečnosti
FDM	Flight Data Monitoring	Obecný systém pro sledování letu
EASA	European Aviation Safety Agency	Evropská agentura pro bezpečnost v letectví
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance – Broadcast	Automatický závislý přehledový systém - vysílač
GNSS	Global Navigation Satellite Service	Globální družicový navigační systém
CTR	Control Zone	Řízený okrsek
TMA	Terminal Control Area	Koncová řízená oblast
ČVUT FEL	České vysoké učení technické Fakulta elektrotechnická	
ADS-R	Automatic Dependent Surveillance – Receiver	Automatický závislý přehledový systém - přijímač
UAT	Universal Acces Tranceiver	Automatický závislý přehledový systém
EMC	Electromagnetic Compability	Elektromagnetická kompatibilita
CAMO	Continuing Airworthiness Management Organisation	Řízení zachování letové způsobilosti



## Seznam obrázků

Obrázek 1 – Graf fatálních leteckých nehod letadel přepravujících nad 14 cestujících od roku 1942 do roku 2017. Graf nezahrnuje vojenské a business lety, zdroj podkladů grafu: <a href="https://aviation-safety.net/statistics/period/stats.php?cat=A1">https://aviation-safety.net/statistics/period/stats.php?cat=A1</a> .....	10
Obrázek 2 – Graf incidentů letadel přepravujících nad 14 cestujících od roku 1942 do roku 2017. Graf nezahrnuje vojenské a business lety, zdroj podkladů k grafu: <a href="https://aviation-safety.net/statistics/period/stats.php?cat=A1">https://aviation-safety.net/statistics/period/stats.php?cat=A1</a> .....	10
Obrázek 3 - Příklad filtrace pomocí filtru klouzavého okna, zdroj: [21] .....	15
Obrázek 4 – Zařízení Cupertino, zdroj obrázku: <a href="https://www.fid-avionics.com/cz/">https://www.fid-avionics.com/cz/</a> .....	18
Obrázek 5 – Momook webové rozhraní, zdroj obrázku: <a href="https://momook.com/">https://momook.com/</a> .....	19
Obrázek 6 – Momook zařízení, zdroj obrázku: <a href="https://momook.com/">https://momook.com/</a> .....	20
Obrázek 7 – POWERFLARM CORE ADS-B, zdroj obrázku: <a href="https://flarm.com/products/">https://flarm.com/products/</a> .....	21
Obrázek 8 – Zobrazení stránek v zařízení COLIBRI X od společnosti LX navigation, zdroj obrázku: <a href="http://www.lxnavigation.com/flight-records-colibri-x/">http://www.lxnavigation.com/flight-records-colibri-x/</a> .....	22
Obrázek 9 – Garmin GDL Data Logger.....	23
Obrázek 10 – Navigační příprava k letu, zdroj obrázku: KDÉR, František. Učebnice sportovního letce. Naše vojsko, Svazarm, 1980. ISBN 28-017-80, obrázková příloha.....	29
Obrázek 11 - Záznam letu z ONI Systému.....	33
Obrázek 12 - Záznam letu z AHMD systému.....	33
Obrázek 13 – Zlín 50, OK-RRD, zdroj obrázku: Archiv Aeroklubu České republiky.....	36
Obrázek 14 Čarový rozhodčí měřící čas akrobatického letadla přesahující hranice boxu, zdroj obrázku: Archiv Aeroklubu České republiky. ....	37
Obrázek 15 - Graf výšky letu ze zařízení AHMD.....	38
Obrázek 16 - Graf naměřených hodnot přetížení ze zařízení AHMD.....	40

## Seznam tabulek

Tabulka č. 1 – Porovnání dostupných produktů na trhu dle požadavků na systém .....	23
--	----

# ÚVOD

Letectví je nejmladší odvětví dopravy a je považováno za jednu z nejkompexnějších činností člověka. Jeho počátek se datuje ke konci 19. století. První pokusy o létání byly spojené s extrémní nehodovostí a některé projekty končily fatálně, avšak v současné době se i přes složitost a komplikovanost letecké dopravy jedná o nejbezpečnější způsob dopravy. Bezpečnost má zvyšující se trend celosvětově ve všech oborech lidského působení a letectví nezůstává pozadu. Je poptávka po čím dál větším objemu přepravy a vyšší spolehlivosti technologií využívaných právě v letecké dopravě. Aby byl trend zvyšující se bezpečnosti zachován a počet leteckých nehod se snižoval, byl vyvinut nespočet systémů, produktů a nástrojů právě ke zvyšování úrovně bezpečnosti.

V dopravním letectví existují produkty, které pomáhají všem složkám letecké dopravy v komplexním předávání informací. V současné době je snaha minimalizovat možnosti, že by nebyla známá poloha daného letu v prostoru v téměř reálném čase k dispozici potřebným složkám. Je snaha, aby všechny lety byly pečlivě sledovány a kontrolovány.

V případě všeobecného letectví, které zahrnuje i piloty létající v rámci své volnočasové aktivity (létání nebudou vykonávat jako svoje zaměstnání) a žáky ve výcviku, tak lze říci, že úroveň bezpečnosti podle statistik EASA (European Aviation Safety Agency) zásadně stoupá. Samotná analýza incidentů a nehod je výrazně složitější, díky neexistenci plošného zabezpečení tohoto leteckého provozu komplexním sledováním letu. Důvody jsou různé – finanční náročnost, objemnost a tíha zařízení, certifikace, infrastruktura a mnohé další aspekty.

Přesto všechno se s vyvíjenými technologiemi snaží držet krok i všeobecné letectví. Tím, že vybavenost letounů se zlepšuje díky vývoji malých přenosných zařízení, stává se tak letectví v určitých aspektech jednodušším pro nové a stávající piloty. Taková řešení jsou převážně užívána pro výcvikové lety, při intenzivnějším půjčování letadel atd. Systém potom také slouží k účtování letů a k podpoře administrativy při udržování způsobilosti letadel.

V posledních pár letech se začínají na trhu objevovat produkty, které umí do jisté míry sledovat průběh letu. Toto sledování má své výhody i nevýhody, avšak z hlediska bezpečnosti převažují výhody. V této práci jsou rozebrány produkty již dostupné na trhu. Každým dnem se technologie posouvá dopředu, proto jsou uvedeny zejména ty nejvýznamnější. Všeobecné letectví je pro účel této práce vhodné rozdělit na více podskupin. Největšími skupinami je výcvik a sportovní letectví. Do všeobecného letectví řadíme také lety zvláštního charakteru, letecké práce, soutěžní létání, lety za účelem propagace letectví atd. Pro účely práce je použito rozdělení na sportovní létání a všeobecné letectví obecně.

V první kapitole jsou popsány práce, které se obdobnými tématy již zabývaly – sledováním letu, produkty dostupnými na trhu anebo konkrétním návrhem přenosu dat v reálném čase. Dále je rozebírán rozdíl mezi leteckou nehodou a incidentem, čemu je snaha se vyvarovat, pokud hledáme na trhu produkty, které by pomohly okamžité lokaci letadla v prostoru.

Ve druhé kapitole jsou stanoveny požadavky, co má zařízení umět a zda tyto požadavky splňuje. Zařízení, které nejlépe splňuje požadavky je vybráno na testovací let. Pokud tyto podmínky splní, je vhodné pro další využívání. Pokud je nesplní, je nutné navrhnout zlepšení systému a jeho technologie, který dosud není dostupný na trhu, avšak kladené požadavky bude splňovat.

Tento návrh zlepšení je aplikován na systém, znovu testován v aplikaci ve všeobecném letectví (Kapitola 3) a následně v letectví sportovním (Kapitola 4). V těchto kapitolách je úvodem stručně shrnuta historie daného odvětví, dále stanoveny požadavky a určeny parametry na konkrétní odvětví letectví, v neposlední řadě porovnány výstupy ze systémů a určena využitelnost a realizovatelnost zvoleného systému.

Cílem bakalářské práce je porovnat již existující zařízení pro sledování letu dostupných na trhu pro všeobecné a sportovní letectví. Ze stanovených požadavků je možné určit, zda je konkrétní systém vhodný pro stanovené parametry. Pokud tomu tak je, pak je nutné verifikovat, zda těmto kritériím opravdu odpovídá a zda je využitelný se všemi funkcemi, které výrobce uvádí nebo zda je potřeba vyvinout systém, který ještě na trhu není. Pokud by se dalo využít zařízení, které už na trhu je, využít jeho data nasbíraná za několik let v provozu a zanalyzovat je.

## 1. BEZPEČNOST V LETECTVÍ

Ideální stav bezpečnosti je naprostá eliminace veškerých leteckých nehod a incidentů. Letectví je však stále řízeno a vykonáváno člověkem a zatím nebyl nalezen způsob, jak faktor lidského činitele odstranit. Pokud by se však odstranil lidský faktor, stále může selhat technika. Je zřejmé, že vždy bude určitou mírou ovlivňováno lidskými chybami, selháními či kreativitou.

Od roku 1942 do roku 2017, tedy 71 let vedení statistik o leteckých nehodách, je možné určit trend nehodovosti. Definice incidentu a letecké nehody je uvedena v následujících odstavcích. [16]

### 1.1. INCIDENT

Incident je jakákoliv skutečnost, která by mohla vést k letecké nehodě, avšak ještě nenastala – pouze nasvědčuje tomu a vytváří vážný předpoklad, že by mohla být narušena bezpečnost letového provozu. Incidentsy mohou být zapříčiněny chybou lidského činitele, letecké a pozemní techniky či zabezpečení samotného leteckého provozu. Mezi incidenty se řadí i „zásahy vyšší moci“, jako nepředvídatelné přírodní jevy (střih větru, výboje statické elektřiny, střety s ptáky apod.) Incidentsy nejsou nutně následovány nouzovými postupy.

### 1.2. LETECKÁ NEHODA

Za leteckou nehodu je označována událost, pokud v čase provozování letadla řízeného pilotem či bezpilotním softwarem nastala některá z těchto situací:

a) některá osoba byla smrtelně nebo těžce zraněna následkem:

- přítomnosti v letadle, nebo
- přímého kontaktu s kteroukoli částí letadla, včetně částí, které se od letadla oddělily, nebo
- přímým působením proudu plynů (vytvořených letadlem),

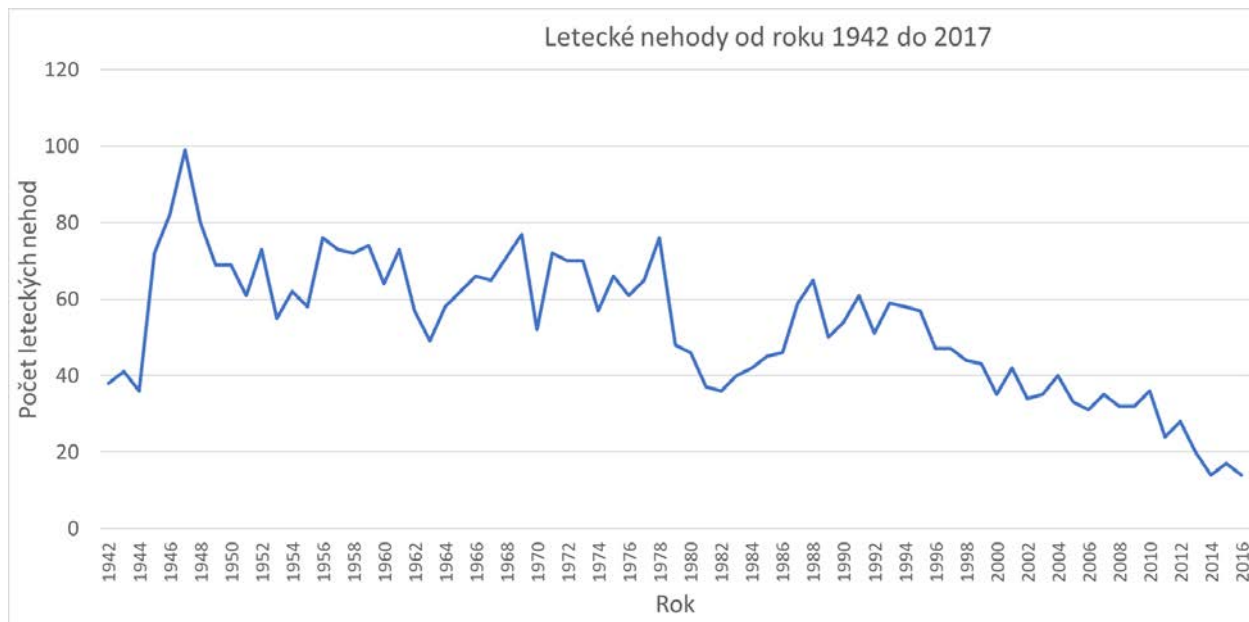
s výjimkou případů, kdy ke zranění došlo přirozeným způsobem, způsobila-li si je osoba sama, bylo zranění způsobeno druhou osobou nebo šlo o černého pasažéra ukrývajícího se mimo prostory běžně používané pro cestující a posádku;

b) letadlo bylo zničeno, nebo poškozeno tak, že poškození:

