



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
FAKULTA DOPRAVNÍ

Radim Bradáč

**MONITOROVÁNÍ A VYHODNOCOVÁNÍ LETOVÝCH  
DAT VE VŠEOBECNÉM LETECTVÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017



**K621..... Ústav letecké dopravy**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Radim Bradáč**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**B 3710 – LED – Letecká doprava**

Název tématu (česky): **Monitorování a vyhodnocování letových dat ve všeobecném letectví**

Název tématu (anglicky): Flight Data Monitoring and Evaluation in General Aviation

### **Zásady pro vypracování**

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

- Úvod do problematiky, účel používání OFDM a jeho úskalí
- Definice uživatelů, podmínky používání, legislativní požadavky
- Používané systémy, způsoby vyhodnocování dat, výsledky analýz, případy užití
- Představení problémů všeobecného letectví, na které je vhodné OFDM aplikovat
- Možnosti zapisovacích zařízení ve všeobecném letectví
- Definování jednotlivých typů bezpečnostních událostí a vytvoření datové struktury vhodné pro sběr, zpracování a analýzu OFDM dat

- 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: Vittek, P., Kraus, J., Szabo, S. - Moderní přístup k hodnocení provozní bezpečnosti v letectví  
Safety management manual (SMM). 3rd edition.  
International Civil Aviation Organization, 2013.  
ICAO. Annex 19 - Safety Management. First Edition  
2013, ISBN 978-92-9249-232-8

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Peter Vittek, Ph.D.**  
**Ing. Andrej Lališ**

Datum zadání bakalářské práce: **28. října 2016**  
(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: **28. srpna 2017**  
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.



Radim Bradáč  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 28. října 2016

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych na tomto místě poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady a cenné rady pro vypracování této práce. Zvláštní poděkování potom patří vedoucímu mé bakalářské práce, Ing. Peteru Vittekovi, Ph.D., za odborné vedení, které mi ochotně poskytoval při tvorbě této práce. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat svým rodičům a všem svým blízkým, kteří mi poskytovali morální a materiální podporu po celou dobu mého studia.

## PROHLÁŠENÍ

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

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

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

V Praze dne 23.8.2017



podpis

**MONITOROVÁNÍ A VYHODNOCOVÁNÍ LETOVÝCH DAT VE  
VŠEOBECNÉM LETECTVÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

srpen 2017

Radim Bradáč

**ABSTRAKT**

Cílem této práce je popsat principy sledování letových dat jako součásti SMS, seznámení s používanými řešeními v obchodní letecké dopravě a možnostmi použití ve všeobecném letectví. Další část této práce je zaměřena na konkrétní použití systému ve všeobecném letectví - jsou rozebrány události, které je nutné sledovat, metodika jejich vyhodnocování a na tomto základě stanoveny požadavky na zapisovací zařízení na palubě, čímž je dána koncepce sledování provozních dat ve všeobecném letectví.

**ABSTRACT**

The aim of this thesis is to describe the principles of flight data monitoring as a part of SMS, description of presently used FDM systems and the options of usage in general aviation. In the next part the events that should be monitored are described as well as procedures of evaluation of the measured data. In the final part requirements on recording device used are stated, which makes a complex concept of FDM in general aviation.

**KLÍČOVÁ SLOVA**

Všeobecné letectví, letová data, analýza, safety management, letový zapisovač, SMS, FDM, FOQA

**KEYWORDS**

General aviation, flight data, analysis, safety management, flight recorder, SMS, FDM, FOQA

# Obsah

Obsah.....	6
1. Seznam použitých zkratk .....	9
2. Úvod .....	11
3. Bezpečnost letectví.....	13
3.1 Vznik letecké nehody .....	13
4. Legislativní požadavky.....	14
4.1 Definice .....	14
4.2 Předpis L19 .....	14
4.3 Předpis L6 .....	15
4.4 EU-OPS.....	16
5. Safety Management System .....	17
6. Systém FDM jako nástroj SMS .....	20
6.1 Účel FDM.....	21
6.2 Popis funkce typického FDM systému .....	22
7. Měření a analýza dat .....	23
7.1 Měření dat .....	23
7.1.1 Flight Data Acquisition Unit (FDAU).....	23
7.1.2 Digital Flight Data Recorder.....	23
7.1.3 Quick Acces Recorder .....	24
7.2 Analýza naměřených dat .....	25
7.2.1 Detekce překročení omezení .....	25
7.2.2 Sledování rutinních letů .....	25
7.2.3 Vyšetřování incidentů a data pro údržbu.....	25
7.2.4 Databáze informací.....	26
7.2.5 Vyhodnocení dat.....	26
7.3 Propojení se SMS.....	26
7.3.1 Posouzení rizika .....	26
7.3.2 Nápravné opatření .....	26
7.3.3 Zajištění bezpečnosti .....	27
7.3.4 Podpora bezpečnosti .....	27
8. Používané systémy FDM a vyhodnocení dat .....	28
8.1 Aircraft Flight Analysis & Safety Explorer (AirFASE) .....	28
8.2 SENTINEL (British Airways Flight Data Tools).....	29
8.2.1 Flight Data Traces (FDT) .....	29
8.2.2 Flight Data Simulation (FDS) .....	30
8.2.3 Flight Data Events (FDE).....	31
8.2.4 Flight Data Measurments (FDM).....	33
8.3 Line Operations Monitoring System .....	34

9.	Konkrétní případy využití FDM.....	35
9.1	Zapomenuté klapky .....	35
9.2	Nízká rychlost po vzletu .....	35
9.3	Úspora paliva pro „short-haul“ provozovatele.....	36
10.	FDM jako nástroj všeobecného letectví .....	39
10.1	Charakteristika provozu GA .....	39
10.1.1	Provozní bezpečnost GA .....	39
10.2	Definice uživatelů FDM mezi provozovateli GA.....	40
10.3	Příklad použití systému FDM v GA .....	41
11.	Zapisovací zařízení pro všeobecné letectví.....	42
11.1	Požadavky na záznamové zařízení.....	42
11.2	Používaná zapisovací zařízení .....	42
11.2.1	FT300 - GPS/GSM online tracker .....	42
11.2.2	Colibri II .....	43
11.2.3	Flight Position Logger TL-6024 .....	44
11.2.4	Garmin GDL59 Data Logger .....	45
11.2.5	iLevel 3 AW.....	45
12.	Vyhodnocování naměřených dat v GA .....	47
12.1	Přehled událostí (eventů).....	47
12.1.1	Poloha .....	47
12.1.2	Rychlosti.....	47
12.1.3	Výšky.....	48
12.1.4	Vertikální rychlost .....	48
12.1.5	Systémy letadla .....	48
12.1.6	Letové události .....	49
12.2	Datová struktura pro vyhodnocení .....	49
12.2.1	Definice fází letu .....	49
12.2.2	Podmínky vyhodnocení události .....	50
12.2.3	Rychlosti.....	51
12.2.4	Výšky.....	52
12.2.5	Vertikální rychlost .....	52
12.2.6	Systémy letadla .....	53
12.2.7	Letové události .....	53
12.3	Potřebná data pro vyhodnocení událostí.....	54
12.3.1	Parametry pro vyhodnocení fází letu.....	54
12.3.2	Rychlosti.....	55
12.3.3	Výšky.....	56
12.3.4	Vertikální rychlost .....	56
12.3.5	Systémy letadla .....	57

12.3.6	Letové události .....	57
12.4	Požadavky na zapisovací zařízení a data .....	57
12.4.1	Srovnání možností existujících zapisovacích zařízení .....	58
12.5	Praktický test systému iLevel a vyhodnocení .....	59
13.	Závěr.....	62
14.	Použité zdroje .....	64
15.	Seznam příloh.....	66
16.	Příloha 1 – ukázka datové struktury zařízení iLevel.....	67



## 1. Seznam použitých zkratek

AAL	Above Aerodrome Level
ADC	Air Data Computer
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance – Broadcast
AGL	Above Ground Level
AHRS	Attitude and Heading Reference System
ALT	Altitude
AMSL	Above Mean Sea Level
ATO	Approved Training Organization
CVR	Cockpit Voice Recorder
DFDR	Digital Flight Data Recorder
EASA	European Aviation Safety Agency
FDAU	Flight Data Acquisition Unit
FDM	Flight Data Monitoring
FL	Flight Level
FOQA	Flight Operations Quality Assurance
GA	General Aviation
GNSS	Global Navigation Satellite Service
GPWS	Ground Proximity Warning System
GSM	Global System for Mobile Communications
HDG	Heading
IAS	Indicated Airspeed
ICAO	International Civil Aviation Organization
IMC	Instrument Meteorological Conditions
MTOM	Maximum Take Off Mass
NIL	Nothing
NTSB	National Transportation Safety Board
OFDM	Operational Flight Data Monitoring
OPS	Operations
QAR	Quick Access Recorder
SMM	Safety Management Manual
SMS	Safety Management System
SOP	Standard Operation Procedures
SSDFDR	Solid State Flight Data Recorder
V/S	Vertical Speed
V <sub>2</sub>	Takeoff safety speed
V <sub>FE</sub>	Maximum flap extended speed

$V_{LE}$	Maximum landing gear extended speed
$V_{LO}$	Maximum landing gear operating speed
VMC	Visual Meteorological Conditions
$V_{NE}$	Never exceed speed
$V_{NO}$	Maximum speed for normal operations
$V_R$	Rotation speed

## 2. Úvod

Létání je považováno za jednu z nejkompexnějších činností člověka. I přes jeho nezpochybnitelnou složitost se však jedná o jeden z nejbezpečnějších způsobů dopravy. Aby byla tato vysoká míra bezpečnosti nejen zachována, ale stále se snižoval počet leteckých nehod, bylo vyvinuto mnoho nástrojů pro zlepšování a sledování úrovně bezpečnosti.

Jedním z těchto nástrojů je poměrně „mladý“ Safety Management System. SMS musí být zaveden zejména u všech společností provozujících obchodní leteckou dopravu a schválených organizací pro výcvik a musí být přiměřený velikosti a složitosti provozu dané organizace. Jeho princip spočívá v identifikaci aktuálních a potenciálních nebezpečí, posouzení souvisejících bezpečnostních rizik a následnému zavedení nápravných opatření, aby byla udržena přijatelná úroveň bezpečnosti. Vhodnost a účinnost těchto opatření je následně vyhodnocována.

Jako jeden z hlavních pilířů identifikace nebezpečí se používá systém FDM. Tento systém spočívá v zaznamenávání a následném analyzování letových provozních dat. Data získaná systémem FDM v žádném případě nemají sloužit k represivním účelům vůči posádkám, jejich jediným cílem by mělo být pouze zvýšení bezpečnosti provozu.

Tento systém je silným nástrojem zejména provozovatelů obchodní letecké dopravy, ale ve světě všeobecného letectví dosud nebyl aplikován. Systémy SMS provozovatelů ve všeobecném letectví se obvykle opírají pouze o systém hlášení událostí, který ale často obsahuje subjektivní data a vstupy bývají často jen reaktivní. Obvykle navíc takových dat nebývá k dispozici dostatečné množství a systém SMS tak nemá dostatek dat pro odhalení a predikci bezpečnostních rizik ještě dříve, než se stačí projevit mimořádnou událostí v provozu. Implementace FDM by tak mohla znamenat velké zvýšení úrovně bezpečnosti u některých provozovatelů ve všeobecném letectví, protože by poskytl množství dat získaných přímo z provozu, díky nimž by bylo možné případné hrozby včas odhalit. Nástroj by mohl být také užitečný pro letecké školy, kdy při opakovaných událostech při samostatných letech žáků, které v současné době zůstávají neodhalené, by bylo možné upravit konkrétní část výcviku tak, aby se vznik událostí eliminoval a tím celkově zvýšit kvalitu poskytovaného výcviku a potažmo celkovou bezpečnost provozu.

Cílem mé bakalářské práce je tedy nejprve rozebrat principy SMS a FDM v podobě, ve které je dnes používán v obchodní letecké dopravě. Dále určit, v jaké podobě by byl systém FDM použitelný pro všeobecné letectví a celkově stanovit koncepci systému FDM ve všeobecném letectví, zejména tedy určit události, které by bylo praktické vyhodnocovat a sledovat a jaká

data by pro jejich odhalení bylo nutné zaznamenávat a následně vyhodnocovat. Z této analýzy získáme jasné požadavky na zapisovací zařízení, které by bylo základem systému sledování letových dat ve všeobecném letectví, a z analýzy současně používaných zařízení ve všeobecném letectví zjistíme, zdali je možné některé z nich pro takový systém využít, nebo je potřeba zkonstruovat zcela nové záznamové zařízení. Výsledkem mé práce by tedy měla být komplexní koncepce systému FDM ve všeobecném letectví jako součást SMS, na kterou by mělo být možné navázat konkrétním vývojem daného systému a jeho implementací do provozu.

### 3. Bezpečnost letectví

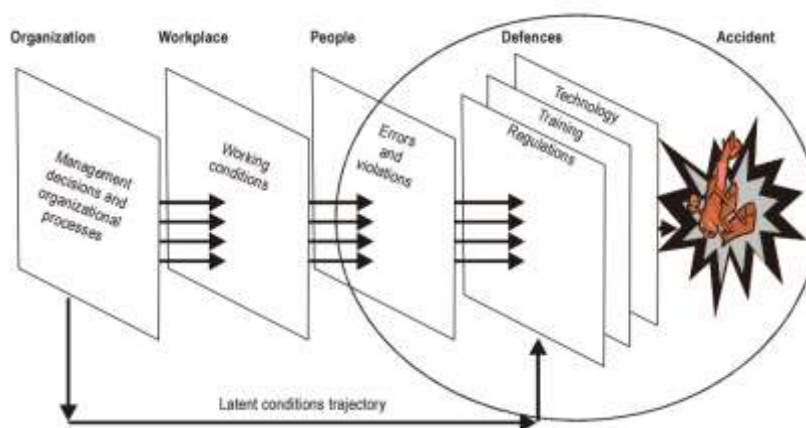
Přestože ideálním cílem zvyšování úrovně bezpečnosti je úplná eliminace leteckých nehod a vážných incidentů, je zřejmé, že letový provoz nebude, stejně jako každý člověkem řízený a sestrojený systém, nikdy zcela bez chyb a vyplývajících rizik. Úroveň bezpečnostních rizik ale musí být udržena pod určitou úrovní, která vyplývá z mezinárodních předpisů.

#### 3.1 Vznik letecké nehody

Vznik letecké nehody nejlépe vystihuje „model ementálu“ (Swiss cheese model). Tento model rozděluje systém na několik „plátků“ ementálu, které jsou poskládány za sebou, kde každý plátek představuje jednu úroveň ochrany a díry v ementálu selhání jednotlivé vrstvy. Teorie říká, že při selhání jednotlivé vrstvy, je velmi nepravděpodobné selhání celého systému, ale musí selhat více úrovní ochrany najednou.

Jednotlivá selhání mohou být buď aktivní selhání, která představují chyby a úmyslné nekázně a jsou většinou spojena s provozním personálem. Jednotlivé aktivní selhání může mít přímý nepříznivý vliv na bezpečnost. Dále existují latentní podmínky, které přetrvávají po dlouhou dobu, a trvá, než se jejich účinek projeví. Z prvu se vůbec nemusí zdát, že se jedná o podmínky narušující bezpečnost, jejich efekt se však projeví, jakmile dojde k porušení jiných vrstev systému. Často bývají způsobeny lidmi vzdálenými pozicemi i časem od události, ke které vedou. Může se jednat například o chyby způsobené špatnou bezpečnostní kulturou, špatně navržené provozní postupy apod.

Na obrázku číslo 1 je vysvětlen princip vzniku letecké nehody dle výše uvedeného modelu. Znázorňuje mnoho vrstev ochrany, které chrání letectví před lidským selháním ve všech úrovních systémů. Selhání, která ale projdou skrz všechny vrstvy ochrany, mohou způsobit potenciálně katastrofickou situaci. Zároveň jsou znázorněny všude přítomné latentní podmínky, které se mohou projevit až v kombinaci s určitým jiným selháním. <sup>[1]</sup>



Obrázek 1 Vznik letecké nehody dle "Swiss Cheese Model"(Zdroj: Safety Management Manual ICAO

## 4. Legislativní požadavky

Systémem řízení bezpečnosti se zabývá předpis L19 – Řízení bezpečnosti, dále výkladový materiál SMM (Safety Management Manual), Doc 9859 ICAO. FDM se potom zabývá předpis L6 – Provoz letadel a výkladový materiál ICAO Doc 10000 a jim odpovídající Annexy. Obecně záznamem letových dat zacházením s nimi se zabývá předpis EU-OPS.

### 4.1 Definice

Pro jednoznačnost je nutné stručně uvést definice, které obsahují vybrané části předpisu.

**Bezpečnostní riziko (Safety risk):** Předpovídaná pravděpodobnost a závažnost následků nebo výsledků nebezpečí.

**Bezpečnost (Safety):** Stav, při kterém jsou rizika spojená s leteckými činnostmi souvisejícími s provozem letadel nebo jej přímo podporujícími snížena a řízena na přijatelné úrovni.

**Provozní personál:** Personál zapojený do leteckého provozu, který se nachází na pozici, ve které podává hlášení o informacích vztahujících se k bezpečnosti. *Poznámka:* Takový personál zahrnuje, ale není omezen na, letové posádky, řídící letového provozu, operátory leteckých stanic, techniky údržby, palubní průvodčí, letové dispečery a personál na odbavovací ploše.