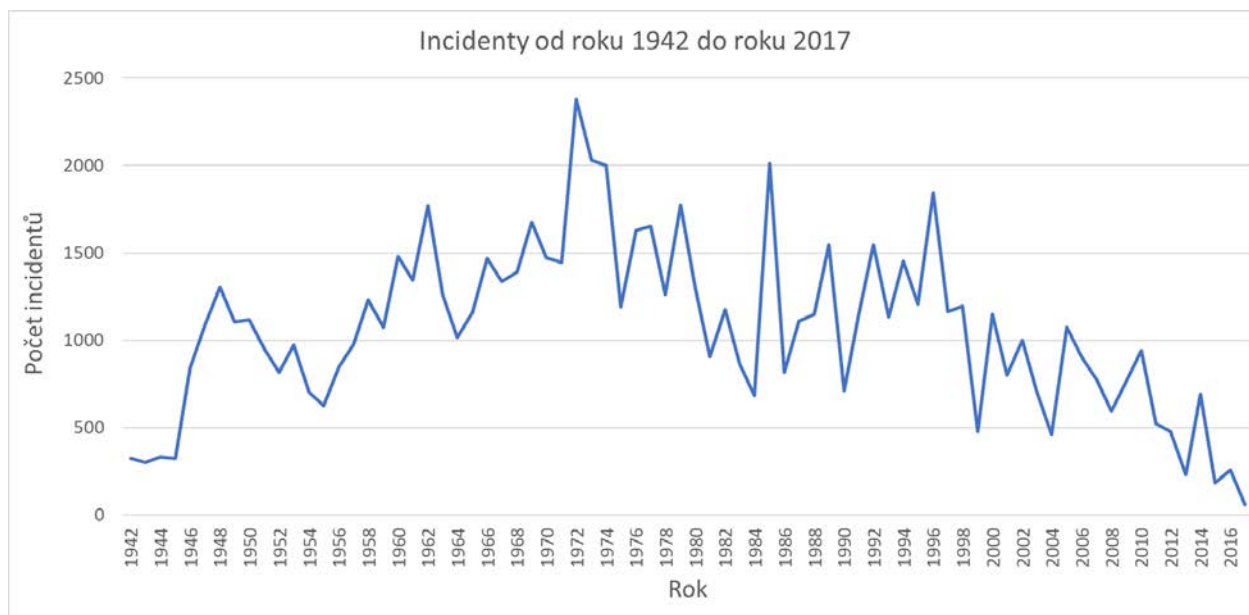
- nepříznivě ovlivnilo pevnost konstrukce, výkon letadla
- nepříznivě ovlivnilo letové charakteristiky letadla
- vyžádá větší opravu nebo výměnu postižených částí [9]

V níže uvedených grafech je možné vyčíst, že letecké nehody i incidentsy mají v dlouhodobém časovém horizontu snižující se charakter. Na počet přepravených osob ročně se jedná o

nejbezpečnější způsob dopravy, který má lidstvo k dispozici. Nehody v letecké dopravě jsou podrobovány velkému zájmu, a to nejen mediálnímu. A proto je velká snaha o jejich odborném přezkoumávání a následném snižování jejich počtu, aby cestující měli potřebnou důvěru v toto odvětví, a tím docházelo k rozvoji jak dopravního, tak i sportovního a všeobecného létání.



Obrázek 1 – Graf fatálních leteckých nehod letadel přepravujících nad 14 cestujících od roku 1942 do roku 2017. Graf nezahrnuje vojenské a business lety, zdroj podkladů grafu: <https://aviation-safety.net/statistics/period/stats.php?cat=A1>



Obrázek 2 – Graf incidentů letadel přepravujících nad 14 cestujících od roku 1942 do roku 2017. Graf nezahrnuje vojenské a business lety, zdroj podkladů k grafu: <https://aviation-safety.net/statistics/period/stats.php?cat=A1>

Tato důvěra může být zvýšena a podpořena zařízeními, která dokážou nejen určit polohu letounu či létajícího zařízení, ale zároveň tuto polohu jsou schopny přenášet na zem. Tímto krokem vzniká možnost odvrácení případné blížící se nehody a v případě vzniklé nehody lze efektivněji uskutečnit pátrání a záchranu. Tyto situace mohou nastávat zejména při výcviku, kdy žák letící navigační let při sóle a ztratí povědomí o své poloze nebo by mohl nenadálý meteorologický jev ohrozit bezpečné provedení letu. V posledním případě zařízení, které odesílá data nejen o poloze, ale zároveň i stavová data a letové parametry, jako např. rychlost letu, přetížení, doba letu, poloha letounu v prostoru apod., kontroluje, zda nedochází k překračování letové a provozní příručky

### 1.3. ODBORNÉ PRÁCE, KTERÉ SE ZABÝVALY OBDOBNÝM TÉMATEM

Vzhledem k tématu práce byla provedena rešerše již zpracovaných témat a níže jsou uvedeny volné výtahy z těchto prací.

- Diplomová práce, Petr, Kučera, Bezdrátový přenos letových údajů z letounu na krátkou vzdálenost.

Diplomová práce zabývající se přenosem dat o GPS pozici a náklonu letadla v prostoru pomocí rádiových vln. Práce řeší sběr dat, jejich odesílání a zpracování v pozemní stanici. Tento sběr dat je umožněn i z vícero zařízení najednou. Jedná o řešení technické, avšak v práci není rozebírán přínos pro letectví. [4]

- Diplomová práce, Vladimír, Machula, Přenos dat z pohybujících se objektů.

Diplomová práce se zabývá přenosem dat z pohybujících se objektů ve třech osách X, Y a Z za pomoci technologie Wi-Fi. Ke zkoumání je využíván akrobatický letoun, který dosahuje relativně velkých rychlostí a přetížení. Práce se zabývá technickým sestavením systému, avšak neřeší jeho přínos pro všeobecné letectví. [3]

- Diplomová práce, Josef, Harant, Elektronický snímač letových parametrů.

Jedná se o diplomovou práci, která se zabývá rozborem elektronického snímače letových parametrů. V práci je rozebírán celkový popis daného zařízení: struktura, konstrukce a software. Řešení je navrhnuté s ohledem na dostupné produkty na trhu, jejich cenu a možnosti dalšího rozšíření softwaru pro další použití v letectví. [7]

- Diplomová práce, Michal, Dolejší, Bezdrátový přenos telemetrických dat.

Diplomová práce na téma bezdrátový přenos telemetrických dat z pohybujících se objektů pomocí rádiového spojení, kde v práci je řešeno teoretické řešení tohoto rádia, a to za použití dostupných technologií na trhu v roce zpracování diplomové práce. Je zde uvedeno několik řešení především s ohledem na ekonomickou náročnost. [5]

- Diplomová práce, Michal, Pánovec, Anténní rotátor.

Tato diplomová práce má obdobné téma zaměření jako všechny předešlé, a to na sledování rychle pohybujících se objektů v prostoru, konkrétně tedy letoun. Práce je však zaměřena na anténní rotátor, jaké požadavky musí být splněny, aby ke sledování mohlo dojít. Zaměřování objektu je pomocí GPS (Global Positioning System) souřadnic v kombinaci s polohou anténního rotátoru. Dále je v práci rozebrán výčet dostupných senzorů na trhu. [6]

- Bakalářská práce, Filip, Bartůněk, Záznam letu a jeho využití pro potřeby letecké školy.

Bakalářská práce se zabývá existujícími produkty na trhu, které jsou schopny snímat letové parametry letounu v provozu, odesílat je do administrátorského rozhraní, kde dochází k dalšímu zpracování těchto dat pro leteckou školu. Výchozí data jsou velice specificky zaměřena na potřeby letecké školy a jsou zde uvedeny možnosti řešení sledování v reálném čase, avšak žádné z nich nejsou vhodné. Buď systémy a jejich konkrétní zařízení nemají vydanou odpovídající certifikaci vyžadovanou EASA nebo pořízení, nákup, instalace a udržování systému jsou příliš nákladné a pro malé letectví neekonomické. [2]

- Bakalářská práce, Radim, Bradáč, Monitorování a vyhodnocování letových dat ve všeobecném letectví.

Cílem práce Radima Bradáče s názvem “Monitorování a vyhodnocování letových dat ve všeobecném letectví” je popsat principy sledování letových dat jako součásti SMS (Safety Management System), porovnání s již využitými řešeními na trhu a návrhem dalších možností využití ve všeobecném letectví. Jsou zde uvedeny události, které v reálném provozu nastávají a návrh zařízení, které je schopné tato data sbírat a zpracovávat. Dále je zde rozebráno využití Safety Management Systemu a poté jeho aplikace na systém FDM (Flight Data Monitoring). [1]

Výše uvedené práce se převážně zabývají konkrétním řešením sledování objektů, a některé jejich závěry lze s výhodou použít pro analýzu aplikace řešení sledování letu i v této práci.

## 2. ZÁKLADNÍ PARAMETRY SYSTÉMŮ PRO SLEDOVÁNÍ LETU

V této kapitole jsou určeny parametry, které zařízení musí umět snímat a odesílat. Dále jsou zde popsány existující produkty na trhu, dále je provedena analýza, zda tyto produkty tyto stanovené parametry splňují. Pokud je nebudou splňovat, je zde uveden návrh technologií, které je potřeba užít v produktu, který není dostupný na trhu.

### 2.1. URČENÍ PARAMETRŮ

Následující stanovené parametry vycházejí z reálného provozu. Největší náročnost sbírání a odesílání dat je při sportovním létání, konkrétně letecká akrobacie. Jelikož se má jednat o zařízení univerzální, parametry pro všeobecné letectví nikdy nedosáhnou těch, co jsou potřeba pro sportovní létání.

- Měření akcelerace ve třech osách X, Y a Z v rozsahu  $\pm 12$  G.

Ve sportovním letectví, konkrétně při letecké akrobacii, je možný pohyb kolem všech tří os. Existují i případy, kdy tento pohyb probíhá současně. Zároveň piloti jsou schopni dosáhnout chvilkově i přetížení přesahující 10G. Stanovením rozsahu 12G vzniká rezerva, že jej piloti nepřekročí, a pokud ano, tak jen na mikrosekundy.

- Měření rotace ve třech osách X, Y a Z v rozsahu  $\pm 800^\circ/\text{s}$ .

Opět se jedná o extrémní případ rychlosti pohybu akrobatických speciálů. Například při auto-rotačních manévrech rychlost rotace v počáteční fázi přesáhne rychlost otáčení i  $390^\circ/\text{s}$ . Existují akrobatické prvky, při kterých se letadlo otáčí okolo všech tří os a poté kombinace rotací okolo tří os může dosáhnout extrémních hodnot, např. přes  $700^\circ/\text{s}$ .

- Měření pozice GPS (Global Positioning System) a rychlosti letounu s co nejvyšším možným počtem měření za sekundu.

Při rychlostech ve všeobecném letectví, což jsou rychlosti do 450 km/h, je vhodná frekvence příjmu dat pozice GPS přibližně  $\pm 1$  příjem signálu za 0,25 sekundy. S takovou frekvencí se dá vhodně a detailně rekonstruovat dráha letu i v případě sportovního letectví.

- On-line přenos dat.

On-line přenos dat je využíván k získávání informací o průběhu letu v reálném čase.

- Ukládání dat do paměti – off-line vyhodnocení.

Všechny lety a průběhy barometrické výšky, polohy v prostoru a přetížení by měla být zaznamenávány do interní paměti zařízení. Pokud by došlo ke ztrátě signálu a přenos dat



by nebyl zajištěn, data by měla být odeslána po znovunavázání spojení - možnost jejich pozdějšího vyhodnocení a zpracování. Pokud by ke spojení nedošlo, data zůstávají v paměti zařízení, dokud nedojde k jejich stažení anebo do vyčerpání úložné kapacity zařízení (alespoň 12 měsíců kontinuálního záznamu. Letoun musí minimálně jednou ročně do servisní organizace CAMO na roční prohlídku, která zároveň zkontroluje správnou funkci zařízení. Zařízení musí být co nejméně uživatelsky náročné a bezúdržbové).

- Autonomní funkce bez nutnosti ovládání pilotem.

Mělo by se jednat o variantu přenosnou (portable) nebo nepřenosnou, tedy pevně umístěnou v kabině letounu. Vždy by se mělo jednat o naprosto autonomní zařízení bez nutnosti jakéhokoliv zásahu člena posádky či technika.

- Způsob signálového zpracování.

Každý mechanismus je zatížen vibracemi. Vibrace by mohly negativně ovlivňovat přesnost naměřených dat a je potřeba je odstranit. Vibrace jsou matematicky popsateľné a je možnost je odstranit pomocí různých typů filtrů. Předpokládá se, že měřený signál je přímo v digitální doméně, a proto lze jednoduše aplikovat nejrůznější algoritmy digitální filtrace.

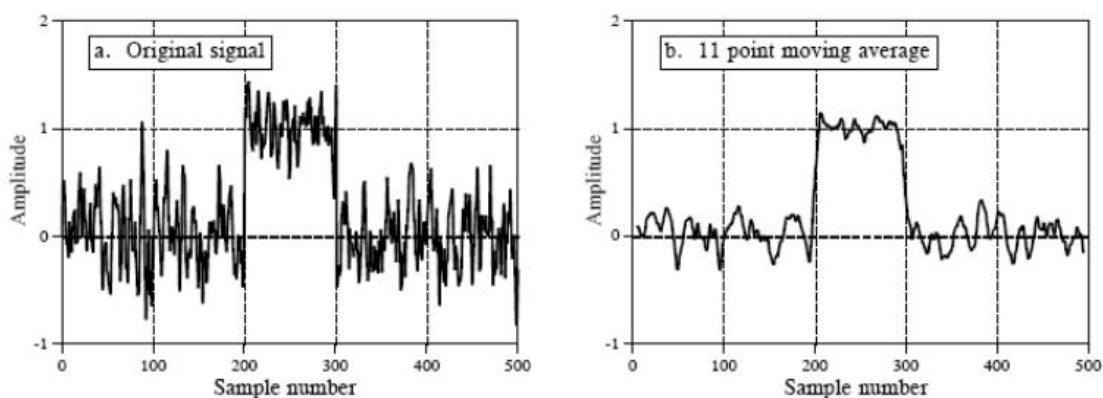
Optimální by bylo aplikovat dva základní druhy filtrací. První slouží k odstranění statických nepřesností způsobených výrobou senzorů, teplotou prostředí, ve kterých jsou měřicí senzory umístěny a další očekávané parametry s vlivem na přesnost. Tuto filtraci lze provádět například pomocí filtrů typu Wiener (Wienerův filtr). Při tomto druhu filtrace je základem statická vlastnost šumu. Při tomto typu filtrace dochází k obnově (rekonstrukci) signálu odstraněním šumu. Rekonstrukce lze realizovat pouze ve frekvenční doméně. Předpokládaný model získání signálu je následující:

$$\text{Výsledný obraz} = \text{Wienerova filtrace} * (G * \text{Originální obraz} + \text{šum})$$

$$G = \text{filtr popsaný přenosem (maska, konvolutorní jádro atp.)}$$

Druhým typem filtrace k odstranění negativních dynamických vlivů na průběh užitečného signálu je zpětnovazební filtrace typu klouzavého okna. U mechanických senzorů pro měření zrychlení, rotace a barometrického tlaku lze pomocí této filtrace ve velké míře eliminovat šum signálu způsobený vibracemi.

Filtrace klouzavým oknem, resp. průměrem, je dána klouzavým průměrem daného vzorku a  $n$  vzorků předchozích. Tento typ filtrace je výhodný pro potlačení krátkodobých výkyvů časové řady. V Obrázku 3 je možné vidět původní, originální, signál a graf signálu po aplikaci filtrace klouzavého okna. [21]



Obrázek 3 - Příklad filtrace pomocí filtru klouzavého okna, zdroj: [21]

- Nízká hmotnost, malé rozměry.

Nízká hmotnost a rozměry jsou nezbytným předpokladem pro využití ve všeobecném a sportovním letectví. Malé letouny jsou limitovány množstvím a váhou nákladu a výstroje. Je důležité výrazně nenarušit vyvážení (centráž) letounu. Váha zařízení by neměla přesáhnout hmotnost několika stovek gramů a rozměry by se neměly přesáhnout 200x200x200 mm (šířka x výška x hloubka).

- Napájení bateriemi nebo z palubní sítě.

Zařízení by mělo mít dvě varianty možnosti napájení. První je napájení z palubní sítě. Pokud dojde k odpojení od palubní sítě, zařízení samo přechází na napájení vnitřními bateriemi. V tomto stavu musí vydržet 12 měsíců bez připojení k nabíjení. Pokud se bude jednat o přenosné zařízení, tak vnitřní baterie musí mít takovou kapacitu, aby vydržela denní provoz opět po dobu 12 měsíců. Systém by měl být co nejméně náročný na údržbu a co nejméně zatěžovat uživatele. Každý letoun musí minimálně jednou za 12 měsíců do roční prohlídky do servisní organizace CAMO, kde v rámci prohlídky dojde ke kontrole správného fungování zařízení umístěného na palubě odborným technikem.

- Nízká spotřeba.

Jak při variantě přenosného zařízení, tak při integrovaném zařízení musí být úroveň odebírané energie minimální, aby spotřebou nebyly zatěžovány další přístroje na palubě, a zároveň aby zařízení bez připojení k palubní síti dokázalo vydržet až 12 měsíců bez znovu dobítí. Letoun musí minimálně jednou za tento časový úsek do roční prohlídky. Měla by být snaha o co nejmenší uživatelskou zátěž. Frekvence odesílání dat, pokud letadlo není v provozu, je pouze při změně některé z veličin. Pokud je letadlo v pohybu, respektive

dojde k významné změně měřených veličin a nebude zařízení připojeno k palubní síti, frekvence odesílání dat se sníží například na jednou za 20 sekund.

- Odolnost proti rušení.

Zařízení musí splňovat odpovídající požadavky na EMC (Electromagnetic Compatibility), tedy odolávat rušení jiných zařízení a zároveň nerušit další zařízení ve své blízkosti.

- Nízké konstrukční a provozní náklady.

Předpokládaná pořizovací cena by neměla přesáhnout 30 tisíc korun českých a provozní náklady zařízení by měly odpovídat nákladům na údržbu ostatního přístrojového vybavení letadla.

- Data, která mají být přenášena z letadla.

Zařízení by mělo umět přenášet mimo GPS souřadnic, akcelerace a rotace, taktéž: barometrickou výšku, intenzitu magnetického pole, teplotu, výstup motorových přístrojů, telemetrii samotného zařízení (v jakém stavu je baterie, výsledky vnitřního testu zařízení, intenzitu rádiového signálu, kalibrační data, teplotu zařízení atp.) [7]

## 2.2. EXISTUJÍCÍ PRODUKTY NA TRHU

V této podkapitole jsou rozebrány systémy a zařízení dostupné na trhu. Jsou zde vybrány pouze ty nejdůležitější či ty dosažitelné z České republiky.

### 2.2.1. EKONOMICKY NÁROČNÉ ŘEŠENÍ

Prvním řešením je ADS-B (Automatic Dependent Surveillance – Broadcast) či Datalink. K využití ADS-B je nutné, aby letadlo disponovalo certifikovaným odpovídačem s módem S s funkcí Extended squitter a certifikovaný zdroj GNSS polohy. GNSS polohu letadla získáme ze zastavěného GNSS modulu či GNSS zařízení (navigace). Nezbytnou součástí je dokumentace k těmto zařízením a profesionální zástavba od firem, která mají oprávnění pro zástavbu avioniky. Dále je nutné disponovat odpovídajícím pozemním přijímačem tohoto signálu. Nabízí se zde možnost využít amatérskou síť jakou je například Flight Radar 24 nebo vytvoření sítě vlastní. Minimální náklady na uvedení do provozu takovéto techniky se v současné době pohybují v řádech stovek tisíc korun. Pro všeobecné letectví jsou tyto částky nemyslitelné. Takový náklad může překročit i samotnou hodnotu letounu.

Dalším vysoce profesionálním řešením může být Datalink. Ač samotná infrastruktura datalinku není nákladná, jelikož již na trhu existuje, musí se však platit poplatky provozovatelů

infrastruktury za každý, jednotlivý přenos. Znovu se dostáváme do stavu, kdy by výše nákladu převýšila samotnou hodnotu letounu i když možná v delším časovém horizontu.

Poslední řešení bez vytváření infrastruktury je založeno na uzavření smluvního vztahu s řízením letového provozu o poskytování jejich přehledových dat získaných z primárních a sekundárních radarů. Tento způsob nejčastěji využívají aerolinie k získávání dat o svých letadlech, avšak zde se vyskytuje problém, že letadla využívaná k všeobecnému letectví (tedy menších rozměrů, výkonnosti a uzpůsobení) se často nenacházejí ve výškách a v oblastech pokrytých touto infrastrukturou. Dalším nedostatkem by byla zpětná identifikace samotného letadla, jelikož Řízení letového provozu může identifikovat pouze letouny s aktivním odpovídačem. V ostatních případech, by se letoun musel neustále nacházet v CTR (Control Zone) či TMA (Terminal Control Area) dané oblasti, kde i když nemá odpovídač, je jeho identifikace zajištěna pomocí radiokomunikace dle pravidel létání platných v EU (European Union) s výjimkou zvláštních případů.

Pro všeobecné civilní letectví jsou tedy vysoce profesionální řešení nepřijatelná z důvodu jejich pořizovacích a udržovacích nákladů. V případě ADS-B i kvůli jeho samotné velikosti a váze a v případě smluvního vztahu díky omezenému prostoru, kde by se letouny musely pohybovat.

## 2.2.2. EKONOMICKY PŘIJATELNÉ ŘEŠENÍ

Všechna následující řešení jsou založena na technologii GNSS (primárně GPS) a GSM. Technologie GSM jsou díky mobilním technologiím velmi rozšířené a existuje velká řada hardwarových variant. Výhodou je i cenová dostupnost pro malé všeobecné letectví a vysoká kvalita.

### 2.2.2.1. FLIGHTTRACK

Flighttrack je český systém zajišťující on-line sledování a zaznamenávání letu. Jedná se o webovou aplikaci, která přenášená data zobrazuje. Zařízení, které je na palubě se jmenuje Cupertino Tracker, zobrazen na obrázku pod oddílem. Software je vyvinutý přímo pro sledování letu, avšak nesplňuje certifikační požadavky EASA (European Aviation Safety Agency).

Data jsou přenášena pomocí GSM modulu. Napájení je řešeno 12V baterií doplněnou solárním panelem pro její opětovné dobíjení. Paradoxem je, že solární panel je ÚCL zakázán, ale naopak EASA povolen. Systém funguje na základě GNSS navigace, má integrovanou GNSS anténu. Senzory použité v zařízení jsou: tlakové čidlo pro měření tlakové výšky, akcelerometr měřící osy X, Y a Z a magnetometr v osách X, Y a Z, který funguje jako elektrický kompas.

Zařízení je také vybaveno pamětí, na kterou jsou ukládány veškeré záznamy z letu. Kapacita paměti je až 1000 letových hodin. Systém dokáže tedy sledovat aktuální polohu letounu v prostoru, je schopen převést informace do mapového a satelitního zobrazení, u evidence letů zobrazuje nastavenou imatrikulaci, čas a místo vzletu a přistání, trasu letu, výškový profil a profil terénu. Systém je schopný generovat statistiky, jak podle pilotů, tak podle náletů samotného letounu v určeném časovém úseku. Data vyexportovaná ze zařízení jsou kompatibilní s Flight Office (Flight Office je software určený pro letecké školy či aerokluby, kde jsou ručně přepisovány veškeré záznamy letů vedené řídicím radiem či AFIS (Aerodrome Flight Information Service)).

cenová dostupnost samotného zařízení je velice nízká, do desítek tisíc korun. Měsíční paušál za webovou aplikaci Flight Track se pohybuje v řádech desítek až stovek korun českých.

Systém vznikl na základě reálných požadavků z provozu a zároveň byl podmětem pro bakalářskou a následně i diplomovou práci na ČVUT FEL (České vysoké učení technické Fakulta elektrotechnická). Flight Track je podporován Aeroklubem České republiky. Díky zařízení Flight Track je možné pořádat celostátní plachtařské soutěže, kam piloti vkládají své záznamy z letů, které jsou porovnávány a přepočítávány dle koeficientů jako například uletěná vzdálenost, průměrná rychlost letu a klouzavost větroně. V současné době jej využívá více než tisíc pilotů ve střední Evropě a webová aplikace zobrazí více než deset tisíc letů ročně.

[11]



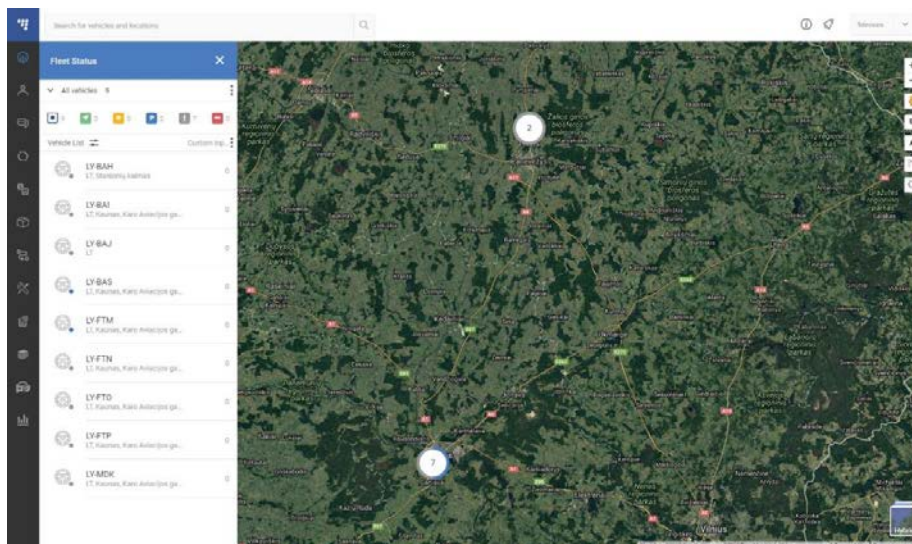
Obrázek 4 – Zařízení Cupertino, zdroj obrázku: <https://www.fid-avionics.com/cz/>

### 2.2.2.2. MOMOOK

Další zařízení je od americké firmy, která zajišťuje veškerý servis svým zákazníkům v leteckém průmyslu. Od výukových materiálů, testovacích portálů, simulátorů, držení veškeré dokumentace o letadlech zákazníků, pronájem vlastních či smluvních letadel, tak nabízí i jako vedlejší produkt své činnosti sledovací zařízení do letadel – Flight Tracker Momook.