**Personál ovlivňující bezpečnost (Safety - sensitive personnel):** Osoby, které by mohly ohrožit bezpečnost letectví, jestliže neplní řádně své povinnosti a funkce, včetně členů posádek, personálu zajišťujícího údržbu letadel a řídících letového provozu. <sup>[2]</sup>

### 4.2 Předpis L19

Národní předpis L19 – Řízení bezpečnosti vychází z Annexu 19 ICAO a zabývá se systémem řízení bezpečnosti (SMS).

**L19, Dodatek A, odstavec 2.2:** Poskytovatelé služeb v letectví musí mít zaveden systém SMS, který musí být přiměřený velikosti poskytovatele služeb a složitosti leteckých činností nebo služeb. Jedná se o všechny schválené organizace pro výcvik, která jsou vystavena rizikům plynoucích z provozu letadel, provozovatele letounů nebo vrtulníků schválených k provozu mezinárodní obchodní letecké dopravy, oprávněných organizací k údržbě poskytujících služby provozovatelům letounů nebo vrtulníků zapojených do mezinárodní obchodní letecké dopravy, organizace odpovědné za typový návrh letadel, organizace odpovědné za výrobu letadel, poskytovatelé letových provozních služeb (ATS) a

provozovatele certifikovaných letišť. Systém SMS těchto organizací musí být přijatelný pro příslušný úřad.

**L19, Hlava 5, odstavec 5.3:** předpis se zabývá i ochranou osobních údajů – systém SMS musí být nerepresivní (tzv. „learning, not blaming policy“) a osobní údaje chráněny:

**L19, Dodatek B:** Ochrana informací vztahujících se k bezpečnosti před nevhodným užitím je základem k zajištění jejich nepřetržité dostupnosti, jelikož použití informací vztahujících se k bezpečnosti pro jiné účely než týkající se bezpečnosti, může zabránit budoucí dostupnosti takovýchto informací a mít nepříznivý vliv na bezpečnost. Tato skutečnost byla uznána 35. valným shromážděním ICAO, na kterém bylo poznamenáno, že stávající národní zákony a předpisy v mnoha státech nemusí dostatečně řešit způsob, jakým jsou informace vztahující se k bezpečnosti chráněny před nevhodným užitím. <sup>[2]</sup>

### **4.3 Předpis L6**

Národní předpis L6 – Provoz letadel vychází z Annexu 6 ICAO a zabývá se podmínkami pro provoz letadel.

**L6/I, Hlava 3, odstavec 3.4:** Provozovatel letounu s maximální schválenou certifikovanou vzletovou hmotností přesahující 20 000 kg by měl zavést a udržovat program rozboru letových údajů, jako součást systému řízení bezpečnosti.

Provozovatel letounu s maximální certifikovanou vzletovou hmotností přesahující 27 000 kg musí zavést a udržovat program rozboru letových údajů, jako součást svého systému řízení bezpečnosti.

Provozovatel vrtulníku s maximální schválenou vzletovou hmotností větší než 7 000 kg nebo s počtem sedadel pro cestující větším než 9 a zastavěným zapisovačem letových údajů by měl vytvořit a udržovat program rozboru letových údajů jako součást svého systému řízení bezpečnosti.

Provozovatel musí zavést systém dokumentace bezpečnosti letů pro využití a vedení provozního personálu, jako součást svého systému řízení bezpečnosti.

Z programu rozboru letových údajů nesmí být vyvozována kárná odpovědnost a program musí obsahovat záruky ochrany zdroje těchto údajů.

Z výše uvedených předpisů tedy vyplývá, že i když SMS musí mít zaveden v podstatě všichni poskytovatelé služeb v letectví, tedy i organizace provozující v rámci všeobecného letectví, systém FDM už musí mít zaveden pouze organizace provozující letouny s MTOM vyšší, než 27 000 kg. Tento systém by ale mohl poskytnout cenná data i GA

provozovatelům. Pokud by se takový systém ale podařilo postavit na některém ze současných zapisovacích zařízení, pořizovací náklady by přitom mohly být velmi příznivé. <sup>[3]</sup>

#### **4.4 EU-OPS**

Jedná se o evropský předpis vydaný organizací EASA, a stanoví podmínky provozu pro provozovatele obchodní letecké dopravy, která je provozována letouny.

##### **OPS1.160:** (c) Využívání záznamu (přeloženo)

1. Záznam CVR nesmí být použit pro jiné účely, než vyšetřování letecké nehody nebo incidentu, který podléhá povinnému hlášení, s výjimkou případu, kdy k tomu svolí všichni zúčastnění členové letové posádky.

2. Záznam FDR nesmí být použit pro jiné účely, než vyšetřování letecké nehody nebo incidentu, který podléhá povinnému hlášení, s výjimkou případu, kdy jsou záznamy: (i) použity pouze provozovatelem výhradně pro účely zachování letové způsobilosti nebo údržby; nebo (ii) jsou anonymizovány; nebo (iii) je s nimi nakládáno jako s důvěrným materiálem. <sup>[4]</sup>

Tento odstavec tedy vylučuje hlasový záznam zaznamenaný pomocí CVR z použití v systému FDM. Data použita z FDR, respektive QAR, musí být depersonalizována.



## 5. Safety Management System

Pro dosažení cíle eliminace leteckých nehod a vážných incidentů v civilním letectví je SMS kritickým nástrojem. Principem safety management systému je odhalit rizika ještě dříve, než se stačí projevit v provozu a přijetím vhodných opatření jim zamezit. Opatření jsou následně sledována a jejich účinnost vyhodnocována. Výstupy SMS musí sloužit pouze pro zvýšení úrovně bezpečnosti a nesmí sloužit k represivním účelům (vyjma případu, kdy je dané chování možné posoudit jako trestný čin v souladu se zákony dané země). Protože sledování letových dat, kterému se věnuji ve své práci, je pouhým nástrojem systému řízení bezpečnosti, považuji za nutné ve své práci stručně zmínit princip safety management systému.



Obrázek 2 Princip SMS - letecké nehodě je možné předejít sledováním provozních událostí.

SMS má 4 základní pilíře, které v následujícím textu stručně rozeberu. Je jimi stanovení bezpečnostní politiky a cílů, řízení bezpečnostních rizik, zajištění bezpečnosti, a podpora bezpečnosti.

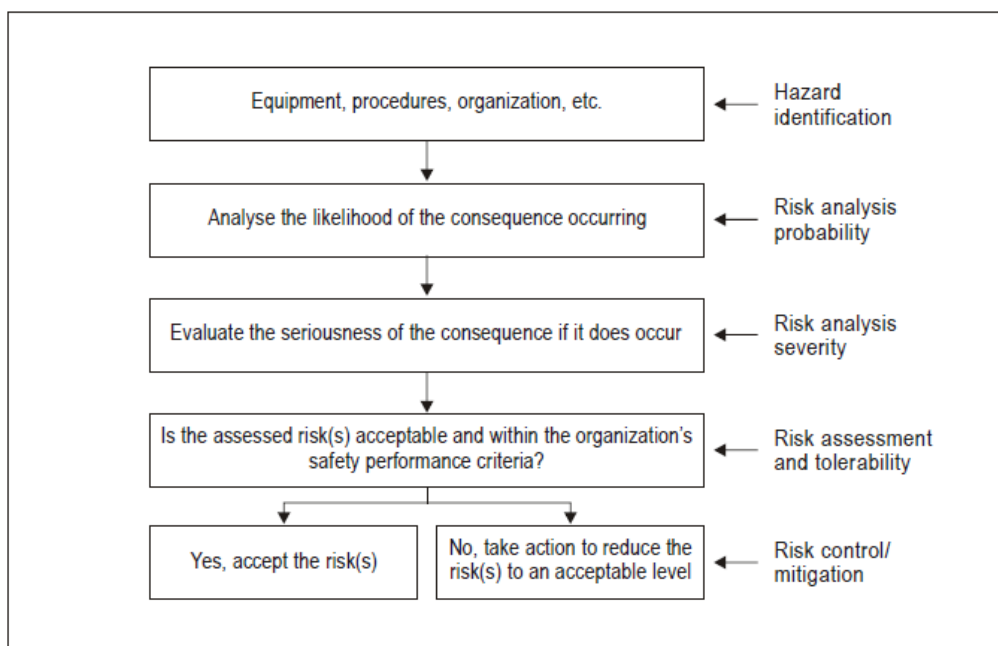
**Bezpečnostní politika a cíle (Safety policy and objectives)** tvoří referenční rámec pro SMS. Musí obsahovat závazek vedení k prosazování bezpečnostní politiky, rozdělení odpovědností za provozní bezpečnost v rámci daného provozovatele a musí obsahovat, jakým způsobem je možné hlásit události v provozu. Dále musí jasně popisovat, jaké události

jsou v provozu nepřipustné a za jakých podmínek nesmí být po nahlášení události zahájeno disciplinární řízení. Tato část musí být veřejně přístupná všem provozním zaměstnancům organizace a pravidelně aktualizována.

V případě implementace FDM do organizace všeobecného letectví se tedy vedení musí zavázat k využívání tohoto systému a nastavení všech procesů tak, aby bylo dobře využitelné pro zvýšení provozní bezpečnosti organizace.

Cílem **řízení bezpečnostních rizik (Safety risk management)** je identifikovat nebezpečí, posoudit rizika a přijmout bezpečnostní opatření. Jedná se o konstantní monitorování bezpečnostních rizik, která vyplývají z provozu dané organizace. Pokud dojde ke zjištění bezpečnostního rizika, je následně vyhodnocena jeho závažnost (jako kombinace pravděpodobnosti výskytu a důsledku) a buď je riziko vyhodnoceno jako akceptovatelné, nebo je přijato bezpečnostní opatření. Tento proces je znázorněn na obrázku 3.

Rizika mohou vznikat z mnoha důvodů – selhání vybavení, selhání lidského faktoru, špatně navržené postupy apod. Vstupy mohou být proaktivní (dobrovolná hlášení událostí, průzkumy, audity), reaktivní (povinná hlášení událostí, závěrečné zprávy incidentů a nehod) a prediktivní. Mimo systému hlášení přímo od „front line“ pracovníků je velmi důležitým vstupem v této oblasti právě systém FDM, jehož data po správném vyhodnocení mohou poskytnout velice cenná prediktivní data. Konkrétními příklady se budu zabývat dále.



Obrázek 3 Procesování rizika v systému SMS. Zdroj: Safety Management Manual ICAO

**Zajištění bezpečnosti (Safety Assurance)** má za úkol nepřetržitě pozorovat bezpečnost provozu a ověřuje tedy účinnost přijatých opatření v řízení bezpečnosti. Úzce souvisí se zajištěním shody (Compliance Assurance), které probíhá monitorováním dodržování mezinárodních předpisů, norem ale i provozních postupů daného provozovatele. Toto se týká také samotného SMS – skrz vnitřní audity se zjišťuje, jestli SMS funguje efektivně a v souladu s bezpečnostní politikou. Důležitým vstupem této části SMS je systém povinných i dobrovolných hlášení, vnitřní audity a vyšetřování, ale například i dotazníky uvnitř provozovatele. Jinou možností je právě implementace záznamových zařízení, která poskytují objektivní data přímo z provozu a je možné tedy snadno pozorovat úroveň bezpečnosti a případných trendů.

**Podpora bezpečnosti (Safety Promotion)** se týká vzdělávání personálu a zvyšování povědomí o provozní bezpečnosti. Určitou úroveň výcviku musí projít každý personál ovlivňující bezpečnost (safety sensitive personnel) tak, aby mohl uspokojivě vykonávat své povinnosti. Mimo to musí pracovníka seznámit s bezpečnostní politikou společnosti, odpovědnostmi v rámci SMS i o systému hlášení událostí. Každý takový výcvik musí být zadokumentován a periodicky opakován.

Pro zvýšení povědomí v oblasti bezpečnosti se zavádí tzv. Safety Communication, skrz kterou jsou veškerému personálu ovlivňujícímu bezpečnost předávány důležité informace o bezpečnosti – například zavedení nových opatření včetně rozboru a vysvětlení.

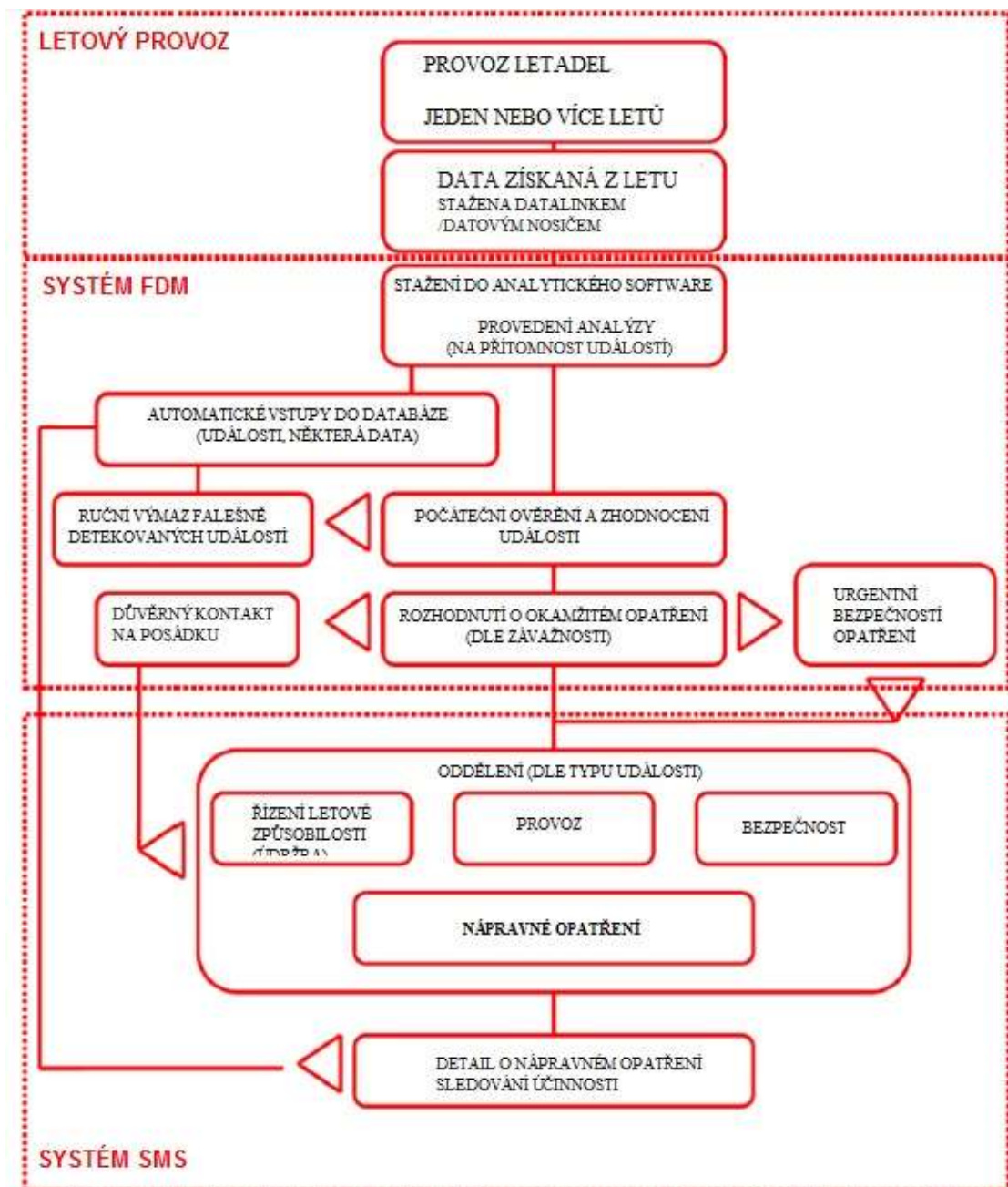
Obecným cílem této části SMS by ale mělo být nejen zajistit potřebné povědomí a tok důležitých bezpečnostní informací, ale obecně zvýšit povědomí o systému SMS a podporovat zaměstnance v identifikaci a hlášení možných rizik, čímž se zajistí vyšší efektivita celého SMS.

Data ze systému FDM je možné dobře použít i pro podporu bezpečnosti, protože poskytuje přesná data k jednotlivým událostem a je tak možné provést jejich detailní rozbor, který je následně šířen v rámci Safety Communication a pomůže tak zvýšit povědomí mezi posádkami a další takové události předejít. <sup>[1]</sup>

## 6. Systém FDM jako nástroj SMS

Účinnost jakéhokoli systému SMS závisí na znalosti skutečného provozu. Žádný systém řízení bezpečnosti nemůže účinně vycházet z předpokládané úrovně bezpečnosti – například není možné prohlásit, že i když periodické přezkoušení posádek proběhlo bez závad, že bude stejně probíhat i dalších 1000 letů, které posádka provede do příštího přezkoušení. Tím, že systém FDM sleduje veškeré lety, pomáhá identifikovat jak okamžitá, tak potenciální bezpečnostní rizika a zároveň umožňuje snadno sledovat účinnost přijatých opatření. Mimo to nám dává ucelený přehled o reálném provozu a dovede indikovat i bezpečnostní trendy. Mimo to v podstatě poskytuje data pro nepřetržitý „audit“ bezpečnostních standardů.

Jak jsme se ale dozvěděli z předpisových požadavků výše, systém je povinný pro provozovatele s letouny o MTOM větší, než 27 000 kg a doporučený pro provozovatele s letouny nad 20 000 kg MTOM. V případě provozu vrtulníků potom systém musí být zaveden u všech provozovatelů, kteří provozují letadla o MTOM větší, než 7 000 kg a/nebo v konfiguraci pro více, než 9 cestujících. Z toho vyplývá, že požadavek na zavedení systému se dotýká velmi širokého spektra leteckých provozovatelů a neexistuje jediný systém, který by byl použitelný pro všechny charakteristiky provozu. Každý provozovatel bude vyžadovat měření jiných parametrů a jiné metody vyhodnocování dle charakteru jeho provozu. To je kritické si uvědomit, pokud chceme systém implementovat do všeobecného letectví. Jakým způsobem systém FDM zapadá do koncepce SMS a jaká je vlastně cesta od provedení letu až po výstup SMS je znázorněno na obrázku číslo 4.



Obrázek 4 FDM jako součást SMS. Zdroj: FDMP State Civil Aviation Administration Azerbaijan

## 6.1 Účel FDM

Protože lidé jsou, na rozdíl od strojů, kreativní, v každodenním provozu vnášejí do létání svou invenci, dělají neúmyslné chyby a úmyslná porušení, ať už v důsledku rutiny či nekázně. Tyto aspekty ve většině případů vedou k odchylkám od standartních provozních postupů (SOP) daného provozovatele. Pokud je u daného provozovatele implementován systém FDM, je každý let mimo zapisovače letových parametrů (který slouží pro vyhodnocení letových dat v případě nehody či incidentu) zároveň zaznamenáván médiem se snadným přístupem (QAR), případně jsou letová data přímo předávána datovým spojem pozemnímu středisku. Tato data jsou následně vyhodnocena a tím umožňují okamžité

vyhodnocení praktického provádění provozních postupů na palubě ve srovnání se SOP provozovatele. Každá odchylka od SOP nemusí být automaticky nežádoucí či nebezpečná. Konstantním monitorováním provozních dat ale můžeme zjistit odchylky, které se opakují a mohou potenciálně vést k incidentu či nehodě, pokud by došlo k selhání dalších vrstev „ochrany“ (viz model ementálu výše). V takovém případě musí skrz SMS proběhnout korekce daného stavu a následnou zpětnou vazbou monitorování výsledků. Dalším sledováním provozních dat je potom třeba určit, zda-li byla přijatá opatření účinná a daná situace se již nezopakovala. Pokud účinná nebyla, je třeba provést nové korektivní opatření. Konkrétními příklady uplatnění FDM se budu zabývat v práci později.

Zásadním úskalím systému je však podmínka naměření dostatečného množství provozních dat. Vyhodnocování provozních dat může být ale problematické u provozovatelů, kteří buď provozují malou flotilu, případně provádějí malé množství letů. V takovém případě se může stát, že množství nasbíraných dat nebude dostatečné pro rozpoznání trendu a nemusí tak být možné zabránit incidentu či letecké nehodě. V takovém případě se jako řešení nabízí sdílet svá získaná provozní data navzájem s ostatními provozovateli, jejichž charakter provozu je podobný. Letecká doprava je ale silně konkurenční prostředí a v případě FDM se jedná o velmi citlivá data každého provozovatele, která by mohla být zneužita například v rámci konkurenčního boje. Z toho důvodu se tak většina provozovatelů sdílení dat brání.

## **6.2 Popis funkce typického FDM systému**

V typickém systému FDM jsou nejprve naměřena určitá potřebná letová data, která jsou zaznamenána. Tato data jsou následně vyhodnocována v mnoha oblastech - jednak na přítomnost určitých událostí, které jsou považovány za nestandardní, ale jsou sledovány i běžné lety z hlediska trendů. FDM může poskytnout i cenná data pro údržbu. Případná pozorování jsou následně uložena do databáze, včetně informací o počasí, provozní situaci a jiných důležitých parametrech. Pokud se jedná o selhání, ze kterého plyne přímé bezpečnostní riziko, je událost přímým vstupem SMS, který přijme opatření. Pokud se jedná pouze o událost bez okamžitého vlivu na bezpečnost, je uložena do databáze. Databáze je následně používána jako prediktivní nástroj řízení rizik SMS systému – mezi událostmi je hledána příčinná souvislost a pokud je nalezena, opět je přijato opatření. Jeho účinnost je možné velmi pohodlně sledovat dalším vyhodnocováním letových dat. FDM nám tedy umožňuje spojitě sledovat bezpečnostní výkonnost daného provozovatele. Toto fungování je znázorněno na obrázku číslo 4.

## 7. Měření a analýza dat

V této části práce si rozebereme, jakým způsobem jsou získávána data z každodenního provozu a jak jsou následně vyhodnocována u současně používaných systémů FDM.

### 7.1 Měření dat

V době technické éry letectví (letecké nehody byly způsobeny převážně technickým selháním) bylo vyšetřování leteckých nehod velmi náročné. Vzhledem k následkům letecké nehody většinou nebylo možné vycházet ze svědeckých výpovědí z paluby letadla a průběh kritického letu tedy bylo možné dovodit pouze z výpovědí svědků, kteří nehodu viděli ze země a z trosk letadla. Protože ale letadla byla čím dál tím více složitá, často se příčinu letecké nehody nepodařilo objasnit a začal a začalo se volat po záznamových zařízeních, která by zaznamenávala určité parametry a přechovala je pro případ vyšetřování letecké nehody. Byly tedy zkonstruovány první zařízení pro záznam letových parametrů. Od té doby prošly systémy měření a zápisu dat velkým vývojem, jehož popis by byl nad rámec této práce. Z tohoto důvodu popíšu pouze současné způsoby shromažďování a zápisu dat v moderních dopravních letadlech.

#### 7.1.1 Flight Data Acquisition Unit (FDAU)

Tato jednotka slouží obecně ke zpracování dat a jejich odeslání dalším systémům, v této práci ale budu hovořit o této jednotce jen v souvislosti se zápisem letových dat. Protože je potřeba zaznamenat veliké množství parametrů, které mají různý formát, je třeba je nejprve před zápisem upravit. Potřebujeme zpracovat různé parametry od dat přicházejících z analogových snímačů, dynamického tlaku měřeného tlakovým snímačem (pokud není letoun vybaven ADC, ale i tam je nutné upravit formát pro zápis) až po polohu páky řízení či pák přípustí motoru. K tomu slouží FDAU, která všechny snímané parametry převádí do digitální podoby vhodné pro zápis a v předem nastavených časových intervalech odesílá k zápisu. Pro lepší využití kapacity záznamových zařízení nejsou totiž všechny parametry zaznamenávány neustále, ale jen v určitých časových intervalech.

#### 7.1.2 Digital Flight Data Recorder

Tyto zapisovače jsou určeny pro případ letecké nehody, jsou umístěny v nedostupné části letadla a mají relativně nízkou kapacitu, tedy relativně omezené množství zaznamenávaných parametrů. Záznamy v těchto zapisovačích se po určité době automaticky přepisují nově naměřenými daty. Až na výjimky (SSDFDR) je jediným účelem těchto dat případné vyšetřování letecké nehody, do zapisovačů se v žádném případě nesmí zasahovat a zápis dat není nepřetržitý, ale aktivuje se automaticky až při splnění určitých podmínek. Z tohoto důvodu jsou tato data nepoužitelná pro systémy FDM. Jak vypadá takový zapisovač je možné vidět na obrázku č. 6.



Obrázek 5 DFDR Zdroj: <https://myaerospace2.honeywell.com>

### 7.1.3 Quick Acces Recorder

Protože DFDR je nedostupný a slouží primárně jinému účelu, pro účely FDM se používá jiný druh zapisovačů – tzv. Quick Acces Recorders, QARs. Tyto zapisovače používají obvykle vyměnitelná úložiště a protože je k nim snadný přístup, nazývají se právě QAR. Protože na tyto zapisovače nejsou kladeny žádné požadavky odolnosti, mají zpravidla výrazně vyšší kapacitu a zaznamenávají tedy více parametrů, které uloží po výrazně delší dobu, řádově desítek letových hodin. Protože mohou zaznamenávat jiné parametry než DFDR, obvykle má pro tyto zapisovače FDAU jiný výstup. Tato data jsou obvykle stažena po určitém počtu letů a slouží jako podklad pro systém FDM. Příklad takového zapisovače je na obrázku č. 7.



Obrázek 6 QAR Zdroj: <http://www.meggitt-avionics.co.uk>



V dnešní době je také možné se setkat s bezdrátovým systémem, který odesílá naměřená přímo provozovateli. Tím odpadá logistika spojená se stahováním provozních dat a data jsou dostupná okamžitě.

## **7.2 Analýza naměřených dat**

Po stažení dat z QAR jsou tato nejprve zpracována softwarem, který převádí data ze zaznamenaného binárního formátu na formát použitelný k vyhodnocení a je kontrolována integrita dat. Tato data jsou následně zpracovávána v následujících oblastech.

### **7.2.1 Detekce překročení omezení**

V této části vyhodnocování se hledají odchylky od standardních provozních postupů, překročení omezení letadla a náznaky špatného leteckého umění (airmanship). Těmto událostem se říká „eventy“ a empirickým pozorováním se vytvořili skupiny, které jsou poměrně běžné napříč provozem obchodní letecké dopravy.

Jako příklad může sloužit tvrdé přistání (překročení určitého limitu přetížení), významná odchylka od sestupové roviny, překročení rychlostního omezení pro vysunutí vztlakových klapek/podvozku, varování GPWS apod. Nemusí se ale nutně jednat jen o překročení nějakého omezení – příkladem zaznamenané události může být i například tzv. dlouhé přistání, tzn. přistání v určité vzdálenosti za aiming point dráhy. Pokud je dráha dostatečně dlouhá, bude stačit na bezpečnou deceleraci letadla a bezpečnost v žádné chvíli nebude narušena. Z hlediska trendů je ale nutné takové události sledovat, viz dále.

### **7.2.2 Sledování rutinních letů**

Systém sledování letových dat se však neomezuje jen na detekci nestandardních událostí. Obvykle jsou vyhodnocována a uchovávána i data z letů, na kterých nedošlo k detekci žádných nestandardních událostí. Účelem je detekce velmi pozvolných tendencí směrem ke snižování úrovně bezpečnosti ještě před tím, než stačí vyústit v situaci vyhodnocenou jako událost. V praxi vyhodnocování probíhá tak, že jsou sledovány určité parametry v závislosti na konkrétních provozních podmínkách a ty jsou následně vyhodnocovány. Jako příklad analýzy můžeme uvést například délku přistání v závislosti na provozních podmínkách (den/noc a VMC/IMC), dosednutí na krátkých drahách ve srovnání s dlouhými a podobně.

### **7.2.3 Vyšetřování incidentů a data pro údržbu**

Pokud dojde k incidentu, který podléhá povinnému hlášení, mohou data z QAR, případně i FDR/CVR, sloužit jako doplnění k výpovědi posádky a poskytnout důležitá data pro objektivní určení příčiny incidentu.

Data pro údržbu jsou obvykle odesílána do softwaru poskytovaného výrobcem některého ze systému a mohou velmi dobře sloužit pro sledování výkonnosti určitého systému či predikce jeho životnosti. Jedná se například o měření zatížení podvozku a brzd, výkonnost avionických systémů, monitorování aerodynamického odporu letadla apod.

#### **7.2.4 Databáze informací**

Všechna naměřená data musí být dále uložena do centrální databáze, včetně důležitých parametrů. Je vhodné, aby tato databáze zároveň byla propojena i s jinými databázemi a umožnila tak vzájemné odkazování a komplexní obraz události. Pokud například posádka provede tvrdé přistání, taková událost by měla vyprodukovat hlášení posádky, FDM event a uvolnění do provozu po prohlídce technickým personálem. Hlášení posádky nám potom poskytne kontext, FDM data objektivní data a uvolnění do provozu informace o následcích události.

#### **7.2.5 Vyhodnocení dat**

Tato fáze je zcela kritická pro správnou funkci procesu, protože správné vyhodnocení je základním předpokladem ke skutečnému zvýšení úrovně bezpečnosti. Je velmi důležité, aby data byla vyhodnocena personálem s hlubokou znalostí problematiky a přímou zkušeností z provozu dané společnosti, ať už se jedná o vyhodnocení událostí či sledování dat z rutinních letů z hlediska trendů. Jinak může dojít k chybné interpretaci. Příklad uvádím následující: při analýze nezdařených přiblížení (go-aroundů) se zjistilo, že při jednom z nich došlo k prodlevě 30 vteřin mezi zasunutím vztlačkových klapek a zasunutí podvozku. Tato událost nespustila žádný „event“ a byla odhalena pouze díky přímé znalosti provozu analyzujícího. <sup>[5]</sup>

### **7.3 Propojení se SMS**

Vyhodnocená data slouží jako vstup do systému SMS. V souladu s popisem činnosti systému SMS výše se postupuje ve třech krocích.

#### **7.3.1 Posouzení rizika**

Riziku je přiřazena určitá závažnost dle postupu konkrétního SMS. Pokud je míra rizika vyhodnocena jako nepřijatelná, je nutno přijmout nápravné opatření.

#### **7.3.2 Nápravné opatření**

Na základě dané události je přijato nápravné opatření. Je velmi důležité analyzovat zavedené opatření v širším kontextu, aby nedošlo pouze k přesunutí rizika do jiné oblasti. Jako příklad navazuji na výše uvedenou nestandardní událost s go-aroundem. V dalším přezkoušení na simulátoru bylo se všemi posádkami provedeno nezdařené přiblížení.

Ukázalo se, že pokud pilot neletící neprovede v souladu se standardními provozními postupy hlášení „positive rate“, je velmi snadné na zasunutí podvozku zapomenout. Se všemi posádkami byl proveden rozbor zaměřený na spolupráci v posádce v průběhu nezdařeného přiblížení.

### **7.3.3 Zajištění bezpečnosti**

Po provedení nápravných opatření se zaměřujeme na sledování konkrétní části letu, při které k události došlo, zda-li se událost znovu nevyskytne. Zároveň je důležité stále komplexně analyzovat i ostatní letová data, zda-li pouze nedošlo k přesunutí rizika do jiné oblasti. Pokud v dostatečně dlouhém časovém období ani jedno nepozorujeme, můžeme zavedené nápravné opatření považovat za úspěšné. Příklad: Po zaměření přezkoušení na provedení nezdařených přiblížení a provedení rozboru s posádkami se událost neopakovala.

### **7.3.4 Podpora bezpečnosti**

Pokud jsou nápravná opatření úspěšná, je nutné o nich informovat tak, aby se zvýšilo povědomí všech zaměstnanců citlivých na bezpečnost. Pokud je to nutné, informace periodicky opakovat. Příklad: Událost byla rozebrána a odeslána všem letovým posádkám. Na dalším periodickém školení posádek byl také proveden rozbor, se zaměřením na MCC při nezdařeném přiblížení.

## 8. Používané systémy FDM a vyhodnocení dat

Technická část systému je u všech v současné době používaných systémů prakticky totožná a je rozebrána výše. V této kapitole tedy budeme uvažovat, že již máme k dispozici data stažená z QAR či obdobného zařízení a požadujeme jejich zpracování.

Pro to se používá speciální software. Jeho účelem je pomoci odpovědnému personálu ve vyhodnocení rutinních dat, kterých je v provozu nasbíráno veliké množství – tedy snadno odhalit situace, které by mohly vyžadovat nápravné opatření, umožnit identifikaci potenciálních rizik a tedy možnost přijmout opatření dříve, než se riziko v provozu projeví a identifikovat provozní trendy. Tento software tedy obvykle nejprve převádí binární formát dat ze zapisovače na formát použitelný k analýze a generuje zprávy a vizualizace pro snazší analýzu události odpovědným pracovníkem. Protože takového softwaru je na trhu celá řada, vyjmenuji a popíšu v této práci pouze ty nejvýznamnější. <sup>[6]</sup>

### 8.1 Aircraft Flight Analysis & Safety Explorer (AirFASE)

Tento software byl vyvinut společně společnostmi Airbus a Teledyne Controls. Po stažení letu z palubního zařízení software let automaticky vyhodnotí na přítomnost událostí. Vysvětlím, jakým způsobem jsou tyto identifikovány. Při vyhodnocování každého letu software provede jeho rekonstrukci. Software je přizpůsoben standardním provozním postupům společnosti a hledá, jestli naměřená data odpovídají těm předpokládaným. Pokud je nalezena jakákoli odchylka, je vyhodnocena jako událost. Ta je následně předložena k validaci, spolu s interpretací dat tak, aby byla událost snadno představitelná – tzn. formou animace, grafů a tabulek. Pokud je událost potvrzena jako validní, je následně uložena do databáze. Software do databáze také zpětně přistupuje a vytváří zprávy o trendech v závislosti na různých parametrech – letišť, typ letadla, imatrikulace, fáze letu apod. Obecně je software velmi dobře uživatelsky nastavitelný a přizpůsobitelný konkrétnímu druhu provozu. Rozhraní tohoto software je možné vidět na obrázku č. 9. <sup>[6]</sup>



Obrázek 7 Rozhraní softwaru AirFASE. Zdroj: TELEDYNE CONTROLS, AirFASE Flight Data Monitoring Tool leaflet.