Flight Tracker Momook je softwarové a hardwarové řešení vytvořené speciálně pro potřeby leteckých škol. Primárně je zařízení využíváno pro přehledový systém o žácích na sólo letech bez instruktorů a druhotně pro rozbor v následném vyhodnocení letu. Data jsou sbírána o každém žákovi individuálně, zaznamenává pokrok a vývoj studenta. Výrobce uvádí tyto vlastnosti zařízení umístěného na palubě letounu:

- Monitorování letu v reálném čase – GPS/GLONASS modul
- Digitální i analogový vstup
- Vnitřní paměť – SD karta o velikosti 4 MB
- Akcelerometr (X, Y a Z), GSM anténa, firmware konfigurace pomocí SMS
- Rozměry: 111x75x25 mm
- Sledování rychlosti letu, výšky letu a pozice
- Frekvence odesílání dat: 10–20 s
- Vnitřní baterie s výdrží až 60 minut
- Jednoduchost a přijatelná cena



Obrázek 5 – Momook webové rozhraní, zdroj obrázku: <https://momook.com/>





Obrázek 6 – Momook zařízení, zdroj obrázku: <https://momook.com/>

Zásadní nevýhodou tohoto sledovacího zařízení, je nutnost napájení z palubní sítě skrze 12V elektrické zásuvky. Neexistuje možnost zástavby a zařízení nemá certifikační požadavky stanovené EASA.

Zařízení Momook bylo původně vyrobeno pro sledování těžkých vozidel při závodech. S vývojem doby zařízení zjednodušili, zlehčili a rozšířili právě do leteckého průmyslu. [12]

### 2.2.2.3. ONI SYSTEM

Oni Systém je česká firma, která se zaměřuje na sledování objektů v reálném čase. Primárně je určena pro automobily, prohlížení historie jízd, kontrola spotřeby pohonných hmot, monitorování stylu jízdy řidičů a mnoho dalšího. V jejich portfoliu nalezneme všechny druhy dopravy: osobní vozidla, přeprava a logistika, stavební stroje, lesní a zemědělské stroje, manipulační technika, komunální technika, a mimo dopravu také: sledování osob, semaforey a dopravní značená, obytné kontejnery. Jelikož software i hardware je jejich vlastní produkt, lze jej jednoduše upravit na potřeby letecké školy či aeroklubu.

Zařízení funguje na základě webové aplikace, která zobrazuje data odeslaná GPS jednotkou do systému oni, kde následně jsou data zpracována a převedena do uživatelského rozhraní. Frekvence odesílání dat z GPS jednotky je stanovena podle GPS jednotky jako takové, zároveň však podle výše měsíčního paušálu a všech nabízených služeb, které jsou následně k dispozici. Frekvence je v rozpětí 20 až 300 sekund. Z této informace vyplývá, že tvrzení výrobce, že se jedná o sledování objektů v reálném čase, je zavádějící. GPS data jsou zobrazována na mapových podkladech Seznam.cz nebo Google.com, což pro letecké potřeby je naprosto nevyhovující. [13]

#### 2.2.2.4. FLARM

Flarm je technologie pro poskytování informací o provozu a zabránění srážky pro malé všeobecné letectví. S instalovaným FLARM zařízením je pilot upozorněn na hrozící srážku s dalším letounem či létajícím zařízením, které má taktéž na palubě FLARM, a je schopen učinit opatření, než bude příliš pozdě. Technologii využívá přes třicet pět tisíc letadel po Evropě a toto číslo se rychle zvyšuje.

Data z letu jsou přenášena pomocí radiových vln přes pozemní stanice. Infrastruktura těchto stanic není ještě dokončena, v letošním roce po České republice přibylo více než třicet těchto stanic. Pomocí rádiového spoje je přenášena imatrikulace letadla a jeho současná poloha. Tuto zprávu jsou autorizované strany schopny zachytit, identifikovat, lokalizovat a sledovat kdekoli a kdykoli i v případě výpadku sítě či infrastruktury. Data jsou zaznamenávána do interní paměti a při obnovení síťového spojení jsou odeslána najednou.

Technologie FLARM je založena na zařízení, které je zastavěno do palubní desky a k němu je připojen displej, který zobrazuje mapový podklad s ostatním zachyceným provozem. Existuje varianta zařízení FLARM, které je napojeno na ADS-B či odpovídač s módem S a díky kompatibilitě zařízení s ADS-B či odpovídačem i bez FLARM zařízení na palubě zobrazí okolní provoz. Technologie ADS-R (Automatic Dependent Surveillance Receiver) a UAT (Universal Acces Tranceiver) nejsou systémem FLARM podporovány. [15]



Obrázek 7 – POWERFLARM CORE ADS-B, zdroj obrázku: <https://flarm.com/products/>



### 2.2.2.5. COLIBRI II - X

Jedná se o zařízení primárně vyrobené pro piloty kluzáků. Přímo na displeji zařízení jsou zobrazeny letové parametry jako je rychlost letu, GPS signál, variometr, stav baterie. Další parametry, které zařízení je schopné zobrazit při připojení k zařízení FLARM, je použití jako displeje k tomuto produktu. Dále je možnost zobrazení Mapového podkladu s aktuální polohou a případně naplánovanou trať s otočnými body či kružnicemi. Do zařízení se dá také nastavit tzv. páska při odletu a přiletu (páskou je označována pomyslná čára nad bodem odletu na trať, kterou plachtař musí protnout, aby zahájil trať, totéž musí udělat při přiletu, a to protnout pásku, která je ve stanovené výšce nad letištěm a o stanovené délce, aby trať byla uzavřena jako splněná a obletěná). Dále se zde zobrazuje zapisování letu a statistické údaje. Další funkcí zařízení je funkce zapisovače celé trati. Tento záznam je pak kompatibilní s databází letů na celostátní plachtařskou soutěž Aeroklubu České republiky a je možné tedy tento zapisovač vyžívat při plachtařských závodech. Interval zapisování údajů o letu je jedna sekunda. Samotné zařízení neumí samostatně vysílat žádná data. [18]



Main page with variometer, thermal assistant, wind indicator and navboxes.



Setup page is where you can access all setup menus.



Turnpoint navigation for navigation to any point.

Obrázek 8 – Zobrazení stránek v zařízení COLIBRI X od společnosti LX navigation, zdroj obrázku: <http://www.lxnavigation.com/flight-records-colibri-x/>

### 2.2.2.6. GARMIN GDL DATA LOGGER

Garmin GDL Data Logger sbírá data o letu pouze v kombinaci s Garminem 1000. Garmin 1000 je navigace založená na příjmu GPS signálu. Informace o letu jsou: trať letu, výška letu, rychlost letu, režimy motoru, doba letu. Data jsou přenášena pomocí Wi-Fi (802.11 g), tudíž zařízení nevysílá za letu, ale pouze v dosahu sítě Wi-Fi. Existuje možnost přenosu dat za letu, avšak k tomu je potřeba další zařízení, a to GSR 56 satellite transceiver, což je satelitní vysílač. Zařízení je zastavěno do palubní desky a je tedy nepřenositelné. Vnitřní kapacita úložiště je 2 GB. Tato kapacita je dostačující až na několik hodin letu, avšak záleží na zvolených parametrech, které má zařízení zapisovat. Čím více zvolených parametrů ukládá, tím rychleji se paměť zaplní. [19]



Obrázek 9 – Garmin GDL Data Logger

### 2.3. SROVNÁNÍ MOŽNOSTÍ EXISTUJÍCÍCH NA TRHU

Se znalostí parametrů dat, které mají být sbírány, a se znalostí funkčnosti výše uvedených zařízení existuje možnost určení, zda je zařízení vhodné ke sledování letu ve sportovním a všeobecném letectví. Toto srovnání je k nalezení v následující tabulce:

	Flightrack	Momook	Oni Systém	Flarm	Calibri II-X	Garmin GDL
Měření akcelerace	ANO	ANO	ANO	NE	NE	NE
Měření rotace	NE	NE	ANO	NE	NE	NE
Měření pozice GPS	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
On-line přenos dat	ANO	ANO	ANO	ANO	NE	NE
Interní paměť	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
Autonomní funkce	NE	NE	ANO	ANO	ANO	ANO
Signálové zpracování	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
Nízká hmotnost	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
Napájení bateriemi	ANO	NE	ANO	ANO	NE	NE
Napájení z palubní sítě	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
Nízká spotřeba	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
Odolnost proti rušení	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
Nízké konstrukční náklady	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
Přenos dat	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO

Tabulka 1 – Porovnání dostupných produktů na trhu dle požadavků na systém

Univerzální produkt, který by sledoval leteckou akrobacii (sportovní letectví) a zároveň sledoval letouny v provozu (všeobecné letectví) je pouze Systém ONI. Dalším zařízením, které splňuje všechny výše uvedené požadavky, je systém využívaný a podporovaný Aeroklubem České republiky a nazývá se AHMD (Advanced Height Measurement Device). Jedná se již o druhou verzi tohoto zařízení. V první verzi se jednalo o přesné barometrické měření výšky a tato data byla přenášena do pozemní jednotky ke zpracování a vyhodnocení. Druhá, rozšířená varianta je doplněna o další funkce a poskytuje analýzu dat přímo na palubě letadla. Zařízení data ukládá a zároveň odesílá k dalšímu zpracování v pozemní jednotce a následné prezentaci. Ten však není uveden na trhu.

Technologie, která byla použita při vývoji systému AHMD je popsána ve zbytku této kapitoly.

Oba systémy byly použity při testovacím letu a veškeré informace a porovnání těchto dvou systémů (ONI System a AHMD Systém) jsou popsány v kapitolách 3 a 4.

## 2.4. TECHNOLOGIE

### 2.4.1. MĚŘENÍ POLOHY, AKCELERACE A ROTACE

Historicky se poloha určovala podle orientačních bodů nebo pomocí hvězd. Dalším způsobem bylo použití jednoduchých map a kompasů. Později byl vynalezen gyroskopický kompas, který není ovlivňován magnetickou deklinací a ukazuje pouze jedním směrem. Při složitých výpočtech polohy docházelo k odchylkám způsobených velmi nepřesným měřením času.

S rozvojem nových technologií se rozvíjela i navigace. V současné době se u letecké dopravy výhradně používá rádiová a inerciální navigace. Rádiová navigace je většinou založena na dálkoměrné metodě. Při této metodě se poloha určuje ze vzdáleností od bodů se známou polohou. Pokud jsou body se známou polohou družice, nazývá se to družicovou navigací. Jednotlivé vzdálenosti se získají výpočtem z časového zpoždění, které vzniká šířením signálu:

$$R_x = c \cdot T_x \text{ [m, m/s, s]}$$

Měření akcelerace a rotace lze provádět několika způsoby. Hodnoty lze vypočítat z jiných měřených veličin, kterými jsou například rychlost, čas, úhel a dráha. Dalším způsobem je přímé měření dané veličiny. K tomuto měření slouží akcelerometry a gyroskopy. Tyto senzory jsou základem inerciálního navigačního systému.

Předpokládá se použití družicového i inerciálního navigačního systému pro měření polohy letounu z důvodu výpadků GPS signálu při akrobatických prvcích. Měřené hodnoty akcelerace a rotace jsou kromě výpočtu polohy použity k vyhodnocování sil, které působí na pilota. Tyto společné funkce zjednodušují návrh na konstrukci zařízení. Akcelerometrů a gyroskopických senzorů existuje celá řada. Návrh je výhradně zaměřen na použití MEMS senzorů z důvodu

malých rozměrů, nízké hmotnosti a malé spotřebě. Jak již bylo zmíněno, zařízení namontované do letadla, při jehož stavbě se s namontováním takového zařízení nepočítalo, musí být co nejmenší a nejlehčí, aby neovlivňovalo letové vlastnosti. [1]

#### 2.4.2. ZÁKLADY GNSS NAVIGACE

GNSS – Global Navigation Satellite System je globální družicový navigační systém a služba, umožňující určování polohy s velkou přesností pomocí signálů získaných z družic. Aplikace GNSS systémů nejsou v současné době pouze ve všech odvětvích dopravy, ale v posledních letech se začal uplatňovat i v oblastech jako je zemědělství, vyhledávání ložisek nerostných surovin nebo pozorování země z hlediska ekologie.

Systém GNSS (Global Navigation Satellite System) je dálkoměrný systém, družice vysílají navigační zprávu, ve které je zakódována jejich poloha, označení a čas v době vyslání zprávy. Přijímač, který tuto zprávu přijímá, musí mít v dosahu alespoň 4 tyto družice. Z přijatých zpráv je vypočítán rozdíl časů mezi zakódovaným časem vyslání a časem přijetí na přijímači. Z těchto údajů lze vypočítat vzájemnou vzdálenost, což ve spojení s vědomostí o poloze družice, tvoří kulovou plochu. V průsečíku ploch se nachází přijímač, a tudíž lze určit jeho souřadnice.