## 8.2 SENTINEL (British Airways Flight Data Tools)

Tento software byl vyvinut odborníky na provozní bezpečnost společnosti British Airways a jeho počátky sahají až do roku 1990, později byl ale prodán IT sekci Emirates Airlines a dnes je na trhu k dispozici pod názvem SENTINEL. V dnešní době jej používá přes 150 provozovatelů a je pravděpodobně nejpopulárnějším softwarem pro vyhodnocování letových dat. Protože je patrně nejvýznamnějším softwarem v oblasti FDM, dovoluji si jeho rozбором demonstrovat funkce FDM popsané v teoretické části dříve. Rozbor budu provádět na starší verzi vyvinuté společností British Airways, ke které jsou zdarma dostupné podklady, princip činnosti ale zůstává stejný i v novějších verzích. <sup>[7]</sup>

Samotný software se skládá z několika modulů, z nichž každý plní svou funkci:

### 8.2.1 Flight Data Traces (FDT)

Jedná se o základní modul softwaru. Mimo převodu dat ze zapisovačů na formát použitelný pro další zpracování provádí analýzu přítomnosti předdefinovaných událostí. Naměřená data poté zobrazí jako seznam hodnot spolu s výpisem případných událostí a jako graf. V grafickém rozhraní modulu jsou vytvořeny grafy sledovaných parametrů a je možné zobrazit všechny měřené parametry pro daný čas. Data jsou dále automaticky sdílána do dalších modulů, případně mohou být odeslána do jiného softwaru pro další zpracování. Jak

vypadá provedení nezdařeného přiblížení zobrazené v tomto modulu můžeme vidět na obrázku č. 9.



Obrázek 8 Rozhraní Air TRACE. Zdroj: Application of Smiths Aerospace Data Mining Algorithms to British Airways 777 and 747 FDM Data.

## 8.2.2 Flight Data Simulation (FDS)

Tento modul umožňuje reprodukci letu pomocí animace tak, jak danou situaci viděla posádka. Animovány jsou přístroje, módy autopilota, FD a i základní zvuk (GPWS apod). Animace může být přehrána zrychleně či zpomaleně dle potřeby. Pomáhá tak rozhodnutí, jestli je událost validní, případně pochopení celé situace. Toto zobrazení je možné vidět na obrázku č. 10.

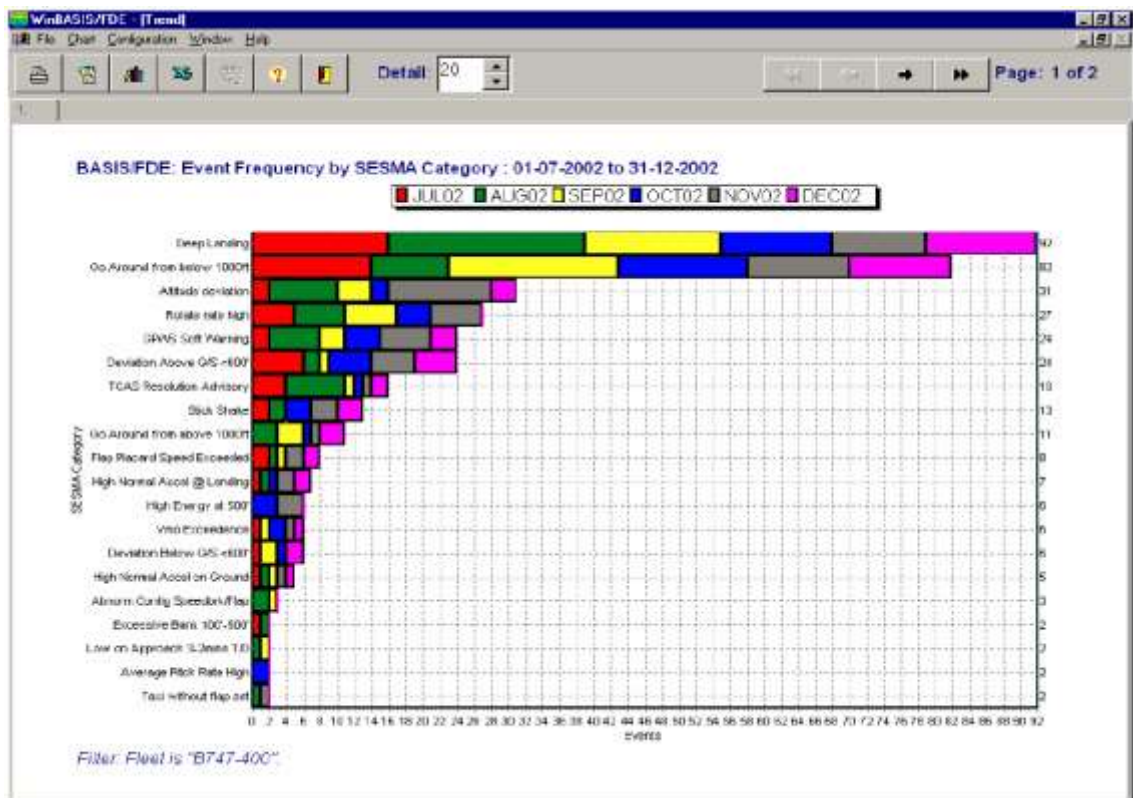


Obrázek 9 Rozhraní Flight Data Simulation. Zdroj: Application of Smiths Aerospace Data Mining Algorithms to British Airways 777 and 747 FDM Data.

### 8.2.3 Flight Data Events (FDE)

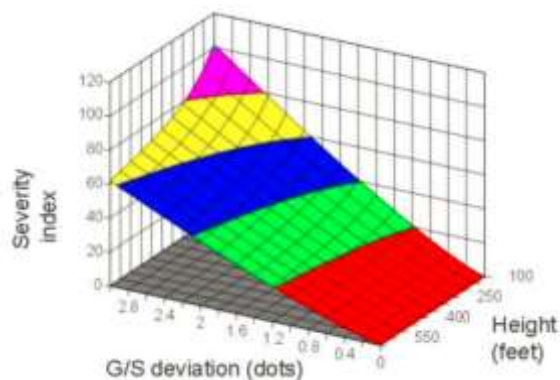
Tento modul je v podstatě databáze událostí, do které je každý zařazen po zvalidování z FDT. Slouží zejména jako analytický nástroj – je schopen zobrazit události v závislosti na různých parametrech v grafické formě. Z těchto výstupů je možné snadno sledovat trendy. Tento modul zároveň obsahuje část, která automaticky přiřazuje závažnost každé události. To je velice užitečné pro další analýzu, kde je možné s událostmi pracovat dle míry rizika, spíše než podle četnosti výskytu. Například rozdělení jednotlivých událostí po měsících je možné vidět na obrázku č. 11.





Obrázek 10 Modul Flight Data Events. Zdroj: Application of Smiths Aerospace Data Mining Algorithms to British Airways 777 and 747 FDM Data.

Jakým způsobem funguje automatické přiřazování závažnosti, vysvětlím na následujícím příkladu. Představme si letadlo provádějící ILS přiblížení, při kterém je vyhodnocena událost GLIDESLOPE DEVIATION, tedy významná odchylka od sestupové roviny. Na jakých parametrech bude záviset závažnost této události? Především na míře odchylky od sestupové roviny a výšce letadla nad zemí. Mezi parametry a mírou rizika ovšem nebude existovat přímá úměra, protože čím blíže je letadlo zemi, tím menší odchylku můžeme tolerovat, na druhou stranu stejná odchylka v různé vzdálenosti (a tedy výšce) bude znamenat jiný absolutní rozdíl výšky. Vše je zřejmé z následujícího grafu, podle kterého je dané události automaticky přiřazena míra rizika. To je znázorněno na obrázku č. 12.



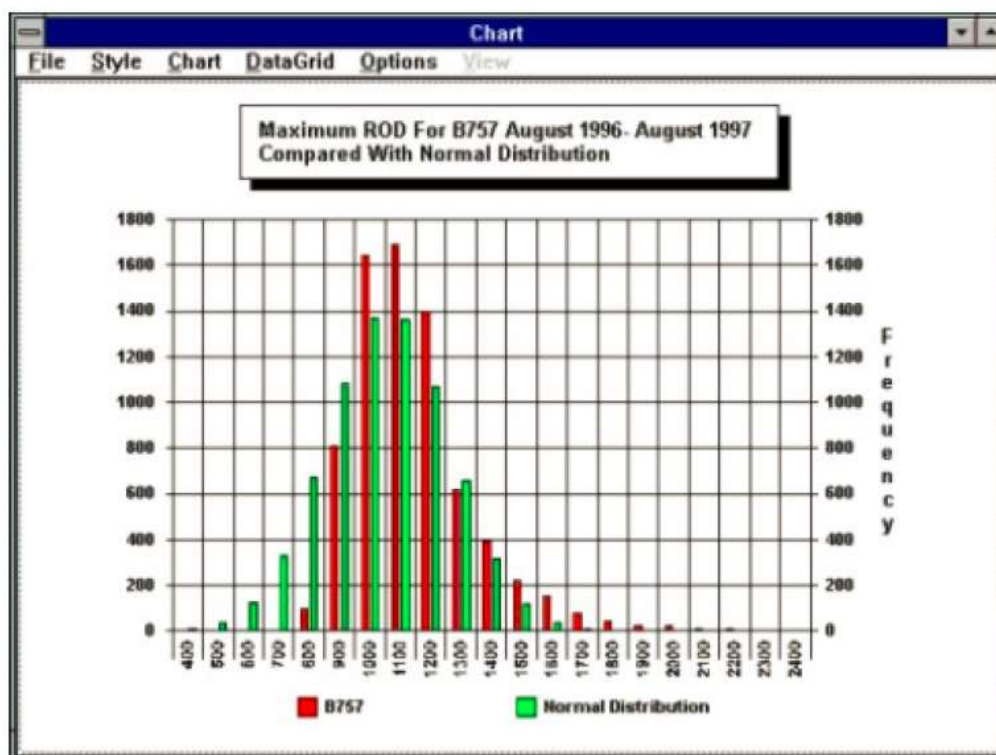
Obrázek 11 Přiřazení míry rizika události. Zdroj: Application of Smiths Aerospace Data Mining Algorithms to British Airways 777 and 747 FDM Data.



## 8.2.4 Flight Data Measurements (FDM)

Modul FDM je doplňkový k FDE, ale pracuje na jiném principu. Jedná se o proaktivní nástroj zvyšování provozní bezpečnosti, který místo analýzy jednotlivých událostí pracuje na statistickém základě.

Funguje tak, že z dat z každého letu zaznamenává maximální hodnoty různých parametrů (maximální přetížení při přistání, maximální vertikální rychlost, podélný sklon apod.) Nástroj poté spočítá rozložení parametrů na tisíce letů a zobrazí jejich rozdělení. S tím je možné dále pracovat – filtrovat dle různých parametrů (imatrikulace letadla, rozpětí dat apod.) a srovnat s normovaným normálním rozdělením. Z rozdělení jsou dále vypočítány směrodatné odchylky a rozptyl a to je také možné zobrazit do grafu. Analyzující pracovník tak může snadno detekovat neobvyklé opakování určitých událostí a získá tak přehled o možném budoucím vývoji provozu, a pokud je tendence k rizikovému překročení některých parametrů, je možné přijmout opatření (například upravit výcvik posádek) ještě před tím, než vůbec k překročení (a indikaci) dojde. Rozhraní tohoto modelu je možné vidět na obrázku č. 13.



Obrázek 12 Rychlost klesání. Červeně skutečné rozdělení pro daný typ, zeleně normované normální rozdělení. Zdroj: Application of Smiths Aerospace Data Mining Algorithms to British Airways 777 and 747 FDM Data.

### **8.3 Line Operations Monitoring System**

Tento systém byl vyvinut společností Airbus a je k dispozici pouze pro provozovatele těchto letounů. Pracuje obdobně jako systém AirFASE. Naměřená data jsou ale srovnána s modelem společnosti Airbus a z odchylek jsou vytvořeny události. Událostem jsou přiřazeny tři stupně závažnosti, které indikují menší, význačnou či závažnou chybu posádky. Software je schopen generovat zprávy za určité období. Svým rozhraním je velmi podobný systému AirFASE. <sup>[8]</sup>

V rámci této části jsme dále analyzovali ještě několik dalších používaných softwarů (FltMaster, FlightTracer, Cockpit Emulator for Flight Analysis). Princip činnosti je obdobný u všech analyzovaných FDM systémů.

## 9. Konkrétní případy využití FDM

Na závěr rozboru současně používaných systémů FDM uvedu rozbor několika skutečných událostí, které jasně ukazují nesporný přínos systému FDM. Na následujících příkladech je zároveň demonstrováno použití nástrojů systému SMS v praxi. Protože FDM data jsou pro každého provozovatele velmi citlivá, dané příklady jsou zcela anonymní.

### 9.1 Zapomenuté klapky

Po zavedení systému FDM u zavedeného provozovatele se začaly okamžitě vyskytovat události „Flap Altitude Exceeded“, který značí vysunutou mechanizaci křídla v neobvykle vysoké výšce. Události byly analyzovány a bylo zjištěno, že každý z nich byl způsoben pozdním zasunutím vztlakových klapek po vzletu. Výška zasunutí byla různá, od několika tisíc stop až k extrémům jako 16 000 a 21 000 stop.

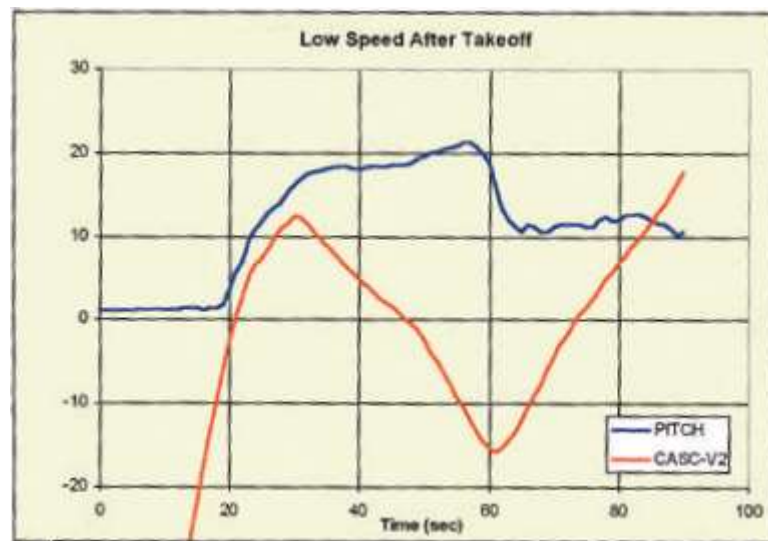
Bylo předpokládáno, že zavedení systému FDM (=zavedení změny) tento problém nezpůsobilo a tedy že se v provozu již nějakou dobu vyskytoval a byla tedy hledána systémová příčina. Byly provedeny rozhovory s posádkami daných letů zaměřené na způsob používání vztlakových klapek. Z rozhovorů vyplynulo, že pilot neřídící, který prováděl kontrolní seznam úkonů „po vzletu“, byl často od provádění checklistu rozptýlen jinými povinnostmi, jako například obsluhou radiostanice a komunikací s ATC a buď se k dokončení checklistu zapomněl vrátit, nebo přeskočil jeho část. V každém případě letadlo pokračovalo ve stoupání s vysunutou mechanizací, až dokud si jeden z pilotů nevšiml polohy páky ovladače vztlakových klapek. Letoun měl takové aerodynamické charakteristiky, že nebylo možné vysunutí mechanizace do vzletové polohy jednoznačně identifikovat z chování letounu.

Po identifikaci slabin v postupech společnosti byla přijata následující opatření – okamžitě byly informovány všechny posádky společnosti a byly upraveny standardní provozní postupy společnosti tak, aby veškeré seznamy kontrolních listů byly prováděny formou výzvy a odpovědi – tzn. že jeden člen posádky přečte úkon, druhý zkontroluje a potvrdí jeho provedení. Od zavedení těchto opatření se událost nevyskytla.

### 9.2 Nízká rychlost po vzletu

Provozovatel se zavedeným systémem FDM zařadil do svého provozu nový typ letounu. Krátce po zavedení do provozu se nashromáždilo množství událostí „Low Airspeed After Take-off“. Tyto události vykazovaly význačnou ztrátu rychlosti po vzletu spolu s vysokým podélným sklonem letadla.

Při hledání příčiny byla nejprve potvrzena validita záznamů – tzn. že jsou zaznamenané údaje o rychlosti a podélném sklonu správné, že byly správně vypočteny vzletové rychlosti apod. Pro další hledání příčiny bylo použito srovnání FDM dat s daty jiného provozovatele, u kterého se tyto události nevyskytovaly. Bylo zjištěno, že u tohoto provozovatele rychlost nejprve roste až do rychlosti  $V_R$ , při které je zahájeno zvyšování podélného sklonu letadla přibližně na  $15^\circ$  a v této konfiguraci letadlo stoupá konstantní rychlostí, která přibližně odpovídá rychlosti  $V_2$  plus 15 kts. U „našeho“ provozovatele je tomu ale jinak – z rychlosti  $V_R$  je podélný sklon po zvýšení na  $15^\circ$  dále zvyšován až přes  $20^\circ$  a rychlost se začíná snižovat a v nejextrémnějším případě dosáhla hodnoty až  $V_2 - 15$ kts. To je znázorněno v grafu na obrázku č. 14 – modře je znázorněn podélný sklon letadla, červeně rychlost.



Obrázek 13 Podélný sklon a CAS. Zdroj: Flight Data Services FOQA/FDM Case Study

Z naměřených dat byla provedena rekonstrukce v modelovacím software. Pozoruhodné bylo, že pokud pilot při vzletu přesně sledoval břevna systému „flight director“, došlo k danému poklesu rychlosti. Pokud je naopak pilot s ohledem na referenci k ostatním přístrojům ignoroval, k poklesu rychlosti nedošlo.

Tato zjištění byla předána výrobci letadla. Výrobce letadla zjistil chybu v softwaru flight directoru a neprodleně vydal aktualizaci, která danou chybu odstraňovala. Provozovatel dále provedl dodatečný výcvik posádek zaměřený na správné rozdělení pozornosti na všechny palubní přístroje. Po zavedení daných opatření se událost opakovala zcela výjimečně bez náznaku systémového pochybení.<sup>[9]</sup>

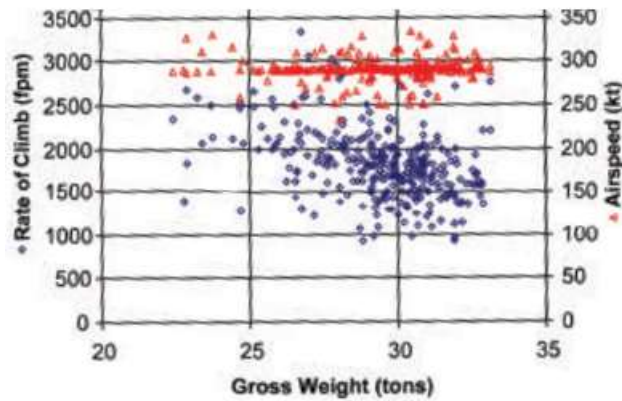
### 9.3 Úspora paliva pro „short-haul“ provozovatele

Jak jsem se zmínil v teoretickém popisu systému FDM, tento systém nemusí být použit pouze jako nástroj zvyšování provozní bezpečnosti, ale může poskytnout i cenná data pro

údržbu či management provozu letadla. Následující analýza je velmi komplexní a proto bude v této práci uvedena zjednodušeně pro demonstraci možností využití systému FDM.

Letecký dopravce, kde majoritu jeho provozu tvoří krátké tratě, se rozhodl provést analýzu svých FDM dat a zjistit, zda a kde je prostor pro snížení spotřeby paliva v průběhu letu. Nejprve byly stanoveny parametry, které spotřebu ovlivňují a zda je může posádka ovlivnit, či nikoli. Mezi ty, které posádka ovlivnit nemůže, patří například hmotnost letadla, teplota vnějšího vzduchu či čistota vnějšího povrchu letadla. Posádka ale může ovlivnit vertikální rychlost a rychlost letu a tím potažmo výkon motorů a spotřebu paliva. Protože parametry pro optimální cestovní let je možné přesně stanovit z informací od výrobce letadla, analýza se zaměřila na sestavení ideálního profilu stoupání a klesání z těchto dvou parametrů, které posádka ovlivňuje.

Pro určení optimálního profilu stoupání byl nejprve vytvořen graf rychlostí v závislosti na výšce a do něj vyneseny údaje ze všech změřených letů, který je k vidění na obrázku č.15. Z grafu vyplynulo, že do 10 000 stop se drtivá většina stoupání odehrála při rychlosti 250kts, což je omezení dané provozovatelem z důvodu možnosti střetu s ptactvem. Nad tuto výšku některé posádky pokračovaly ve stoupání při rychlosti 250kts, jiné zrychlovaly na rychlost mezi 280 – 300 uzly a IAS se od výšek okolo 25 000 stop začala snižovat, protože letadlo začalo být omezeno Machovým číslem. Jako další graf byl vytvořen graf vertikální rychlosti v tomto případě stoupání v závislosti na výšce. Z něj byl na první pohled patrný daleko větší rozptyl, protože do něj vstupují právě vnější vlivy, jako hmotnost letadla, teplota vnějšího vzduchu apod. Jasně viditelné ale bylo snížení rychlosti stoupání ve výšce 10 000 stop, které je přímým důsledkem akcelerace na vyšší rychlost v této výšce. V důsledku toho bylo zjištěno, že v okolí výšky 10 000 stop v absolutní hodnotě spálí letadlo mnohem více paliva, než v ostatních výškách, protože je snížena rychlost stoupání na úkor zvyšování rychlosti a v této výšce je stále poměrně vysoká spotřeba paliva. Pro jednodušší analýzu bylo vhodné provést „řez“ v jedné konkrétní výšce. Pro to byla vybrána výška 20 000 stop z následujících důvodů: akcelerace letadla na rychlost pro stoupání je již s jistotou dokončena, letadlo není ještě omezeno Machovým číslem a všechny analyzované lety byly stále v ustáleném stoupání (cestovní FL byla výrazně vyšší, než FL200). Bylo zjištěno, že v této výšce byla u většiny letů rychlost 290 kts při 86.5% N1.



Obrázek 14 Zobrazení IAS a V/S ve 20 000 stopách v závislosti na hmotnosti. Zdroj: Flight Data Services FOQA/FDM Case Study

Otázka zní – je rychlost 290kts optimální pro stoupání v této hladině? Pro zodpovězení otázky bylo využito regresní analýzy naměřených dat a bylo zjištěno, že se snížením rychlosti o 1 uzel se zvýší efektivita stoupání (měřená jako poměr nastoupených stop ku hmotnosti spáleného paliva) o 0,5%. Není překvapivé, že se snižující se rychlostí stoupání se snižuje spotřeba paliva. Při nižší rychlosti stoupání se tedy dostaneme do cestovní výšky s menším množstvím spáleného paliva, na druhou stranu ale urazíme menší vzdálenost. Při analýze cestovních dat byl ale zjištěn zajímavý fakt – u 20% letů došlo po dosažení cestovní hladiny ke snížení rychlosti a to v průměru o 8 uzlů. Jako okamžité opatření, které tedy zvýší u těchto letů účinnost stoupání průměrně o 4% je nepřekračovat cestovní rychlost v průběhu stoupání.

Protože je pro proudové letouny známý postup nejefektivnějšího klesání, byla tato analýza jednodušší. Proudová letadla jsou na sestupu nejefektivnější, pokud motory pracují na minimálním možném výkonu a letoun udržuje rychlost výměnou potenciální energie na kinetickou (výšky za rychlost). Proto byl vytvořen graf závislosti výkonu motoru na výšce v průběhu sestupu. Bylo zjištěno, že velká část sestupů nebyla prováděna touto metodou a v průběhu sestupu motory pracovaly na zvýšeném výkonu. Tento fakt ukazuje na okamžitou možnost úspory paliva.

Velikou výhodou této analýzy je, že se opírá pouze o data naměřená v provozu konkrétního provozovatele na jeho vlastních letounech a nikoli o data poskytnutá výrobcem letadla. To znamená, že je jistota, že se jedná o data platná pro daný provoz a přijetí opatření nesporně bude mít okamžitý a dlouhodobý efekt.<sup>[9]</sup>

## 10. FDM jako nástroj všeobecného letectví

V předcházejícím textu jsem se zabýval teoretickým rozbořem systému FDM a jeho kontextu, aby bylo možné činnost systému správně pochopit. Nyní tedy známe principy fungování FDM. Z praktických příkladů použití je ale zřejmé, že tento systém zatím nikdy nebyl použit pro všeobecné letectví. Důvody jsou zřejmé – předpisy to nepožadují a systém FDM tak, jak je používán v obchodní letecké dopravě, by byl v GA pro svou značnou složitost, technickou náročnost a tedy i vysoké pořizovací náklady efektivně nepoužitelný.

Systém FDM by ale přinesl velmi cenná data i pro všeobecné letectví – ať už se jedná o proaktivní vstupy pro SMS, zvýšení efektivity výcviku letových posádek či data pro údržbu.

Mým cílem je tedy zjistit, jakým způsobem by bylo možné implementovat systém sledování letových dat do všeobecného letectví.

### 10.1 Charakteristika provozu GA

Pojem všeobecné letectví je obecně zavedený a velmi široký. V podstatě zahrnuje veškerý provoz mimo pravidelnou leteckou dopravu – zjednodušeně řečeno veškerý provoz, jehož cílem není pravidelná přeprava cestujících či nákladu z bodu A do bodu B. Spadá sem tedy veškerý provoz pro vlastní potřebu, sportovní létání, výcvik posádek letadel, business aviation, letecká záchranná služba a další.

#### 10.1.1 Provozní bezpečnost GA

Statistika NTSB ukazuje, že všeobecné letectví je ve srovnání s obchodní leteckou dopravou výrazně méně bezpečné. V roce 2005 ve Spojených státech připadalo 1,31 smrtelné letecké nehody na 100 000 letových hodin, zatímco v případě obchodní letecké dopravy pouze 0,016. GA tedy bylo v daném roce 81x více nebezpečné, než obchodní letecká doprava.

Obecně to je dáno jiným charakterem provozu všeobecného letectví. Dopravní letadla jsou velmi dobře vybavena nejmodernější avionikou s vysokým stupněm automatizace, létají prakticky výlučně dle pravidel pro let podle přístrojů (IFR) a posádky jsou velmi dobře vycvičeny a na provoz se vztahují ty nejpřísnější legislativní požadavky. Proti tomu většina letů všeobecného letectví je prováděna podle pravidel pro let za vidu (VFR) na velice širokém spektru letadel od závěsných padákových kluzáků přes akrobatické speciály až po proudová letadla a pohybuje s v něm velmi široké spektrum pilotů. Část z nich jsou rekreační piloti provozující létání jen jako svou zájmovou činnost. Létání se obvykle neřídí tak přísnou legislativou. To dobře vysvětluje výše uvedenou statistiku.<sup>[10]</sup>

## **10.2 Definice uživatelů FDM mezi provozovateli GA**

Jak již bylo řečeno, všeobecné letectví je velmi široké a pokrývá ohromnou škálu různých druhů provozu. Z toho důvodu, podobně jako v obchodní letecké dopravě, není možné vyvinout jeden systém, který by byl použitelný pro každého provozovatele. Pro začátek by bylo tedy nanejvýš vhodné si určit, pro kterou část GA bychom považovali zavedení FDM za nejpřínosnější a na tu se dále zaměřit.

Tvrzení, které jsem napsal v úvodu, tedy že se v GA systém FDM vůbec nepoužívá, není zcela přesné, protože do této kategorie spadá i provoz business aviation, často proudových letadel s povinností využívat systém FDM. Tyto systémy jsou ale totožné s těmi používanými v pravidelné obchodní letecké dopravě, jsou popsány dříve a dále se jimi již nebudu zabývat. Zavedení systému FDM pro provoz letadel určených ke sportovním a rekreačním účelům, například kluzáků, balónů či sportovních létajících zařízení postrádá dle mého názoru smysl, protože tento provoz je v drtivé většině případů soukromý a nespadá pod žádné řízení bezpečnosti. Úroveň bezpečnosti v tomto provozu tak závisí zejména na přístupu konkrétního provozovatele.

Zvláštní kapitolou všeobecného letectví je ale výcvik letových posádek. Ten je poskytován v různé kvalitě a v konečném důsledku jeho úroveň ovlivňuje bezpečnost celého letectví. Pokud se jedná o organizaci ATO, musí mít zaveden systém řízení bezpečnosti. Mimo reaktivních ale vstupy do něj spoléhají jen na systém povinných a dobrovolných hlášení a provozovatel tak nemá prakticky žádnou kontrolu nad svým provozem, zvláště v případech, kdy letouny samostatně operují žáci ve výcviku či méně zkušení piloti. Proto shledávám možnost velikého přínosu a zvýšení úrovně bezpečnosti při zavedení systému do letadel používaných pro tento druh činnosti. Systém FDM by potom byl velmi cenným nástrojem pro letecké školy, které by mohly snadno vyhodnotit jak jednorázové chyby či nekázně při jejich provozu, tak systémová pochybení a zajistit tak zpětnou vazbu pro poskytovaný výcvik přímo z provozu a případně jej upravit. Zároveň by FDM data mohla být použitelná pro objektivní rozbor letu a obecně pro zvýšení efektivity výcviku. To by přispělo ke zvýšení výsledné kvality výcviku.

Obecně by mohla být tato FDM data použitelná i pro případ incidentu či letecké nehody, kdy dosud obvykle letadla všeobecného letectví žádné zapisovací zařízení na palubě nenesou.



### **10.3 Příklad použití systému FDM v GA**

V kontextu předchozí kapitoly tedy jako hypotetický příklad použití systému FDM v rámci všeobecného letectví uveďme leteckou školu, která je držitelem oprávnění ATO a provozuje pouze jednopilotní letouny za účelem provádění výcviku letových posádek a rekreačního létání pilotů. Škola provozuje několik jednomotorových pístových letounů, jednomotorový pístový komplexní letoun a dvoumotorový pístový letoun. Roční nálet všech letounů v organizaci je zhruba 3 000 letových hodin.

Taková organizace musí mít zaveden systém SMS, který odpovídá její velikosti (viz předpisové požadavky). Protože provozuje pouze letadla všeobecného letectví, z nichž žádné nemá instalováno záznamové zařízení, které by bylo možné použít pro vyhodnocení letových dat, systém SMS se spoléhá pouze na hlášení personálu ovlivňujícího bezpečnost. Taková data jsou však často subjektivní, ve většině případů pouze reaktivní a obvykle zahrnují jen velmi malou část skutečných událostí v provozu. SMS systém takového provozovatele tedy obvykle nemá dostatečné množství kvalitních dat a detekce či dokonce predikce bezpečnostních hrozeb je velmi náročná a celý systém je spíše „feeling driven“.

Instalací systému FDM do svých letounů by takový provozovatel získal daleko větší množství dat naměřených přímo v provozu. Ty by potom bylo možné použít jak pro detekci bezpečnostních hrozeb stejným způsobem, jako v případě FDM systému používaného v obchodní letecké dopravě – tedy dlouhodobým a statistickým přístupem k měřeným datům. Taková data by zároveň mohla sloužit jako zpětná vazba samotnému provozovateli – pokud by se například některé chyby při sólových letech žáků často opakovaly, značí to spíše systémové selhání s nutností upravit výcvikové postupy, než selhání jednotlivce.

Další výhodou tohoto systému pro takového provozovatele je možnost dohledu a rozboru nad samostatnými lety pilotů ve výcviku. Po letu je možné let ručně vyhodnotit, zobrazit trasu letu a případné události a přímo na místě provést daleko efektivnější rozbor, který se při samostatných mimo letištních letech dnes opírá pouze o výpověď samotného pilota-žáka. Takový systém by ale v každém případě musel splňovat všechny zásady systému SMS, zejména být v souladu s nerepresivní politikou SMS.

## **11. Zapisovací zařízení pro všeobecné letectví**

Jak jsem již popsal v předchozím textu, aby byl systém FDM vůbec aplikovatelný do prostředí všeobecného letectví, je třeba použít vhodné zapisovací zařízení, protože systémy používané v obchodní dopravě jsou pro svou složitost nepoužitelné. Pojďme si tedy stanovit základní požadavky na zapisovací zařízení.

### **11.1 Požadavky na záznamové zařízení**

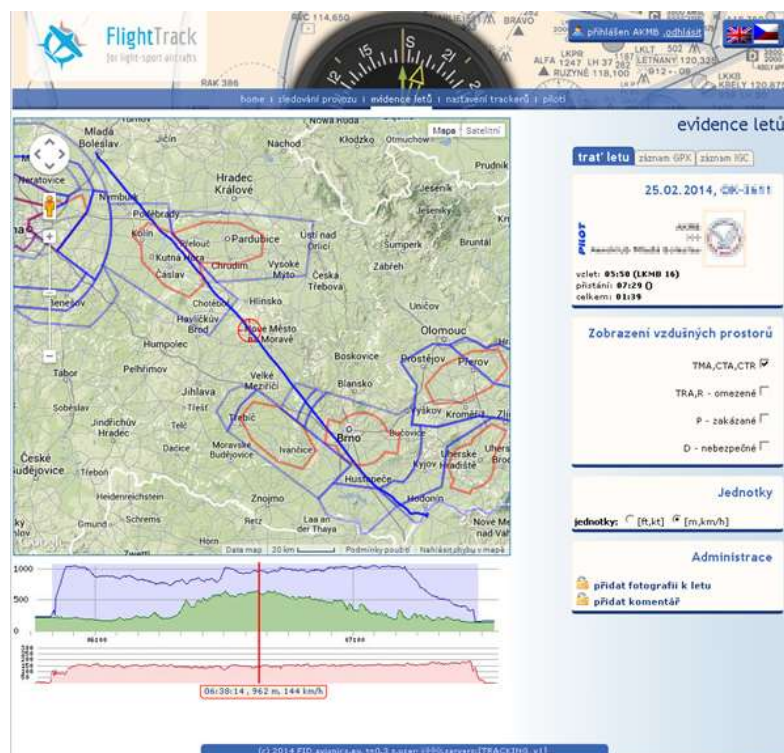
Aby bylo možné systém FDM reálně aplikovat do podmínek všeobecného letectví, je potřeba, aby jeho cena byla znatelně nižší, než systémů používaných v obchodní letecké dopravě. Z toho důvodu je vhodné, aby záznamové zařízení pokud možno co nejméně (ideálně vůbec) zasahovalo do systémů letadla. Pokud by se mělo jednat o zastavěné zařízení, bylo by potřeba jej certifikovat v souladu s požadavky na avionické systémy, což by zásadně zvýšilo jeho cenu. Pokud by zařízení bylo mobilní, další výhodou je možnost použití jednoho zařízení v různých letadlech. Jako vhodnou možnost záznamového zařízení pro FDM v GA tedy považuji zcela samostatné zařízení, které provádí všechna měření nezávisle na systémech letadla. Zapisovací zařízení by zároveň mělo být schopno zaznamenat co nejvíce letových dat, minimálně ale ty, které jsou potřebné pro vyhodnocení stanovených událostí. Tím se budeme zabývat v této práci dále.