GPS – Global Positioning System je družicový navigační systém umožňující určení polohy kdekoli na zemi. GPS je součástí GNSS. Dalšími navigačními systémy spadajícími pod GNSS jsou Glonass, Galileo, Compass a další. Vývoj GPS započal v roce 1973 v Americe pod vesmírným programem Navstar. V 90. letech byl vývoj GPS dokončen a stal se přístupným i pro civilní letectví. Systém je využíván ve všech typech dopravy, kde není využíváno kolejí (letecká, lodní a automobilová). Údržba systému, včetně výměny dosluhujících družic a vývoje, ročně vyjde přibližně na 750 milionů dolarů.

#### 2.4.3. INERCIÁLNÍ NAVIGAČNÍ SYSTÉM

Inerciální navigační systém využívá skutečnosti, že druhý integrál z akcelerace je pozice. Inerciální navigační systém, často přezdívaný Newtonovská navigace, využívá předpokladu, že známe svoji počáteční polohu. Pokud známe počáteční polohu systému a máme k dispozici údaje o akceleraci a rotaci všech třech osách, jsme schopni dopočítat pozici. Tento systém má však jednu velkou nevýhodu, chyby vzniklé měřeními se s přibývajícím časem zvyšují. Proto jsou vysoké nároky na přesné měření vektorů akcelerace a rotace a počáteční polohy systému, což opět zvyšuje finanční náročnost systému. Pro snížení nákladů je tedy INS často integrován s některým z globálních navigačních systémů.

Nedílnou součástí inerciálního navigačního systému jsou výpočetní systémy doplněné o akcelerometry a gyroskopy. To se nazývá inerciální měřicí jednotka (Inercial Measuring Unit). IMU může být doplněna o další senzory, jako například barometrické či rychlostní. Všechny

senzory jsou uloženy nezávisle na poloze objektu, ve kterém se nachází. Je potřeba, aby IMU byla odizolována od přenosu vibrací z objektu, ve kterém se nachází. [1]

#### 2.4.4. PŘENOS DAT Z POHYBUJÍCÍCH SE OBJEKTŮ

Pro přenos dat z pohybujících se objektů lze využít pouze rádiových systémů. Přenos pomocí rádia, respektive elektromagnetického vlnění ve volném prostoru je výrazně ovlivňován okolním prostředím.

Přenosové médium je značně ovlivněno rušením od všech elektronických zařízení v okolí, parazitní signály a rušení ovlivňují společně s útlumem kvalitu přijímaného rádiového signálu a tím je ovlivněna výsledná přenosová rychlost, přenosová vzdálenost a chybovost přenosu. Uvedené parametry určují výslednou přenosovou kapacitu.

Rádiový signál je konkrétně ovlivněn následujícími rušivými elementy, které komplikují na přijímací straně zpracování přijímaného signálu:

- Reflexe = odraz
- Refrakce = lom
- Difrakce = ohyb
- Ztráty šíření
- Zastínění 1. Fresnelovy zóny
- Rušení jinými rádiovými systémy
- Vliv hydrometeorů a atmosférických plynů
- Vícecestné šíření signálu
- Rychlé a pomalé úniky

Kvalita přijímaného signálu bezdrátových zařízení je také ovlivňována dalšími podmínkami okolního prostředí – úroveň okolního rušení, výška zástavby, geografická poloha. Dále je ovlivňována charakterem šíření elektromagnetické vlny. Přízemní prostorová vlna se šíří přímo, pokud je zaručená přímá viditelnost přijímače a vysílače. Vlna se dále může šířit odrazem či ohybem.

Při přenosu dat z pohybujících se objektů na kmitočtech kolem 800–900 MHz, při pohybu objektu rychlostí kolem 450 km/h se bude výrazně projevovat také Dopplerův jev. Pokud vezmeme v úvahu sportovní letectví, konkrétně leteckou akrobacii, tímto rychle pohybujícím se objektem je akrobatický speciál, který může svoji polohu měnit až o 800° za sekundu kolem svých os při rychlostech již zmíněných 125 m/s, je proto nutné zvážit možnosti volby všech prvků systému, zejména z hlediska realizace přenosu rádiového spoje, resp. přenosu získaných informací. [3]

V případě použití AHMD je každé letadlo vybaveno rádiovým přijímačem a vysílačem zároveň. Kanály jsou ve frekvenčním pásmu 868 MHz. Společné podmínky dle všeobecného oprávnění vydávaného Českým telekomunikačním úřadem pro frekvenci 868 až 870 MHz jsou:

- Uživatel smí provozovat zařízení na této frekvenci bez individuálního oprávnění, pokud splňuje následující:
  - o Zařízení má vestavěnou anténu nebo anténu, kterou dodává výrobce s potřebnými oprávněními.
  - o Zařízení jsou provozována na sdílených kmitočtech.
  - o Zařízení nesmí rušit ostatní zařízení, které jsou v kmitočtovém plánu. V případě vzniklého rušení se uživatelé dohodnou na dalším provozování.
  - o Není určena zabraná šířka pásma. Pokud není stanoven klíčovací poměr, je možnost využít pásmo až do 100 %.
- Vyzářený výkon, popř. intenzita magnetického pole nesmí přesáhnout 500 mW e.r.p., zabraná šířka pásma je do 25kHz a klíčovací poměr vysílání/příjem musí být méně než 10 % z hodiny pro vysílání.

Tento způsob rádiového přenosu lze použít na kratší vzdálenosti, ideálně v předem definovaném prostoru – sportovní letectví. Ve všeobecném letectví je takové vymezení prostoru téměř nepoužitelné, proto by přenos dat měl být zajištěn jinak, např. připojením zařízení přes GSM, Satelitní systém (např. Inmarsat) nebo síť IoT (internet of Things). [20]

### 3. APLIKACE SYSTÉMŮ PRO SLEDOVÁNÍ LETU – Všeobecné letectví

#### 3.1. HISTORICKÝ ÚVOD

První společností v historii, která nabízela cestujícím přepravu za úplatu, byla německá společnost Delag založená v roce 1909. Jako letecký prostředek byly využívány vzducholodě Zeppelin. Před začátkem 1. Světové války, v zimních měsících v roce 1914, byl uskutečněn první veřejný let letadlem těžším než vzduch. Tento let se uskutečnil v Americe.

Od roku 1928 bylo v Československém letectví zaváděno i radiové spojení, to bylo uskutečňováno radiotelegraficky v pásmu dlouhých vln. Posádky letadel byly proto rozšířeny o radiotelegrafistu. Od roku 1929 byly zaváděny pozemní radiové zaměřovače na důležitých letištích (další významná data a popis historie jsou k nalezení na webu Řízení letového provozu <http://www.rlp.cz/spolecnost/profil/Stranky/historie.aspx> .) Zbudovaná síť zajišťovala polohu letadel, vedení po trati, přiblížení a přistání v cílovém letišti. Tímto se letectví rozšířilo i do nočních hodin a realizace letů za zhoršených meteorologických podmínek. Radiotelegrafní služba zajišťovala předávání zpráv o letu, stavu letiště, povětrnostní situaci a spojení mezi letištními radiostanicemi. Toto spojení dalo základy pro dnešní služby řízení letového provozu. V těchto dobách byla veškerá zodpovědnost na velitelích letounů, a nikoliv na obsluze geostanic. Ty předávaly pouze informace, o které byly žádány.

Systém zjišťování polohy letadel byl následující: geostanice zjistila úhel, ze kterého přicházely signály ze zaměřeného letadla, tento údaj byl vynesena na mapu velkého měřítko. Totéž učinila i další stanice, která signály zachycovala. Na vzniklém průsečíku těchto přímků byla poloha letadla. Jazyk, které používaly stanice mezi sebou, byl mezinárodní Q-kód doplněný taktéž mezinárodními telegrafními znaky. [14]

#### 3.2. SOUČASNOST VŠEOBECNÉHO LETECTVÍ

V této kapitole jsou popsány způsoby navigace a zjišťování polohy za letu v současné době, konkrétně ve 21. století. Ač se může zdát, že technologie za posledních sto let pokročily, způsob navigace ve všeobecném letectví zůstává v naprosto nezměněné podobě. Jediné, čím si pilot může usnadnit práci, je převedení mapových podkladů z papírové podoby do elektronické.

##### 3.2.1. KLASICKÁ NAVIGACE

V současnosti existuje několik navigačních metod. V základním výcviku jednomotorových letounů létající za VFR se budoucí pilot musí naučit všechny způsoby navigace:

###### 3.2.1.1. SROVNÁVACÍ NAVIGACE

Jedná se o nejdůležitější navigační metodu v malém všeobecném letectví. Při jejím použití žák/pilot porovnává terén pod sebou s mapu před sebou a opačně, avšak vždy v pořadí, že to, co je v mapě by mělo být pod letounem, avšak to, co je pod letounem k vidění, nemusí být



zaneseno v mapě. K úspěšnému provedení tohoto způsobu navigace je nutné, aby terén pod letounem byl viditelný, musí být dostatek orientačních bodů, letadlo musí letět v dostatečné výšce.

### 3.2.1.2. NAVIGACE VÝPOČTEM

Tento druh navigace je často spojován se srovnávací navigací. Pilot má k dispozici dostatečně podrobnou a vhodnou mapu k provedení letu. Nejčastěji je využívána letecká mapa ICAO, která je v měřítku 1:500 000. Je možné využívat mapy Jeppesen či mapy vydané Databází letišť ČR či Leteckou amatérskou asociací ČR. Do mapy žák/pilot vynesou čáru (trasu), po které poletí. K čáře jsou dle odhadované rychlosti letu vynášeny pěti minutové intervaly, kdy žák/pilot, provádí kontrolu své polohy nad terénem. Dále do mapy jsou vyneseny kurzy, kterým žák/pilot poletí, celková doba letu jednoho ramene a počet kilometrů. Zároveň pro tuto navigaci jsou velice důležité stopky pro měření již uletěného času a kompas pro udržení kurzu. Při tomto způsobu navigace je vypisován navigační štítek.

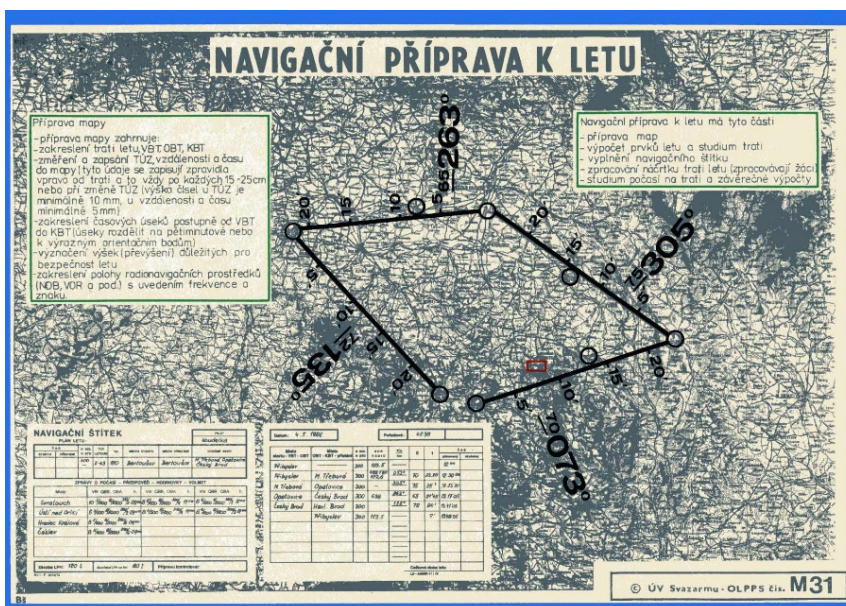
### 3.2.1.3. RADIONAVIGACE

Lehká radionavigační zařízení používaná v malém všeobecném letectví využívají směrové účinky antén a na palubě může být nainstalován přijímač VOR či DME. Tato zařízení mohou usnadňovat navigaci při zhoršených meteorologických podmínkách.

### 3.2.1.4. SPOJOVÁNÍ NAVIGAČNÍCH METOD

Tento způsob navigace je nejspolehlivější a je zde nejmenší pravděpodobnost ztráty orientace v terénu při selhání některé z výše uvedených metod. Spojování navigačních metod je zobrazeno v obrázku č. 10, kde dochází ke spojení navigace výpočtem a srovnávací navigace.

[17]



Obrázek 10 – Navigační příprava k letu, zdroj obrázku: KDÉR, František. Učebnice sportovního letce. Naše vojsko, Svazarm, 1980. ISBN 28-017-80, obrázková příloha



### 3.2.2. NAVIGACE BEZ PAPIROVÉ MAPY

V západních zemích po absolvování základního výcviku je možné navigaci zmodernizovat pomocí dostupných technologií. Tento trend se do České republiky dostává pomalu, přesto v posledních letech je zaznamenán jejich rozvoj. Zde jsou uvedeny pouze nejznámější z nich:

#### 3.2.2.1. JEPPESEN FLIGHT STAR

Americký software pro navigační přípravu letu za VFR. Software disponuje databází pro 6 regionů, a to: Austrálie, Afrika, Severní Amerika, Evropa a Brazílie. Ovládací software je k dispozici za necelých pět tisíc korun českých a obsahuje aktuální mapy. Jednorázová aktualizace map (která je potřebná jednou za rok nebo při významné změně, např. kmitočty letišť) stojí necelé tři tisíce korun. Systém Jeppesen Flight Star disponuje těmito funkcemi:

- Naplánování trasy letu.
- Na mapový podklad vynesení aktuální meteorologické situace.
- Vytvoření navigačního štítku dle standardu ICAO (či FAA)
- Stažení leteckých informací (METAR, NOTAM a navigační výstrahy atp.)
- Vytvoření letového plánu a tisk
- Nahrání trasy do GPS / GNS [22]

#### 3.2.2.2. GARMIN MAP SOURCE

Map Source je produkt výrobce GPS zařízení a je určen pro veškeré druhy dopravy, od automobilové přes leteckou po námořní. Trasa se plánuje v počítači a poté se nahrává do samotného zařízení. Nejedná se tedy o produkt vyrobený přímo pro letectví, a tak není žádná možnost podpůrných funkcí. Software je zahrnut v ceně GPS zařízení a nedá se samostatně zakoupit. Cena samotných zařízení je od deseti do třiceti tisíc podle náročnosti uživatele. Zařízení zaznamenává samotný let a ukládá jej do interní paměti. Tato data pak lze extrahovat do NMEA souboru. Tento typ souboru je nevhodný pro přenos v reálném čase, jelikož se jedná o velké množství dat. [23]

### 3.3. FUNKČNÍ PARAMETRY PŘI APLIKACI MONITOROVÁNÍ PROVOZU VE VŠEOBECNÉM LETECTVÍ

K určení správného fungování, využití a provedení analýzy zařízení je potřeba prvně určit, v jakých režimech by mělo být možné jeho systém využít. Systém AHMD je navržen tak, aby přidáním funkce nemusel být vytvořen nový hardware, jedná se o pouhou adaptaci softwaru. V základní verzi systému je možnost pracovat s těmito pěti navrhnutými režimy systému:

- On-line – letadlo v pohybu, napájen z palubní sítě – vysílá v reálném čase, resp. v intervalech např. 1s (při dostupnosti spojení), ukládá v maximální míře (cca 100Hz)
- Off-line – bez spojení, letadlo v pohybu, napájen ze sítě – ukládá v maximální míře (cca 100 Hz), nevysílá

- Saver On-line – spojení, letadlo v pohybu, napájen z baterií – ukládá v redukované míře (cca 1 Hz), vysílá pouze významné stavy (překročení nastavených limitů apod.)
- Saver Off-line – bez spojení, letadlo v pohybu, napájen z baterií – ukládá v redukované míře (cca 1Hz), bez vysílání
- Stand-by – spojení, letadlo v klidu, napájen ze sítě nebo z baterií – vysílá při změně stavů nebo jednou za den pouze telemetrickými údaji a svém vlastním stavu.

Při aplikaci na monitorování provozu ve všeobecném letectví je potřeba určit potřebné parametry a data, která musí systém zaznamenávat a odesílat. Tyto stanovené parametry vychází z reálného provozu ve všeobecném letectví.

- Měření akcelerace ve třech osách X, Y a Z v rozsahu  $\pm 5 G$

Maximální přetížení konstrukce může být pouze při startu a přistání na nerovném povrchu a poté po přitažení výškového kormidla po vybrání vývrtky.

- Měření rotace ve třech osách X, Y a Z v rozsahu  $\pm 400^\circ/s$

Při provozu letounu ve všeobecném letectví je možné dosáhnout této rychlosti rotace pouze ve vývrtce.

- Měření pozice GPS

Rychlost a výška letounu v rozsahu  $\pm 1$  příjem signálu za 2 sekundy. Tato frekvence při rychlostech do 250 km/h a letech, kdy trajektorie je dána navigační čarou v mapě či dle kurzové čáry v navigačních zařízeních, je více než dostačující.

- Signálové zpracování

Odesílání dat o daném letu v rozsahu  $\pm 1$  odeslání signálu za 2 sekundy - při létání v prostoru je potřebné mít přehled, kde se letadlo v prostoru nachází. Zároveň není nutné odesílat data častěji než 1 odeslání signálu za 2 sekundy, jelikož malé letouny nedosahují vysokých rychlostí a jejich poloha v prostoru stačí orientační.

- Ukládání dat do paměti systému

Data jsou zálohována do paměti systému. Pokud by došlo ke ztrátě signálu, jsou data dostupná i zpětně. Při opětovném navázání signálu dojde k odeslání všech dat od posledního spojení.

- Autonomní funkce

Při zapnutí elektronických přístrojů letounu se systém sám zapne a zkalibruje. Systém nepotřebuje žádný zásah pilota či člena posádky. Při vypnutí palubní sítě dojde k odpojení

externího zdroje, odeslání všech dat, přechodu do stand-by módu, kdy frekvence vysílání není tak častá, zařízení přechází na vnitřní zdroj.

Následující parametry mají stejné požadavky, jako byly zmíněny v kapitole 2.1.:

- Nízká hmotnost, malé rozměry
- Napájení z palubní sítě, záložní baterie při vypnutí palubní sítě
- Nízká potřeba
- Odolnost proti rušení
- Nízké konstrukční a provozní náklady

Výsledkem přijatých dat odeslaných za letu je určení polohy letadla.

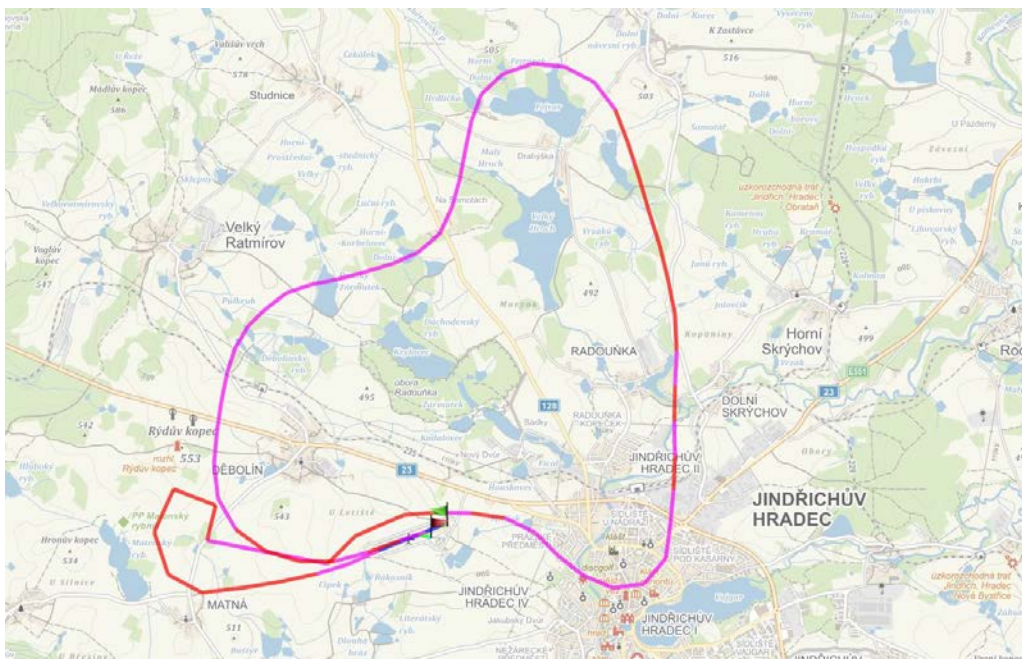
### 3.4. MONITOROVÁNÍ PROVOZU VE VŠEOBECNÉM LETECTVÍ

V této kapitole jsou rozebrány data, která je možné získat v provozu ve všeobecném letectví. Dále je zde popsána následná využitelnost těchto dat. Pro testování byly využity pouze systémy, které byly vybrány, jelikož splňují stanovené parametry v kapitole 2.3.

Následující obrázky a grafy jsou záznamy letů. První obrázek je záznam ze zařízení ONI Systému, druhý záznam je AHMD Systému. Oba záznamy jsou z testovacích letů v okolí letiště Jindřichův Hradec.

#### 3.4.1. ZÁZNAM LETU Z ONI SYSTEM

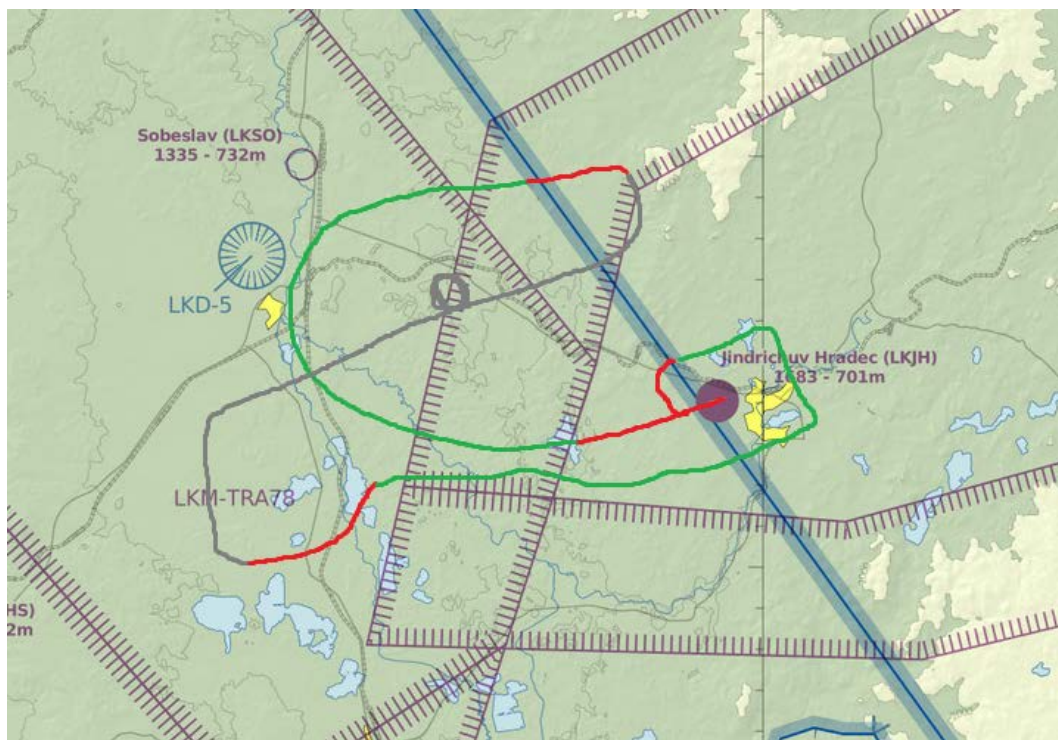
V tomto obrázku je znázorněn let motorovým letounem. Jak je vidět, mapový podklad je z databáze map serveru Seznam.cz. Pro letecké účely je takový výstup nevhodný, neboť z něho nelze zobrazit například výškový graf. Není možné získat záznam o přetížení z letu. Databáze pro prohlížení je taktéž nepřehledná a spíše uzpůsobená pro automobilový průmysl. Jediný relevantní údaj je čas startu a přistání. Ten se dá získat pouze ze záznamů pohybu. Další záznam, který lze získat je rychlost letu. Tento záznam je zjistitelný každých 10 sekund letu, což by teoreticky pro potřeby všeobecného letectví mohlo stačit. Avšak při průměrné rychlosti 130 km/h se uletěná vzdálenost za 10 sekund rovná skoro 360 metrům. V případě výpadku signálu GPS se tato vzdálenost zvyšuje.



Obrázek 11 - Záznam letu z ONI Systému

### 3.4.2. ZÁZNAM LETU Z AHMD

Následující obrázky a grafy jsou z AHMD zařízení při dalším testovacím letu. V prvním obrázku je možné vidět let kluzáku opět v okolí Jindřichova Hradce. Je zde zaznamenána trajektorie letu. Trajektorie je rozdělena barevně dle výšky letu. Červená značí výšku letu do 200 metrů. Zelená je výška letu mezi 200 až 1200 metry. Červená je opět výška letu mezi 1200 až 1300 metry. Šedivá barva značí výšku nad 1300 metrů.



Obrázek 12 - Záznam letu z AHMD systému

### 3.5. REALIZOVATELNOST NÁVRHU, CENOVÁ NÁROČNOSTI/DOSTUPNOST

Dle preferencí zvolených v této práci byl jako vhodnější systém zvolen AHMD. Toto zařízení je připraveno k aplikaci a tržní hodnota je přibližně 800 €. Komponenty do zařízení jsou dostupné, avšak plánovaná doba výroby jednoho zařízení je 30 až 45 dní v závislosti na počtu objednaných kusů. Dále je potřeba uvést, že dodání softwaru k používání produktu pro všeobecné letectví, pokud uživatel nebude žádat dodatečné úpravy, je zahrnuta ve dnech výroby zařízení. Pokud by se jednalo o další softwarové úpravy, je potřeba připočítat další dobu, a to řádek od 1 do 4 týdnů.