### **11.2 Používaná zapisovací zařízení**

Možné zavedení systému FDM by velmi usnadnila možnost využít některé z již používaných záznamových zařízení pro jiné účely, případně jej jen vhodně doplnit, než vyvíjet celý vlastní systém jen pro tento účel. Pojďme tedy zanalyzovat používaná záznamová zařízení ve všeobecném letectví.

#### **11.2.1 FT300 - GPS/GSM online tracker**

Jedná se o zařízení české výroby, které je určeno pro pevnou zástavbu do SLZ. Zařízení není certifikované a jeho zástavba do GA letadel tedy není zatím oficiálně možná. Jeho primárním účelem je poskytnout možnost sledování letadla v reálném čase a zaznamenat určité parametry letu. Zařízení je postaveno pouze na přijímání signálu GNSS, které ukládá do vyrovnávací paměti a následně je přes síť GSM odesílá do vyhodnocovacího softwaru. Protože vzhledem k polarizaci pozemních antén vysílajících signál GSM signál nebude ve větších výškách dostupný, je zařízení vybaveno pamětí, do které data až do odeslání uloží. Úkolem vyhodnocovací software je zobrazit polohu letadla na mapě a vyhodnotit některé parametry, jako výšku letu nad terénem, dobu letu apod. Rozhraní je možné vidět na obrázku č. 16.<sup>[12]</sup>



Obrázek 15 Rozhraní systému Flight Track. Zdroj: [www.flight-track.eu](http://www.flight-track.eu)

**Vstup:** přijímač GNSS, voltmetr

**Zaznamenaná data:** poloha letadla, GPS výška, traťová rychlost, napětí v palubní síti

### 11.2.2 Colibri II

Zapísovače Colibri jsou velmi rozšířené zapísovače pro sportovní létání kluzáků. Pokud mají platnou výškovou křivku, jsou schváleny organizací FAI pro deklaraci sportovních výkonů. Jedná se o přenosná zařízení, jejichž nové verze jsou schopny například i zobrazit okolní provoz či zobrazit pohyblivou mapu. Přístroj je vybaven GNSS přijímačem, baro senzorem pro snímání výšky a mikrofonom pro snímání hluku.<sup>[13]</sup>



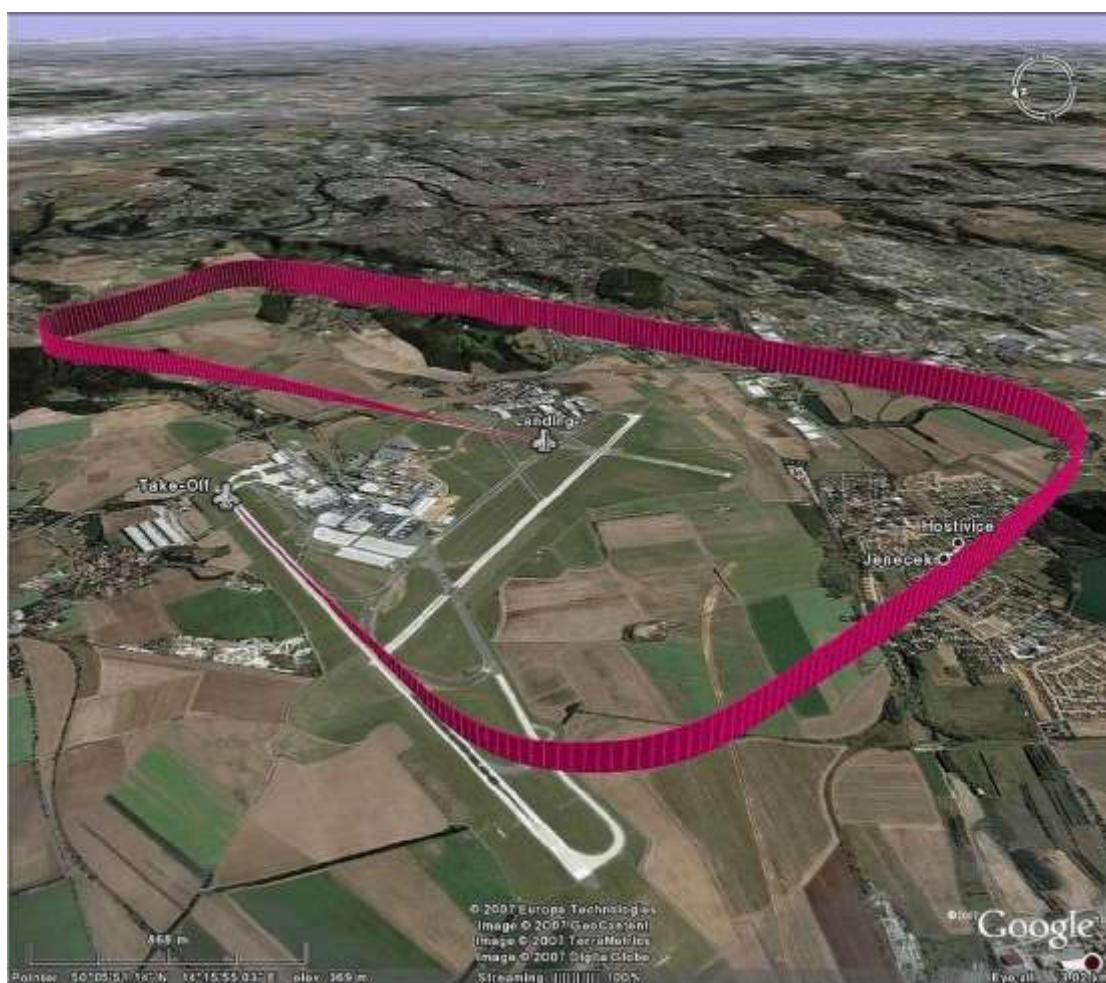
Obrázek 16 Zapísovač COLIBRI II. Zdroj: [www.lxnavigation.com](http://www.lxnavigation.com)

**Vstup:** přijímač GNSS, barosenzor, snímač hluku (mikrofon)

**Zaznamenaná data:** poloha letadla, traťová rychlost, barometrická výška, míra hluku na palubě

### 11.2.3 Flight Position Logger TL-6024

Jedná se o další zapisovač české výroby. Obdobně jako výše uvedený FT300 pracuje pouze s přijímaným signálem GNSS, nicméně data nepřenáší v reálném čase, ale jsou k dispozici ke stažení až po provedení letu. Spolu se zařízením je dodáván i vyhodnocovací software, který umožňuje vizualizaci naměřených dat, jak je možné vidět na obrázku č. 18. V paměti je schopen zachovat 250 letových hodin, při ukládání fixů 1 za vteřinu.<sup>[14]</sup>



Obrázek 17 Ukázka vyhodnocení letu systémem TL-6024. Zdroj: <http://www.tl-elektronik.com>

**Vstup:** přijímač GNSS, snímač hluku (mikrofon), teploměr

**Zaznamenaná data:** poloha letadla, traťová rychlost, míra hluku na palubě, teplota na palubě

### 11.2.4 Garmin GDL59 Data Logger

Toto záznamové zařízení vyvinuté společností Garmin je použitelné pouze pro letouny vybavené avionikou Garmin G1000. Zařízení je certifikováno a pevně zastavěno v letounu. Umožňuje zaznamenat velké množství veličin, včetně motorových či aerometrických parametrů a zaznamenávané parametry jsou široce nastavitelné. Vnitřní úložiště má kapacitu 2GB, v závislosti na množství nastavených parametrů obvykle postačuje pro několik hodin letu. Data mohou být předávána pozemní stanici bezdrátově pomocí wifi po přistání.<sup>[15]</sup>



Obrázek 18 Jednotka GDL59. Zdroj: [www.garmin.com](http://www.garmin.com)

**Vstup:** sběrnice HSDB (z G1000)

**Zaznamenaná data:** Nastavitelné dle potřeby – audio, AHRS, aerometická data, motorové veličiny,..

### 11.2.5 iLevel 3 AW

Toto zařízení amerického výrobce je poměrně komplexní. Obsahuje vlastní AHRS systém, který je schopen zaznamenat maximální změnu 500° za vteřinu, což je dostatečné i pro instalaci do akrobatických letadel. Jednotka dále obsahuje GNSS přijímač, snímač aerometrických veličin - pro snímání těchto veličin je třeba připojit k zařízení celkový a statický tlak. Systém nesnímá motorové veličiny. Systém zároveň obsahuje ADS-B přijímač, je tedy schopen zobrazit v okolí letadla vybavena ADS-B. Naměřená data jsou ukládána na

SD kartu v požadovaném formátu. K zařízení je také možné připojit tablet a na něm v reálném čase měřená data zobrazovat s vizualizací letových přístrojů. Některé letouny v kategorii experimental dokonce tohoto zobrazení využívají jako jediných přístrojů na palubě letadla.<sup>[16]</sup>



Obrázek 19 Jednotka iLevel 3AW. Zdroj: [www.aviation.levil.com](http://www.aviation.levil.com)

**Vstup:** vlastní AHRS, barometrické parametry, GNSS přijímač, ADS-B přijímač

**Zaznamenaná data:** AHRS, aerometická data, poloha letadla, traťová rychlost, magnetický kurz



## 12. Vyhodnocování naměřených dat v GA

Jak jsem se zmínil v předcházejícím textu, všeobecné letectví je natolik široké, že není možné vyvinout jeden systém, který by byl vhodně použitelný pro každého provozovatele. Systém FDM musí být proto navržen „na míru“ každému provozovateli se znalostí specifik jeho provozu. Pro účely této práce budu uvažovat „typického“ provozovatele GA, tedy provoz jedno či více motorových pístových letounů provozovaných v jednopilotním provozu nebo používaných pro výcvik letových posádek. Očekáváme provoz zejména podle pravidel VFR.

Níže uvedené události nemusí nutně znamenat překročení některého omezení, ale mohou být důležité pro odhalení některých trendů, nebo jako zpětná vazba pro instruktory při samostatných letech žáků ve výcviku. Události je možné libovolně doplňovat tak, aby byly výstupy ze systému FDM vhodným doplněním systému SMS.

### 12.1 Přehled událostí (eventů)

Pro vyhodnocení letových dat je nutné, abychom měli definované nestandardní události, které mohou za letu nastat – zkrátka abychom věděli, jaké hodnoty daných parametrů v naměřených datech hledat. Dále uvedený výčet je sestaven na základě očekávaného druhu provozu uvedeného v předchozím odstavci.

#### 12.1.1 Poloha

##### Vstup do prostoru P,D,R

V průběhu letu dojde ke vstupu do zakázaného, nebezpečného či omezeného prostoru.

##### Ruční vyhodnocení

Zobrazení tratě letu na mapovém podkladu obsahujícím letecké informace. Slouží pro ruční vyhodnocení letu, například instruktorem při provádění samostatných přeletů žákem pro zjištění přesnosti dodržení trati.

#### 12.1.2 Rychlosti

##### Překročení $V_{NE}$

Za letu dojde k překročení nepřekročitelné rychlosti ( $V_{NE}$ ).

##### Překročení $V_{FE}$

Za letu dojde k překročení maximální rychlosti pro let s vysunutými vztlačovými klapkami ( $V_{FE}$ ).

### **Překročení $V_{LE}$**

Za letu dojde k překročení maximální rychlosti pro let s vysunutým podvozkem.

### **Překročení $V_{Lo}$**

Za letu dojde k překročení maximální rychlosti pro manipulaci s podvozkem.

### **Dlouhodobé překročení $V_{No}$**

Za letu je dlouhodobě překročena rychlost pro normální provoz.

### **Nízká rychlost na konečném přiblížení**

Rychlost v průběhu konečného přiblížení poklesne pod zadanou hodnotu.

### **Nízká rychlost po vzletu**

Rychlost po vzletu poklesne pod zadanou hodnotu.

## **12.1.3 Výšky**

### **Nízká výška nad terénem**

V průběhu letu dojde k poklesu výšky nad terénem pod zadanou hodnotu, obvykle 500 ft AGL.

### **Nízká výška ve 4. okružové zatáčce**

Výška ve 4. OZ je nižší, než zadaná hodnota, obvykle 500 ft AAL.

## **12.1.4 Vertikální rychlost**

### **Neobvyklá vertikální rychlost**

Za letu dojde k dosažení neobvykle vysoké nebo neobvykle nízké vertikální rychlosti.

### **Vysoká rychlost klesání v průběhu přiblížení**

Při letu pod zadanou výšku nad zemí dojde k překročení dané vertikální rychlosti.

### **Ztráta výšky po vzletu**

Po vzletu nastane záporná vertikální rychlost.

## **12.1.5 Systémy letadla**

### **Překročení omezení pohonné jednotky**



Za letu dojde k překročení omezení pohonné jednotky. Konkrétní sledované parametry záleží na typu pohonné jednotky. Jako příklad lze uvést překročení maximálních otáček, překročení maximálního plnicího tlaku, překročení maximální nebo minimální teploty oleje a překročení maximální nebo minimální teploty hlav válců.

#### **Překročení povoleného násobku**

Za letu dojde k překročení maximálního povoleného násobku.

### **12.1.6 Letové události**

#### **Neobvyklá poloha**

Za letu dojde k dosažení neobvyklé polohy.

#### **Tvrdé přistání**

Při přistání dojde k překročení maximálního násobku pro přistání.

#### **Dlouhé přistání**

Pro přistání je použita neobvykle vysoká délka dráhy.

#### **Nesprávná zatáčka**

V průběhu zatáčení je zaznamenán význačný skluz nebo výkluz.

## ***12.2 Datová struktura pro vyhodnocení***

Po definování událostí, která se budou vyhodnocovat, je nutné každou událost popsat tak, aby byla možná jejich detekce v množství naměřených dat. U každé události tedy budou dány podmínky, které musí nastat, aby byla událost vyhodnocena.

### **12.2.1 Definice fází letu**

Určitá hodnota parametru může být považována za událost jen v určité fázi letu - například nízká rychlost letu ve vysoké výšce nemusí být považována za událost, posádka prováděla například nácvik přetažení letounu. Naopak pokles rychlosti pod danou hodnotu v průběhu přiblížení na přistání je nutné vyhodnotit jako událost. Z tohoto důvodu je nutné, aby vyhodnocovací software rozlišoval, v jaké fázi letu se letadlo nachází. Z toho důvodu jsem pro účely sledování letových dat zavedl následující fáze letu.

### **12.2.1.1 Fáze „POJÍŽDĚNÍ“**

Tato fáze je zahájena prvním pohybem letadla (změna GPS souřadnic o určitou hodnotu) a ukončena zahájením fáze „VZLET“, viz dále, NEBO je zahájena ukončením fáze přistání, viz dále. Označována bude jako „PHASE=TAXI“.

### **12.2.1.2 Fáze „VZLET“**

Pro zahájení fáze vzlet musí IAS poprvé od začátku záznamu překročit hodnotu 40 kts a tato fáze končí ve výšce 50 ft AAL. Označována bude jako „PHASE=TKOF“.

### **12.2.1.3 Fáze „POČÁTEČNÍ STOUPÁNÍ“**

Tato fáze začíná po ukončení fáze „VZLET“ (letadlo překročilo výšku 50ft AAL) a je ukončena ve výšce 500 ft AAL. Označována bude jako „PHASE=CLB“.

### **12.2.1.4 Fáze „CESTOVNÍ LET“**

Je zahájena po ukončení fáze „POČÁTEČNÍ STOUPÁNÍ“ a ukončena zahájením fáze „PŘISTÁNÍ“. Označována bude jako „PHASE=CRZ“.

### **12.2.1.5 Fáze „PŘISTÁNÍ“**

Fáze přistání je zahájena, jakmile letoun klesne pod výšku 500 ft AAL v blízkosti letiště, za kterou se považuje kružnice o poloměru 3 km od vztažného bodu letiště. Tato fáze může být ukončena 2 způsoby:

- a) IAS letounu klesne pod hodnotu 40 kts a přechází ve fázi „TAXI“ (letadlo dokončí přistání);
- b) Vertikální rychlost letounu bude větší, než 100 ft/min po dobu alespoň 5 vteřin a přechází ve fázi „CLB“ (letoun provádí nezdařené přiblížení).

Označována bude jako „PHASE=LDG“.

Některé z výše uvedených fází letu nebyly zatím v žádné události obsaženy a jsou zavedeny pro budoucí použití.

## **12.2.2 Podmínky vyhodnocení události**

Následující kapitola obsahuje slovní popis a matematický zápis podmínek, které musí nastat, aby byla daná událost vyhodnocena.

Události, u kterých není uvedena konkrétní fáze, budou vyhodnoceny pro kteroukoliv fázi letu.

### **Vstup do prostoru P,D,R**

Poloha letadla je uvnitř polohy zakázaného, nebezpečného nebo omezeného prostoru.

$$(X_L, Y_L, Z_L) = (X_L, Y_L, Z_L)$$

### **Ruční vyhodnocení**

Žádné podmínky nejsou definovány, jde pouze o zobrazení tratě letadla na mapovém podkladu obsahujícím letecké informace.

## **12.2.3 Rychlosti**

### **Překročení $V_{NE}$**

Indikovaná rychlost letadla je vyšší, než nepřekročitelná rychlost.

$$IAS > V_{NE}$$

### **Překročení $V_{FE}$**

Indikovaná rychlost letadla je vyšší, než maximální rychlost pro let s vysunutými vztlakovými klapkami a fáze letu je „TKOF, CLB nebo LDG“.

$$IAS > V_{FE}$$

$$PHASE = TKOF \text{ or } CLB \text{ or } LDG$$

### **Překročení $V_{LE}$**

Indikovaná rychlost letadla je vyšší, než maximální rychlost pro let s vysunutým podvozkem a podvozek je vysunut.

$$IAS > V_{LE}$$

$$GEAR = DOWN$$

### **Překročení $V_{LO}$**

Indikovaná rychlost letadla je vyšší, než maximální rychlost pro manipulaci s podvozkem a s podvozkem je manipulováno.

$$IAS > V_{LO}$$

$$GEAR = TRANSIT$$

### **Dlouhodobé překročení $V_{NO}$**

Indikovaná rychlost letadla je vyšší, než maximální rychlost pro normální provoz po dobu delší, než 30 vteřin.

$$IAS > V_{NO}$$

$$t \geq 30 \text{ s}$$

### **Nízká rychlost na konečném přiblížení**

Indikovaná rychlost v průběhu konečného přiblížení poklesne pod hodnotu  $V_{APP}$ , kde  $V_{APP}$  je závislé na typu letadla a rozhodnutí provozovatele.

$$IAS < V_{APP}$$

$$PHASE = LDG$$

### **Nízká rychlost po vzletu**

Rychlost po vzletu nebo nezdařeném přiblížení poklesne pod hodnotu  $V_{DEP}$ , která závisí na typu letadla a rozhodnutí provozovatele.

$$IAS < V_{DEP}$$

$$PHASE = CLB$$

## **12.2.4 Výšky**

### **Nízká výška nad terénem**

V průběhu letu dojde k poklesu výšky nad terénem pod 500 ft AGL v cestovním letu.

$$ALT < 500 \text{ ft AAL}$$

$$PHASE = CRZ$$

### **Nízká výška ve 4. okružové zatáčce**

Výška ve 4. OZ je nižší, než 500 ft AAL.

$$\Delta HDG \geq 30^\circ$$

$$PHASE = LDG$$

## **12.2.5 Vertikální rychlost**

### **Neobvyklá vertikální rychlost**

Za letu dojde k dosažení neobvykle vysoké nebo neobvykle nízké vertikální rychlosti.

$$V/S < -2500 \text{ ft/min}$$

$$V/S > 2500 \text{ ft/min}$$

### **Vysoká rychlost klesání v průběhu přiblížení**

Při letu ve fázi konečného přiblížení dojde k překročení dané vertikální rychlosti.

$$V/S < -1500 \text{ ft/min}$$

$$PHASE = LDG$$

### **Ztráta výšky po vzletu**

Po vzletu nebo v průběhu nezdařeného přiblížení nastane záporná vertikální rychlost.

$$V/S < 0 \text{ ft/min}$$

$$PHASE = CLB$$

## **12.2.6 Systémy letadla**

### **Překročení omezení pohonné jednotky**

Za letu dojde k překročení omezení pohonné jednotky. Konkrétní sledované parametry záleží na typu pohonné jednotky. Jako příklad lze uvést překročení maximálních otáček, překročení maximálního plnicího tlaku, překročení maximální nebo minimální teploty oleje a překročení maximální nebo minimální teploty hlav válců.

### **Překročení povoleného násobku**

Za letu dojde k překročení maximálního povoleného násobku letadla.

$$+G_L \leq G \leq -G_L$$

## **12.2.7 Letové události**

### **Neobvyklá poloha**

Za letu dojde k dosažení neobvyklé polohy letadla.

$$PITCH \geq \pm 45^\circ$$

$$ROLL \geq \pm 60^\circ$$

### **Tvrde přistání**

Při přistání dojde k překročení maximálního násobku pro přistání  $G_{LMAX}$ .

$$G \geq G_{LMAX}$$

### **Dlouhé přistání**

Pro přistání je použita neobvykle vysoká délka dráhy.

$$PHASE = LDG$$

$$ALT \leq 50ft \text{ ALL}$$

$$DIST \geq LDG_{NORM}$$

### **Nesprávná zatáčka**

V průběhu zatáčení je zaznamenán význačný skluz nebo výkluz.

$$\Delta HDG \geq 10^\circ$$

$$ACC_Y > ACC_{MAX}$$

## **12.3 Potřebná data pro vyhodnocení událostí**

V předcházejících odstavcích jsme si definovali, jaké události budeme v rámci sledování letových dat vyhodnocovat a jakým způsobem. Ze znalosti parametrů potřebných pro vyhodnocení nám vyplývají požadavky na parametry zaznamenávané palubním zařízením. Ty si nyní uvedeme u každé události, spolu s obecnými požadavky na zařízení.

### **12.3.1 Parametry pro vyhodnocení fází letu**

Fáze letu jsou určeny na základě změny polohy letadla, IAS letadla, výšky letadla nad letištěm, vertikální rychlosti letadla a blízkosti letadla k letišti. Potřebná data a parametry jsou tedy následující:

*Potřebné parametry:* poloha letadla včetně tlakové výšky, IAS

*Potřebná data:* databáze letišť (souřadnice vztažného bodu a nadmořská výška)

*Zapísovací zařízení:* přijímač GNSS, snímač statického tlaku, snímač celkového tlaku

### **Vstup do prostoru P,D,R**

*Potřebné parametry:* poloha letadla (včetně výšky letadla AMSL)

*Potřebná data:* databáze zakázaných, nebezpečných a omezených prostorů a jejich souřadnic

*Zapisovací zařízení:* přijímač GNSS, snímač statického tlaku

### **Ruční vyhodnocení**

*Potřebné parametry:* poloha letadla

*Potřebná data:* mapový podklad obsahující letecké informace

*Zapisovací zařízení:* přijímač GNSS, snímač statického tlaku

## **12.3.2 Rychlosti**

### **Překročení $V_{NE}$**

*Potřebné parametry:* IAS

*Potřebná data:* NIL

*Zapisovací zařízení:* přijímač GNSS, snímač statického tlaku, snímač celkového tlaku

### **Překročení $V_{FE}$**

*Potřebné parametry:* IAS

*Potřebná data:* NIL

*Zapisovací zařízení:* přijímač GNSS, snímač statického tlaku, snímač celkového tlaku

### **Překročení $V_{LE}$**

*Potřebné parametry:* IAS, poloha podvozku

*Potřebná data:* NIL

*Zapisovací zařízení:* přijímač GNSS, snímač statického tlaku, snímač celkového tlaku, snímač polohy podvozku

### **Překročení $V_{Lo}$**

*Potřebné parametry:* IAS, poloha podvozku

*Potřebná data:* NIL

*Zapisovací zařízení:* přijímač GNSS, snímač statického tlaku, snímač celkového tlaku, snímač polohy podvozku

### **Dlouhodobé překročení $V_{No}$**

*Potřebné parametry:* IAS

*Potřebná data:* časové razítko u každého záznamu

*Zapisovací zařízení:* přijímač GNSS, snímač statického tlaku, snímač celkového tlaku

### **Nízká rychlost na konečném přiblížení**

*Potřebné parametry:* IAS

*Potřebná data:* NIL

*Zapisovací zařízení:* přijímač GNSS, snímač statického tlaku, snímač celkového tlaku

### **Nízká rychlost po vzletu**

*Potřebné parametry:* IAS

*Potřebná data:* NIL

*Zapisovací zařízení:* přijímač GNSS, snímač statického tlaku, snímač celkového tlaku

## **12.3.3 Výšky**

### **Nízká výška nad terénem**

*Potřebné parametry:* tlaková výška letadla

*Potřebná data:* databáze nadmořské výšky terénu

*Zapisovací zařízení:* snímač statického tlaku

### **Nízká výška ve 4. okružové zatáčce**

*Potřebné parametry:* nadmořská výška letadla, kurz letadla

*Potřebná data:* NIL

*Zapisovací zařízení:* snímač statického tlaku, snímač kurzu letadla

## **12.3.4 Vertikální rychlost**

### **Neobvyklá vertikální rychlost**

*Potřebné parametry:* vertikální rychlost letadla

*Potřebná data:* NIL

*Zapisovací zařízení:* snímač (změny) statického tlaku

### **Vysoká rychlost klesání v průběhu přiblížení**

*Potřebné parametry:* vertikální rychlost letadla

*Potřebná data:* NIL

*Zapisovací zařízení:* snímač (změny) statického tlaku

### **Ztráta výšky po vzletu**

*Potřebné parametry:* vertikální rychlost letadla

*Potřebná data:* NIL

*Zapisovací zařízení:* snímač (změny) statického tlaku



### **12.3.5 Systémy letadla**

#### **Překročení omezení pohonné jednotky**

*Potřebné parametry:* dané motorové veličiny

*Potřebná data:* NIL

*Zapisovací zařízení:* snímač motorových veličin

#### **Překročení povoleného násobku**

*Potřebné parametry:* aktuální hodnota přetížení

*Potřebná data:* NIL

*Zapisovací zařízení:* akcelerometr ve svislé ose letadla

### **12.3.6 Letové události**

#### **Neobvyklá poloha**

*Potřebné parametry:* podélný a příčný sklon letadla

*Potřebná data:* NIL

*Zapisovací zařízení:* AHRS

#### **Tvrdé přistání**

*Potřebné parametry:* aktuální hodnota přetížení

*Potřebná data:* NIL

*Zapisovací zařízení:* akcelerometr ve svislé ose letadla

#### **Dlouhé přistání**

*Potřebné parametry:* tlaková výška letadla, poloha letadla

*Potřebná data:* NIL

*Zapisovací zařízení:* přijímač GNSS, snímač statického tlaku

#### **Nesprávná zatáčka**

*Potřebné parametry:* akcelerace letadla v příčné ose, kurz letadla

*Potřebná data:* NIL

*Zapisovací zařízení:* akcelerometr ve svislé ose letadla, snímač kurzu letadla

## **12.4 Požadavky na zapisovací zařízení a data**

Z výše uvedeného vyplývají následující požadavky na zapisovací zařízení: GNSS přijímač, snímač celkového a statického tlaku, AHRS, akcelerometr alespoň ve svislé a příčné ose

letadla, snímač magnetického kurzu letadla, snímač motorových veličin, snímač polohy podvozku. U každého vzorku hodnot musí zařízení vytvořit časové razítko.

Jako základní obecné požadavky na zařízení byly stanoveny následující požadavky: frekvence snímání dat alespoň 1x za vteřinu, provozní rozsah teplot -30°C až +50°C, provozní rozsah nadmořské výšky 0 ft až 13 000 ft AMSL, kapacita záznamu alespoň 100 letových hodin. <sup>[11]</sup>

Vyhodnocovací software musí obsahovat databázi letišť, polohy a nadmořské výšky jejich vztažných bodů, model terénu včetně jeho nadmořských výšek, databázi zakázaných, nebezpečných a omezených prostorů a jejich souřadnic, mapu obsahující letecké informace.

### 12.4.1 Srovnání možností existujících zapisovacích zařízení

Se znalostí požadovaných parametrů nyní provedeme srovnání jednotlivých zapisovacích zařízení, které byly představeny v kapitole „Zapisovací zařízení pro všeobecné letectví“. Pro přehlednost je toto srovnání provedenou formou tabulky 1 níže.

*Tabulka 1: Srovnání měřicích senzorů používaných zařízení v GA.*

	FT300 TRACKER	COLIBRI II	TL-6024	GARMIN GDL59	iLevel 3 AW
OBECNÉ POŽADAVKY	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
PŘIJÍMAČ GNSS	ANO	ANO	ANO	(ANO)	ANO
STATICKÝ TLAK	NE	ANO (z kabiny)	NE	(ANO)	ANO
CELKOVÝ TLAK	NE	NE	NE	(ANO)	ANO
AHRS	NE	NE	NE	(ANO)	ANO
MAG. KURZ	NE	NE	NE	(ANO)	ANO
MOT. VELIČINY	NE	NE	NE	(ANO)	NE
POLOHA PODVOZKU	NE	NE	NE	NE	NE
TIME STAMP	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
DALŠÍ PARAMETRY	V-metr	mikrofon	teploměr	Audio, všechna data přenášená sběrnici HSDB	ADS-B přijímač

Protože všechny uvedené zařízení byly navrženy pro letecký provoz, všechny splňují výše definované všeobecné požadavky.

Co se týče požadavků na zaznamenávané parametry, zdaleka největší množství jich je schopen zaznamenat systém Garmin GDL59 Data Logger a pro systém FDM je tak jednoznačně nejvýhodnější. Zařízení je zároveň certifikováno pro zástavbu do letounu a je tak možné na něm prakticky okamžitě postavit funkční systém FDM.

Zásadní nevýhodou tohoto zařízení ovšem je jeho použitelnost pouze pro letadla vybavená avionikou Garmin G1000, kterou je i přes její rostoucí popularitu vybaveno pouze malé procento letounů všeobecného letectví.

Pro letouny vybavené jinou avionikou či analogovými přístroji se vzhledem k množství měřených veličin zdá být nejvýhodnější zařízení iLevil 3 AW, které jako jediné snímá všechny aerometrické veličiny a je vybaveno vlastním AHRS systémem. Zařízení by tedy jen velmi málo zasahovalo do systémů letadla (pouze by bylo nutné jej připojit na vedení statického a celkového tlaku).

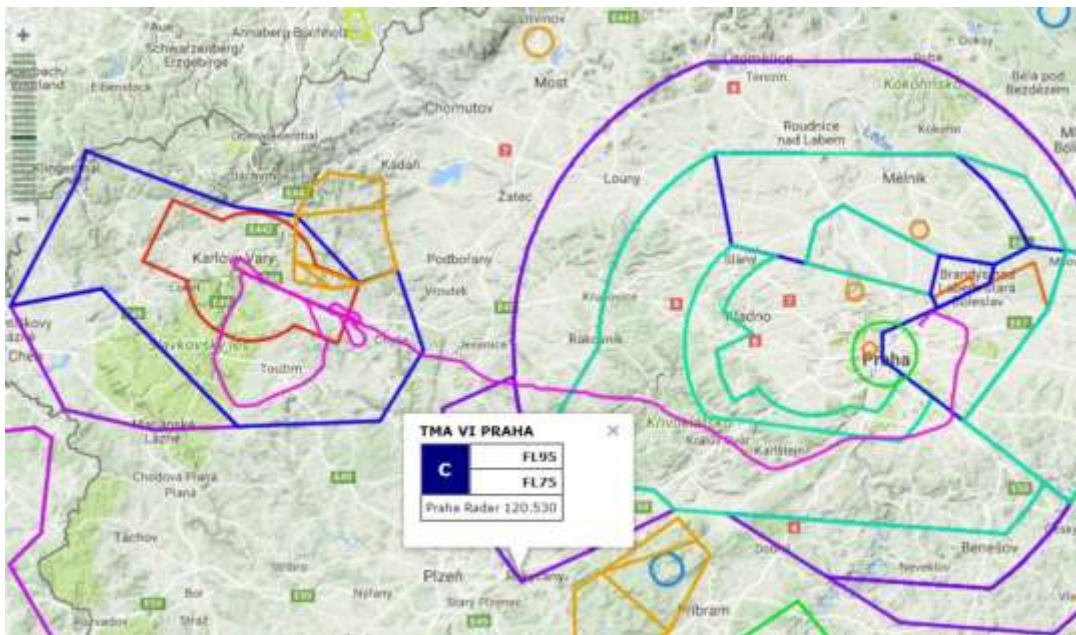
Nevýhodou je absence měření motorových veličin a snímání polohy podvozku. Tyto parametry jsou u letadel vybavených „klasickými“ analogovými přístroji často přenášeny mechanicky či analogově-elektricky a jejich snímání by vyžadovalo značný zásah do palubní instalace letounu, který by navíc nebyl univerzální a musel by být navržen a proveden v každém typu letadla individuálně. Z tohoto důvodu bych u letadel nevybavených avionikou G1000 značně omezil sledování motorových veličin (například pouze na otáčky motoru, které by bylo možné přibližně vyhodnotit ze zvukového záznamu na palubě) a snímání polohy podvozku bych nahradil měřením výšky nad zemí, ve které se obvykle provádí manipulace s podvozkem s dalším ručním vyhodnocením v případě detekce události.