### 3.6. VYUŽITELNOST SYSTÉMU

Systém je možné využívat pro potřeby leteckých škol a lokálních aeroklubů. Instruktoři jej mohou využívat na sledování svých žáků při sólo letech a pilotů na navigačních letech. Operátor služby RADIO si může zobrazit přehledové webové rozhraní a mít tím lepší přehled o provozu v zóně ATZ. Provoz tak může být v rámci všeobecného letectví přehlednější, efektivnější a bezpečnější.

Soukromí piloti, kteří nejsou v žádné letecké škole či aeroklubu, mohou systém AHMD využívat pro záznamy svých letů. Dále pokud svůj letoun pronajímají, mají perfektní přehled o naléтанých hodinách, režimech motoru a obecně způsobu zacházení s jejich majetkem.

V neposlední řadě je možnost využívání systému pro CAMO organizace (Continuing Airworthiness Management Organisation). Servis si díky tomuto systému může plánovat prohlídky dle počtu naléтанých hodin daného letounu, aniž by se zákazník musel hlásit s předstihem a organizace tak může nabídnout ještě lepší služby než doposud. Zároveň z hlediska logistiky dojde ke značnému zjednodušení organizace a plánování oprav a prohlídek.

Zvýšení bezpečnosti je zajištěno odesíláním nasbíraných informací o letu. Zvyšuje se tím možnost aktuálního, ale i zpětného zjištění, zda nedochází či nedocházelo k překročení stanovených parametrů v letových a provozních příručkách daného letounu. Tímto principem nedochází k přetěžování draku či motoru letounu. Pilot je kontrolován při dodržování veškerých letových režimů. Pokud dojde k překročení maximální rychlosti či přetížení, je možnost okamžitého uzemnění daného letounu a následné důkladné prohlídky. Zároveň je možnost přesného zjištění odpovědné osoby, která byla ve funkci PIC (Pilot in command). Tímto opatřením se zvyšuje i vymahatelnost práva na odškodnění pro majitele.



## 4. APLIKACE SYSTÉMŮ PRO SLEDOVÁNÍ LETU – Sportovní letectví

### 4.1. HISTORICKÝ ÚVOD

Myšlenka potřeby vytvoření produktu, který by byl schopen přenášet data v reálném čase při vysokých rychlostech a přetížení vznikla již v 90. letech minulého století. V době, kdy letecká akrobacie procházela svým největším vývojem (rozsáhlá úprava mezinárodních pravidel pro akrobacii, akrobatické speciály byly značně obměněny novými výkonnějšími stroji, škála létaných figur v sestavách se rozšířila) vznikl i první koncept. Ten však nebyl úspěšný. S dalším návrhem řešení přišel švýcarský inženýr v roce 2007, který nebyl schopen vyřešit přenos dat při vyšším přetížení.

V současnosti již existují systémy pro přenos dat z rychle pohybujících se objektů, jako je například Závod Formule 1 nebo Red Bull Air Race. Tyto systémy mají však dva společné znaky. Prvním z nich je proprietární software. Ten je extrémně finančně náročný. Obě zmíněné společnosti si tuto nákladnost mohou vykompenzovat jinak, avšak pokud systém pro sledování letu má být přístupný veškeré letecké obci, musí být jeho výroba a provoz finančně udržitelný. Druhým problémem je, že v obou výše zmíněných případech se objekt pohybuje po předpokládané trajektorii. Tou je například závodní okruh u Formule 1 nebo trasa mezi pylony při Red Bull Air Race. Rádiový spoj má dostatečnou rezervu odstupů užitečného signálu od úrovně šumu. V případě přenosu dat z letounu, který provádí klasickou akrobacii nebo se pohybuje v úplně volném prostoru např. při výcviku nebo navigačních letech, je nemožné tuto trajektorii dopředu definovat. [3]

### 4.2. SOUČASNOST LETECKÉ AKROBACIE, FAI A CIVA

Letecká akrobacie je královnou leteckých sportů. Extrémní přetížení, preciznost techniky pilotáže, mentální vyzrálost, pokora a zkušenosti, to jsou kombinace a vlastnosti, které musí mít každý mistr světa. První úspěch u veřejnosti zaznamenala letecká akrobacie, když byla zařazena na program Olympijských her v Berlíně. Československý reprezentant, František Novák, zde dosáhl na stříbrnou pozici.

První Mistrovství světa v letecké akrobacii bylo pořádáno Československou socialistickou republikou v roce 1960 v Bratislavě. Prvním mistrem světa se stal Ladislav Bezák. Na druhém i třetím místě taktéž stanuli Českoslovenští reprezentanti. V tomto stejném roce taktéž vznikla komise pro Mezinárodní leteckou akrobacii (CIVA) jako součástí Mezinárodní letecké federace (FAI) a letecká akrobacie začínala dostávat jasné obrysy.

Pravidla se vyvíjela, tak jako akrobatické speciály, na kterých se závodilo. Dlouhá léta Československá republika byla absolutní mocností na trhu, a to díky bývalé továrně na letouny Moravan Otrokovice. Mezi nejslavnější speciály vyprodukované touto společností patří Zlín 526 a Zlín 50.



Obrázek 13 – Zlín 50, OK-RRD, zdroj obrázku: Archiv Aeroklubu České republiky

Na stroji Z50 v dobách největší slávy letecké akrobacie získal titul absolutního mistra světa Petr Jirmus. Tento typ v současné době slouží jako výcvikový letoun pro druhou nejnáročnější kategorii, Advanced. S postupem času se letadla se stávala výkonnějšími, kovové materiály byly vyměněny za kompozity, jejich hmotnost byla redukována. Letouny mají nyní ladnější a aerodynamičtější tvary. Z toho důvodu docházelo k dalším úpravám pravidel, byl stanoven prostor, kde akrobatičtí piloti předvádí své umění rozhodčím, byl definován akrobatický box.

Box je krychle o hraně délky tisíc metrů visící ve vzduchu, horní hranice je stanovena na 1100 až 1200 metrů dle kategorie a spodní hranice je ve výšce 100 až 200 metrů nad terénem. Porušení těchto výšek je penalizováno. Avšak o překročení stanovených hranic rozhodovali právě oči rozhodčích. Ti mohou být silně ovlivněny nedokonalostmi lidského oka, perspektiva je v tomto pohledu zrádná. Další vliv má i denní doba, pozice slunce, únava či členitost a rozmanitost terénu. Pro zvyšování fair play při závodech, aby piloti nemohli lživě tvrdit, že penaltu za porušení hranic mají neprávem nebo naopak jim nebyla udělena ze strany rozhodčích, ač hranice porušili, byl vysloven požadavek pro měření výšek.

Toho se nejprve snažili docílit tím, že na hranách této krychle seděli čároví rozhodčí, v každém rohu jeden. Ti seděli zády k tyči, na které byly nataženy provázky svírající úhel 90°. Rozhodčí pak měřili čas letounu mimo vymezený prostor. Tato doba byla opět penalizována. Samozřejmě se nevyhneme tomu, že ač rozhodčí by měli být neutrální a neovlivnitelní, pořád to jsou jenom lidé. Pilotům ze stejné země nebo spřízněným, čas zaznamenávali odlišně než těm, u kterých se snažili být objektivní. Zde byla poprvé vyslovena myšlenka elektronického měření polohy letadla v prostoru.

To vedlo k nekončícím sporům, a tak se povedlo Aeroklubu České republiky do pravidel Mezinárodní federace pro leteckou akrobacii (CIVA) zavést následující ustanovení:

#### 4.3 Elektronické měření výšky

4.3.1.1 *Elektronické měření výšky lze použít (zkráceně HMD). Elektronické měření výšky musí být schváleno organizací CIVA.*

4.3.1.2 *Kdykoliv je HMD použito, data z něho získaná mají primární referenci k ověřování pravosti tvrzení rozhodčích či závodníků o výšce letu v průběhu akrobacie a data rozhodují o udělení penalty či případné úplné diskvalifikace.*

4.3.1.3 *Poslední rozhodnutí, zda je udělena penalta, je pouze na hlavním rozhodčím. HMD operátoři pouze překládají naměřená data a dávají je k dispozici, nemají však žádnou pravomoc při udělování penalt.*

4.3.1.4 *Lidé, kteří operují s HMD zařízeními, jsou oficiálními účastníky daného mistrovství a jsou na stejné úrovni jako technická komise či mezinárodní rozhodčí. Jsou pod správou a odpovědností hlavního rozhodčího a nesmějí být spojováni s žádným z týmů účastnících se závodu. Používaná HMD zařízení musí být přístupna pouze těmto známým osobám a nesmějí být volně přístupny závodníkům, dalším členům národních týmů či mezinárodním rozhodčím. [19]*



Obrázek 14 – Čarový rozhodčí měřící čas akrobatického letadla přesahující hranice boxu, zdroj obrázku: Archiv Aeroklubu České republiky



### 4.3. MONITOROVÁNÍ PROVOZU VE SPORTOVNÍM LETECTVÍ

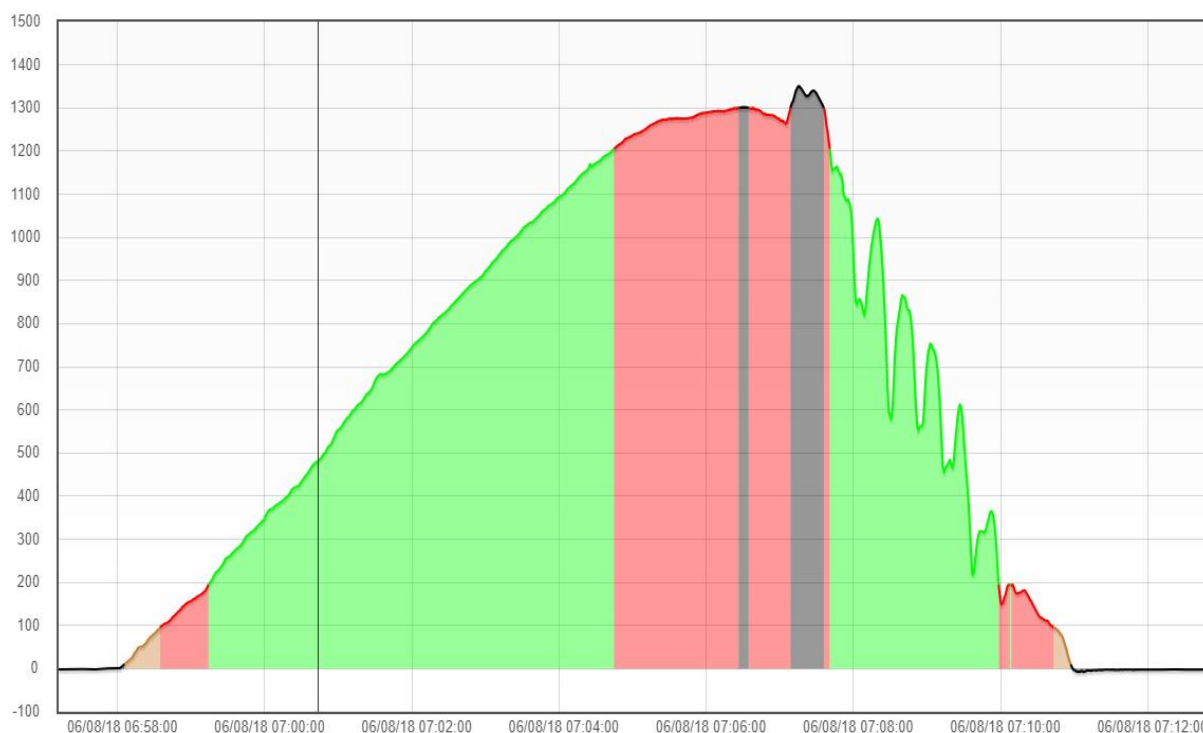
V této kapitole je ukázán způsob výstupu jednotlivých zařízení při testování ve sportovním letectví, obdobně jako v kapitole 3.4. Monitorování provozu ve všeobecném letectví. Jsou zde popsána data, která lze reálně získat a dále s nimi pracovat.

#### 4.3.1. ONI SYSTEM

Při detailním zkoumání záznamů z ONI Systemu bylo zjištěno, že data z tohoto zařízení o výšce letu, přetížení, teplotě, a další data jsou zaznamenávána, avšak není možné je nijak exportovat a ani do těchto údajů nahlížet, pro uživatele, který si koupí tento produkt jsou skryta. Tento systém je tedy pro sportovní letectví nevhodný.

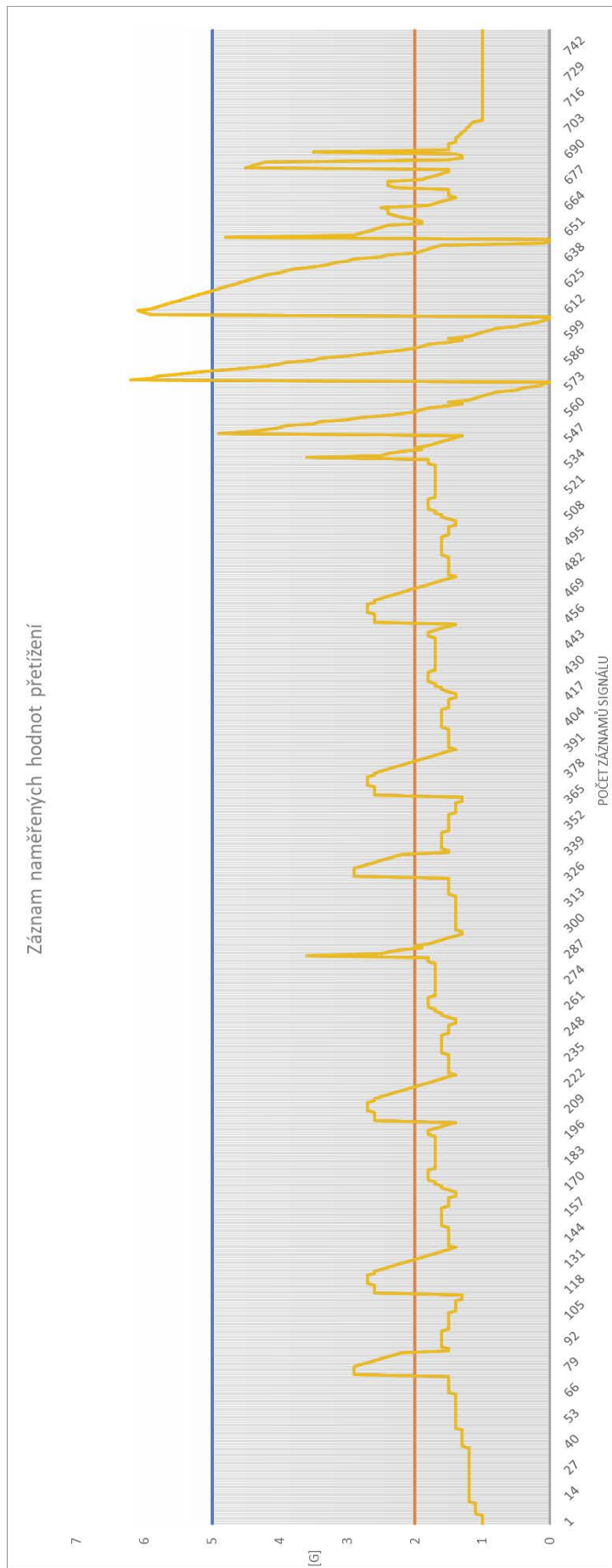
#### 4.3.2. AHMD SYSTEM

Na obrázku č. 15 je graf výšky letu akrobatického kluzáku v boxu. V první fázi letu je vzlet. Výška do 200 metrů nad zemí je označena červeně, jak v obrázku znázorňující trajektorii, tak i v grafu znázorňující výšku letu. Výška v rozmezí 200 metrů až 1200 metrů je znázorněna zeleně, nad 1200 do 1300 metrů je výška znázorněna červeně a nad 1300 metrů je znázorněna šedivě. K otestování přesnosti měření zařízení na palubě byl použit výškoměr. Naměřené hodnoty ze zařízení AHMD odpovídají skutečnosti.



Obrázek 15 - Graf výšky letu ze zařízení AHMD

V dalším obrázku je znázorněn průběh přetížení v průběhu letu. Hodnoty přetížení do 2,0 G jsou stanoveny červenou přímkou. Většina letu probíhá právě pod touto hranicí. Přetížení nad 5,0 G je znázorněno modrou přímkou. Nad tuto hodnotu přetížení se kluzák dostal po vypnutí (což odpovídá hodnotě přijatého signálu 577), kdy zkoušel základní akrobatické prvky, aby se ověřila správnost měření. Ta byla potvrzena dle hodnot naměřených na G-metru umístěného na palubě letounu.



Obrázek 16 - Graf naměřených hodnot přetížení ze zařízení AHMD

#### 4.4. STRUKTURA SYSTÉMU AHMD

Systém AHMD je specificky upraven pro provoz ve sportovním letectví, konkrétně pro leteckou akrobacii. Systém má dva základní režimy, kterými jsou on-line a off-line mód.

On-line mód je charakteristický tím, že systém měření a následného přenosu dat zaznamenaných v průběhu letu je přenášen téměř v reálném čase. Systém měření a přenosu letových parametrů se skládá z několika dílčích částí. Každá z těchto částí automaticky vykonává rozdílné funkce bez zásahu pilota. Systém je autonomní. Naměřená telemetrická data jsou předávána vysílací části. Jejich přenos je zajištěn všesměrovým radiovým kanálem do přijímací části umístěné na zemi. Zde jsou přenesená data roztríděna. Data se třídí na audio/vizuální data a dalším výstupem je graf.

Off-line mód je režim, kdy systém nepřenáší žádná data na zem a veškeré naměřené záznamy jsou ukládány do interní paměti zařízení. Tato data lze po přistání, případně po přístupu k zařízení, stáhnout příslušným softwarem v počítači.

Další možností získání dat je, že odeslání dat, která jsou sbírána v režimu off-line, proběhne okamžitě po přistání při připojení zařízení k Wi-Fi. Systém následně odešle všechna nasbíraná data od poledního odeslání. Data ve sběrovém serveru jsou tedy kompletní a zálohována. Data jsou uchovávána do doby dosažení kapacity paměti, poté jsou mazána od nejstarších k nejnovějším, aby se uvolňovalo místo nově sbíraným datům z letů. [2]

#### 4.5. REALIZOVATELNOST NÁVRHU, CENOVÁ NÁROČNOST/DOSTUPNOST

Software AHMD pro sportovní letectví je připraven a v rámci České republiky je již pro tyto účely využíván. Tržní hodnota produktu se pohybuje kolem 1000 €. Rozdíl 200 € oproti verzi pro všeobecné letectví je v jiném druhu rádia a výkonnějších baterií v zařízení. Plánovaná doba dodání zařízení je 3 až 6 týdnů v závislosti na počtu kusů a nárocích uživatele na odchylky od základní verze softwaru ve sportovním letectví.

#### 4.6. ZVYŠOVÁNÍ BEZPEČNOSTI

Z hlediska sportovní akrobacie zařízení AHMD zvyšuje bezpečnost tím, že je vůbec přítomno na palubě. Piloti nepřekračují letové režimy daného akrobatického speciálu úmyslně, vědí, že všechna data jsou on-line přenášena a pokud se jedná o soutěž, tak budou diskvalifikováni. Pokud přeci jen dojde k překročení limitů letounu, je přesný záznam, v jaké fázi letu se to stalo. Je možné letoun ihned prohlédnout pro přistání zda došlo k poškození. Letouny jsou často sdílené, a je to ochrana jak pilota, který překročil obálku, tak i pilota dalšího, který provede následující let. V neposlední řadě se jedná o zvyšování fair-play systému. Sice s bezpečností a provedením letu nemá tolik společného, přesto toto užití systému stojí za zmínku, jelikož je možné naprosto eliminovat veškeré spory o neutralnosti rozhodčích.

## 5. ZÁVĚR

Cílem mé bakalářské práce bylo porovnat a vyhodnotit dostupné produkty na trhu, které mohou sledovat let ve všeobecném a sportovním letectví. Dále určení parametrů, které mají být přenášeny v reálném čase z paluby letounu, jaký tato data mají přínos a proč je potřeba mít takové zařízení na palubě.

Jsou zde stanoveny všeobecné podmínky, které systém musí umět snímat, zpracovávat a následně data odesílat v reálném čase. Z rešerše dostupných zapisovacích zařízení používaných ve všeobecném a sportovním letectví vyplynulo, že pouze jedno zařízení odpovídá stanoveným požadavkům a tím je ONI Systém. Toto zařízení bylo podrobena testovacím letům. Záznamy z tohoto letu se ukázaly jako částečně použitelné. Data, která by mohla být využita, tak by šly využít pouze ve všeobecném letectví. Jelikož dle stanovených parametrů se má jednat o univerzální zařízení, které zvládne všechny sféry použití, toto zařízení zmíněné nejpodstatnější kritérium nesplňuje. Proto je zde navrženo použití nového produktu, který zatím není na trhu. Tento systém se nazývá AHMD.

AHMD je schopno přenášet data v reálném čase (se zpožděním v řádu milisekund až jednotek sekund). Přenášené údaje jsou: měření akcelerace, rotace, souřadnice GPS, stav motoru, rychlost letounu, přetížení a telemetrické údaje systému. Zařízení je vhodné pro použití obecně ve všeobecném, a i specificky ve sportovním letectví. Jeho výhodou je autonomnost, nízká latence přenosu, zpracování některých dat přímo na palubě letadla, zálohování veškerých dat, několik pracovních módů z pohledu napájení systému a schopnost pracovat několik týdnů až měsíců s využitím vnitřní baterie. Jedná se tak o nejlepší možné současné zařízení pro sledování letu.

Na základě výše míněného je možné stanovit, že cíl práce byl splněn.

## POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE

- [1] *BRADÁČ, Radim. Monitorování a vyhodnocení letových dat ve všeobecném letectví.* Praha, 2017. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Peter Vittek, Ph.D.
- [2] *BARTŮNĚK, Filip. Záznam letu a jeho využití pro potřeby letecké školy.* Praha, 2017. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Mgr. Karel Hanton, Ing. Stanislav Pleninger, Ph.D.
- [3] *MACHULA, Vladimír. Přenos dat z pohybujících se objektů.* Praha, 2009. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Chod CSc.
- [4] *KUČERA, Petr. Bezdrátový přenos letových údajů z letounu na krátkou vzdálenost.* Brno, 2009. Vysoké Učení Technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jan Prokopec, Ph.D.
- [5] *DOLEJŠÍ, Petr. Bezdrátový přenos telemetrických dat.* Praha, 2012. Diplomová práce. Vedoucí práce Ing. Vladimír Machula
- [6] *PÁNOVEC, Michal. Anténní rotátor.* Praha, 2012. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Vladimír Machula
- [7] *HARANT, BC., Josef. Elektronický snímač letových parametrů.* Brno, 2009. Diplomová práce. Vysoké Učení Technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.
- [8] *GREWAL, Mohinder S., WEILL, Lawrence R., ANDREWS, Angus P. Global Positioning System, Inertial Navigation, and Integration.* 2nd edition. Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons Inc., 2007. 525 s. Wiley-Interscience. ISBN 978-0-470-04190-1.
- [9] *MINISTERSTVO, DOPRAVY, ČR. Předpis o odborném zjišťování příčin leteckých nehod a incidentů.* L13. č.j. 28.376/01-220.
- [10] <https://www.bksv.com>: *The sound and vibration specialist* [online]. Copenhagen, Denmark [cit. 2018-07-19]. Dostupné z: <https://www.bksv.com/en/>
- [11] MLEJNEK, Jiří. FID AVIONICS. *FID AVIONICS* [online]. [cit. 2018-08-06]. Dostupné z: <https://www.fid-avionics.com/cz/produkty-a-sluzby/>
- [12] MOMOOK. *MOMOOK: Aviation Training Management Software - Momook* [online]. [cit. 2018-10-08]. Dostupné z: <https://momook.com/>
- [13] ONI SYSTEM: *Sledování vozidel, střežení vozidel* [online]. Havířov [cit. 2018-08-14]. Dostupné z: <https://www.onisystem.cz/>

- [14] *Řízení letového provozu České republiky* [online]. Praha [cit. 2018-08-14]. Dostupné z: <http://www.rlp.cz/spolecnost/profil/Stranky/historie.aspx>
- [15] *FLARM: FLARM Technology* [online]. Switzerland [cit. 2018-08-16]. Dostupné z: <https://flarm.com/products/>
- [16] *Aviation Safety Network: ASN* [online]. 2018 [cit. 2018-08-16]. Dostupné z: <https://aviation-safety.net/statistics/>
- [17] *KDÉR, František. Učebnice sportovního letce*. Naše vojsko, Svazarm, 1980. ISBN 28-017-80.
- [18] *Colibri II, Manual version: 1.7: Flight recorder and navigation instrument*. Tkalska, Celje: LX navigation d.o.o.
- [19] SWITZERLAND. *FAI Sporting Code: Section 6, Regulations for Conduct of International Aerobatic Events, Part 2, Glider Aircrafts*. In: . Lousanne: Fédération Aéronautique Internationale, 2017, ročník 2017, Version 2017-1. Dostupné také z: <https://www.fai.org/civa-documents>
- [20] ČESKÁ REPUBLIKA. *Všeobecné oprávnění VO-R/10: všeobecné oprávnění č. VO-R/10/11.2016-13 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení krátkého dosahu*. In: . Praha, 2016, Čj. ČTÚ-90 291/2016-613. Dostupné také z: Čj. ČTÚ-90 291/2016-613
- [21] *Číslíková filtrace* [online]. [cit. 2018-08-19]. Dostupné z: [http://www.kiv.zcu.cz/~mautner/Azs/Azs7\\_Cisliciva\\_filtrace\\_zaklady.pdf](http://www.kiv.zcu.cz/~mautner/Azs/Azs7_Cisliciva_filtrace_zaklady.pdf)
- [22] *Mobile FliteDeck VFR* [online]. United States of America [cit. 2018-08-26]. Dostupné z: <https://ww1.jeppesen.com/aviation/products/mobile-flitedeck-vfr/index.jsp>
- [23] *Garmin General Aviation* [online]. [cit. 2018-08-26]. Dostupné z: <https://buy.garmin.com/en-US/US/cInTheAir-c582-p1.html>