### ***12.5 Praktický test systému iLevil a vyhodnocení***

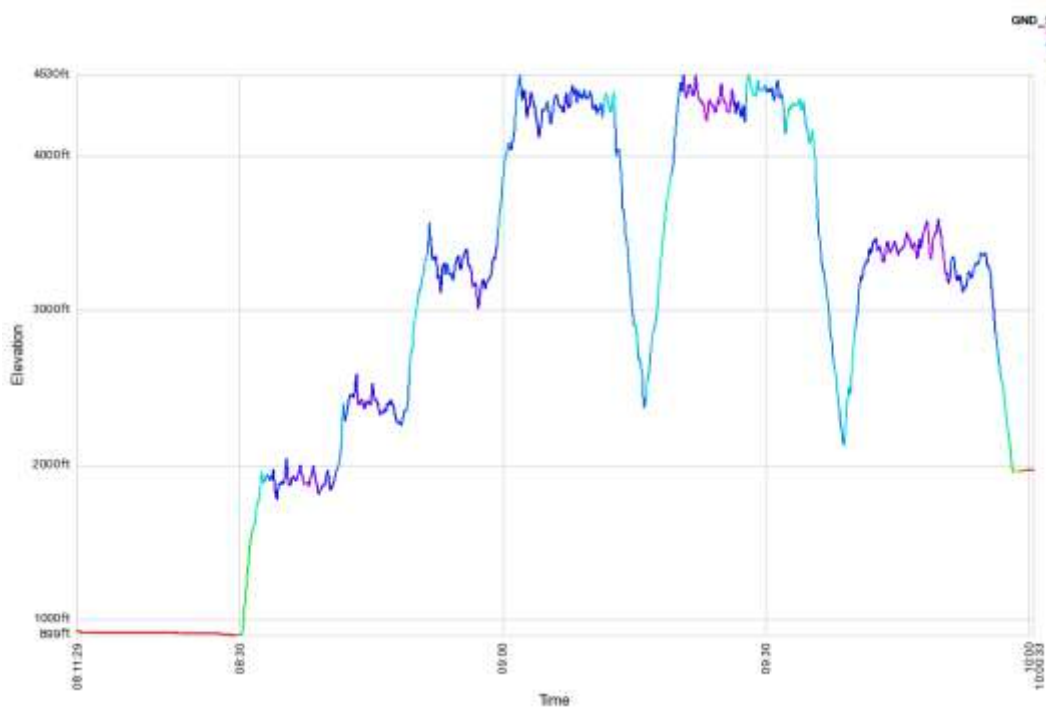
Protože je systém iLevil 3 AW i přes uvedené nedostatky v nemožnosti snímání motorových veličin nejvýhodnější pro systém FDM pro letadla, která nejsou vybavena avionikou G1000, byla pro ověření vhodnosti tohoto zařízení pořízena testovací jednotka. S testovací jednotkou byly provedeny 2 lety, v průběhu kterých byly naměřeny data a ručně analyzován výstup.

Záznam dat se provádí na SD kartu vloženou do zařízení. Počet zaznamenatelných letových hodin závisí na kapacitě média, velikost záznamu je zhruba 1 Mb za letovou hodinu při snímání dat 1x za vteřinu.

Naměřená data jsou ukládána ve formátu CSV, se kterým je možné pracovat například v programu Excel. Vzorek je zaznamenán vždy v jednom řádku a hodnoty jsou odděleny čárkami. Data v tomto formátu jsou snadno importovatelná do jiné aplikace, například softwaru pro vyhodnocování letových dat. Ukázka naměřených dat je přílohou této práce. Protože prozatím neexistuje žádný software použitelný pro vyhodnocení letových provozních dat všeobecného letectví, provedl jsem pouze zobrazení některých zaznamenaných veličin zdarma dostupným softwarem, které je možné vidět na obrázku 21 a 22.



Obrázek 20 Zobrazení tratě letu na mapovém podkladu obsahující letecké informace.



Obrázek 21 Zobrazení výškového profilu v závislosti na čase.

Na prvním obrázku je proveden pouze výnos tratě letu na mapový podklad, na druhém obrázku je jako příklad výnos výšky AMSL v závislosti na čase. Tato data je možné již v této fázi použít alespoň pro poletový rozbor nebo jako zpětnou vazbu pro posádky, to by ale měl být jen vedlejší efekt využití naměřených dat, která by primárně měla sloužit pro systém FDM tak, jak je popsán výše.

Provedená zkušební měření dle mého názoru potvrdila vhodnost tohoto zařízení jako zdroje měřených parametrů pro systém FDM ve všeobecném letectví.

## 13. Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo určit, v jaké podobě by byl systém FDM použitelný pro všeobecné letectví jako součást systému SMS a celkově stanovit jeho koncepci. Dále zjistit, zda-li by bylo možné takový systém provozovat na základě dat naměřených některým z existujících zapisovacích zařízení používaných ve všeobecném letectví.

Na základě charakteristiky provozu ve všeobecném letectví jsem určil „typického“ provozovatele GA, protože provoz všeobecného letectví je velmi široký a není možné vyvinout jeden systém, který by pokrýval všechny druhy provozu. Pro tohoto „typického“ provozovatele jsem dále navrhl typy událostí, které by bylo vhodné sledovat, a vytvořil jsem datovou strukturu pro jejich vyhodnocení z naměřených dat. Z této struktury jsem získal požadavky na data, která musí být zapisovací zařízení schopno měřit.

Z rešerše existujících zapisovacích zařízení používaných ve všeobecném letectví vyplynulo, že pro letadla vybavenými avionikou Garmin G1000 je možné v podstatě okamžitě implementovat systém FDM díky zapisovacímu zařízení Garmin GDL59 Data Logger. Pro letadla vybavena konvenčními přístroji je situace mírně komplikovanější a systém FDM je možné pomocí současných zapisovacích zařízení implementovat s jistým omezením. Jako vhodným kandidátem na zapisovací zařízení pro tyto letouny se jeví zařízení iLevel 3 AW, které ale není schopné zaznamenat hodnoty motorových veličin, které jsou u těchto letounů přenášeny analogově nebo dokonce mechanicky. Měření těchto parametrů by vyžadovalo značný zásah do palubní instalace letounu, kterému jsem se pro nákladné certifikační procesy snažil vyhnout. Pokud jsme schopni akceptovat toto omezení u letounů nevybavených avionikou G1000, instalace zapisovače pro systém FDM by měla být možná za přijatelných finančních nákladů.

Prací byla stanovena koncepce systému FDM po technické stránce. Aby ale takový systém mohl být funkční součástí systému SMS, je nutné jej provozovat tak, jak bylo popsáno v principu systému FDM – zejména tedy vyhodnocovat naměřená data na přítomnost událostí, tyto následně rozebrat, ukládat do databáze a statistickým přístupem sledovat trendy, díky kterým je možné snadno určit případná bezpečnostní rizika. Aby něco takového bylo možné, je třeba vyhodnocovat dostatečný počet letů (v ideálním případě 100%), jednotlivé události ukládat do databáze a do té následně přistupovat pro vytváření statistik.

Aby toto bylo fakticky proveditelné, je nutné vyvinout software obdobný těm, které se v současné době používají pro existující systémy FDM v prostředí obchodní letecké dopravy

a byly rozebrány v této práci. Takový software musí pracovat s datovou strukturou zapisovacího zařízení a být schopen automaticky odhalit události, které byly definovány. Ty předložit k ručnímu schválení a ukládat do databáze. Vývoj takového software by mohl být předmětem další práce.

## 14. Použité zdroje

- [1] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, *Doc 9859 - Safety Management Manual*, Third Edition, 2013.
- [2] ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ, MINISTERSTVO DOPRAVY ČESKÉ REPUBLIKY, *Předpis L19*, 2013.
- [3] ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ, MINISTERSTVO DOPRAVY ČESKÉ REPUBLIKY, *Předpis L6*, 2016.
- [4] EUROPEAN AVIATION SAFETY AGENCY, *Commission Regulation (Ec) No 859/2008, EU-OPS*, 2008.
- [5] STATE CIVIL AVIATION ADMINISTRATION REPUBLIC OF AZERBAIJAN, *Flight Data Monitoring Program (FDMP)*, 2014.
- [6] GAIN WORKING GROUP B, ANALYTICAL METHODS AND TOOLS, *Guide to Methods and Tools for Airline Flight Safety Analysis*, Second Edition, 2003.
- [7] LARDER, Brian; SUMMERHAYES, Nigel. *Application of Smiths Aerospace Data Mining Algorithms to British Airways 777 and 747 FDM Data*, 2004.
- [8] SPEYER, Jean-Jacques. *The Flight Operations Monitoring System: A Bundled Approach for Synergistic Safety Management*, 2002.
- [9] FLIGHT DATA SOLUTIONS, *Case Studies*. [online] 2017 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z WWW: <<https://www.flightdataservices.com/fdm-foqa-products-services/casestudies>>
- [10] NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD, *Review of Aircraft Accident Data 2007–2009*, 2011.
- [11] BONADONNA, Chad; BRODY, Don; LOPEZ, Alejandro. *Design of a Low-Cost General Aviation Flight Data Recording and Analysis System*, 2015.



- [12] FT300 - GPS/GPRS online tracker, *FID Avionics*. [online] 2017 [cit. 2017-06-09]. Dostupné z WWW: <[http://fid-avionics.eu/public\\_fid/index.php?option=com\\_content&view=article&id=61&Itemid=64](http://fid-avionics.eu/public_fid/index.php?option=com_content&view=article&id=61&Itemid=64)>
- [13] COLIBRI, *LX Navigation*. [online] 2017 [cit. 2017-06-09]. Dostupné z WWW: <<http://www.lxnavigation.com/flight-records/colibri/>>
- [14] TL6024, *Aeroplanet*. [online] 2017 [cit. 2017-06-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.aeroplanet.cz/aero-planet/eshop/-1/-4-/5/101-Letovy-zapisovac-TL-6024/>>
- [15] GDL® 59 Data Logger and Wi-Fi® Datalink, *GARMIN*. [online] 2017 [cit. 2017-06-10]. Dostupné z WWW: <<https://buy.garmin.com/en-US/US/p/13273>>
- [16] iLevil 3-AW, *LEVIL Aviation*. [online] 2017 [cit. 2017-06-18]. Dostupné z WWW: <<http://aviation.levil.com/ilevil3-aw.html>>
- [17] VITTEK, P.; KRAUS, J., SZABO, S. *Moderní přístup k hodnocení provozní bezpečnosti v letectví*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2016. ISBN 978 - 80 - 7204 - 944 – 8.
- [18] YANG, Xiaoqiang. *Research of General Aviation Flight Data Analysis*, 2011.

## 15. Seznam příloh

Příloha 1. Ukázka datové struktury zařízení iLevil.

## 16. Příloha 1 – ukázka datové struktury zařízení iLevel

SOURCE,iLevel-0 Firmware=3.0 <http://aviation.level.com>,

TAIL,OKLTA,

DATE,07/16/2016,

TIME,08:00:37,

UNITS,(ms),dd-mm-yy,hh:mm:ss,deg,deg,kts,deg,ft/min,ft,ft,kts,ft/min,deg,deg,deg,deg,deg/sec,g,1-valid,---,---,---,---,---

LEGEND,TIMER(ms),DATE,UTC-TIME,LATITUDE,LONGITUDE,GND\_SPEED,TRACK,GPS\_CLIMBRATE,MSL\_ALTITUDE,PRESSURE\_ALTITUDE,

IINDICATED\_AIRSPPEED,PRESSURE\_CLIMBRATE,ROLL,PITCH,YAW,SLIP,YAWRATE,Gs,GPS\_FIX,SATELLITES,AHRS\_STATUS,RESERVED\_1,EVENT,

RESERVED\_2,RESERVED\_3

DATA,1332097,16-07-2016,08:22:48,50.128597,14.523542,2,328.1,2.0,912,60535,3276.7,32767,30.6,2.2,280.7,30.5,-6.0,0.8,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1333097,16-07-2016,08:22:49,50.128609,14.523531,2,323.4,2.0,912,60535,3276.7,32767,30.9,2.2,275.9,30.6,-5.8,0.8,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1334097,16-07-2016,08:22:50,50.128616,14.523517,3,318.5,2.0,912,60535,3276.7,32767,30.7,2.5,270.9,30.5,-5.7,0.8,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1335097,16-07-2016,08:22:51,50.128628,14.523499,3,313.8,2.0,912,60535,3276.7,32767,31.9,2.8,266.2,31.5,-5.2,0.8,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1336098,16-07-2016,08:22:52,50.128639,14.523479,3,309.2,2.0,912,60535,3276.7,32767,30.1,1.1,261.4,31.5,-6.9,0.8,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1337098,16-07-2016,08:22:53,50.128651,14.523457,3,302.7,2.0,912,60535,3276.7,32767,28.9,0.0,255.9,30.6,-6.9,0.8,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1338098,16-07-2016,08:22:54,50.128654,14.523434,3,298.8,2.0,912,60535,3276.7,32767,33.2,-1.1,250.0,31.8,-5.9,0.8,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1339098,16-07-2016,08:22:55,50.128662,14.523412,3,292.8,2.0,912,60535,3276.7,32767,33.4,1.7,245.5,31.1,-4.7,0.9,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1340098,16-07-2016,08:22:56,50.128666,14.523390,3,290.0,2.0,912,60535,3276.7,32767,33.2,4.6,244.8,30.8,-1.1,0.9,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1341098,16-07-2016,08:22:57,50.128670,14.523368,3,288.8,2.0,911,60535,3276.7,32767,31.9,1.7,248.3,30.9,2.3,0.8,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1342098,16-07-2016,08:22:58,50.128674,14.523346,3,290.8,2.0,911,60535,3276.7,32767,30.9,1.5,252.4,30.2,3.3,0.9,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1343098,16-07-2016,08:22:59,50.128681,14.523325,3,293.7,2.0,911,60535,3276.7,32767,31.7,2.3,252.5,32.2,0.6,0.9,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1344098,16-07-2016,08:23:00,50.128685,14.523303,3,293.1,2.0,911,60535,3276.7,32767,28.1,-0.3,250.8,31.5,-3.7,0.8,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1345098,16-07-2016,08:23:01,50.128693,14.523282,3,290.5,2.0,911,60535,3276.7,32767,32.6,4.5,246.7,32.0,-2.8,1.2,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1346099,16-07-2016,08:23:02,50.128696,14.523257,3,286.0,2.0,911,60535,3276.7,32767,32.4,3.1,244.2,31.2,-3.5,1.0,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1347099,16-07-2016,08:23:03,50.128700,14.523228,4,283.3,2.0,910,60535,3276.7,32767,33.3,3.0,241.8,28.6,-2.4,0.7,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1348099,16-07-2016,08:23:04,50.128704,14.523192,5,281.0,2.0,910,60535,3276.7,32767,38.3,9.3,240.8,33.6,1.8,0.6,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1349099,16-07-2016,08:23:05,50.128708,14.523153,5,279.8,2.0,910,60535,3276.7,32767,32.7,8.8,241.9,34.9,-1.3,0.4,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1350099,16-07-2016,08:23:06,50.128712,14.523113,5,280.4,2.0,909,60535,3276.7,32767,38.7,12.9,241.5,36.8,-0.3,0.9,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1351099,16-07-2016,08:23:07,50.128716,14.523072,5,279.4,2.0,909,60535,3276.7,32767,39.3,11.0,243.8,37.8,1.3,0.7,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1352099,16-07-2016,08:23:08,50.128719,14.523028,6,282.4,2.0,909,60535,3276.7,32767,39.4,10.7,251.3,38.0,6.2,0.7,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1353099,16-07-2016,08:23:09,50.128727,14.522985,6,288.1,2.0,909,60535,3276.7,32767,35.9,8.4,264.2,36.1,10.3,0.8,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1354099,16-07-2016,08:23:10,50.128738,14.522946,5,300.4,2.0,909,60535,3276.7,32767,40.4,10.9,267.9,41.0,5.3,0.7,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1355099,16-07-2016,08:23:11,50.128754,14.522916,4,304.2,2.0,909,60535,3276.7,32767,41.3,10.2,268.2,41.2,1.4,0.7,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1356100,16-07-2016,08:23:12,50.128765,14.522889,4,303.7,2.0,909,60535,3276.7,32767,40.7,10.0,266.4,40.2,-2.0,0.7,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1357100,16-07-2016,08:23:13,50.128773,14.522861,4,300.5,2.0,908,60535,3276.7,32767,41.0,7.9,260.5,41.9,-6.4,0.9,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1358100,16-07-2016,08:23:14,50.128784,14.522826,5,293.3,2.0,908,60535,3276.7,32767,40.5,8.2,252.5,42.7,-9.2,0.7,4,10,0,0.0,0,0,0

DATA,1359100,16-07-2016,08:23:15,50.128792,14.522786,6,285.7,7.9,908,60535,3276.7,32767,38.8,11.5,244.9,41.6,-10.2,0.7,4,9,0,0,0,0,0,0  
DATA,1360100,16-07-2016,08:23:16,50.128799,14.522742,6,277.5,7.9,908,60535,3276.7,32767,40.0,9.8,239.5,41.9,-6.9,0.7,4,10,0,0,0,0,0,0  
DATA,1361100,16-07-2016,08:23:17,50.128799,14.522696,6,271.5,7.9,908,60535,3276.7,32767,39.9,10.4,239.4,41.2,-2.4,0.8,4,10,0,0,0,0,0,0  
DATA,1362100,16-07-2016,08:23:18,50.128799,14.522649,6,270.8,7.9,907,60535,3276.7,32767,40.7,10.1,245.5,38.4,4.9,0.8,4,10,0,0,0,0,0,0  
DATA,1363100,16-07-2016,08:23:19,50.128799,14.522600,6,275.6,7.9,907,60535,3276.7,32767,39.8,10.9,251.9,38.6,5.2,0.6,4,10,0,0,0,0,0,0  
DATA,1364100,16-07-2016,08:23:20,50.128807,14.522549,7,280.9,7.9,907,60535,3276.7,32767,40.2,9.8,254.8,39.5,2.8,0.8,4,10,0,0,0,0,0,0