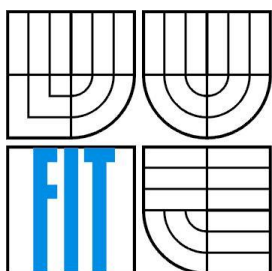


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ  
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY  
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

## VIZUALIZACE DAT Z LETOVÝCH ZAPISOVAČŮ

VISUALIZATION OF DATA FROM FLIGHT LOGGERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ADAM MARTIŠ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING. PETR DITTRICH

BRNO 2013

## **Abstrakt**

Předložená práce je zaměřena na rozbor letových zapisovačů jak po stránce teoretické, tak i praktické, s využitím dostupných platných předpisů a materiálů.

Cílem práce je zmapovat problematiku dostupných letových zapisovačů. Navrhnout vhodné metody vizualizace dat a na jejich základě navrhnout a vytvořit aplikaci, která vizualizaci dat z letových zapisovačů provádí.

## **Abstract**

The present work is focused on the analysis of the flight logger from the theoretical as well as practical, using available materials and valid regulations.

The aim of this thesis is to explore the issue of available flight recorders. Suggest a suitable method of data visualization as a basis for design and build an application that visualizes data from flight recorders done.

## **Klíčová slova**

Letové zapisovače, vizualizace dat, černá skříňka, Qt Creator, C++, letecká nehoda, incident.

## **Keywords**

Flight loggers, visualization of data, black box, Qt Creator C++, flight accident, incident.

## **Citace**

Martiš Adam: Vizualizace dat z letových zapisovačů, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2013

# Vizualizace dat z letových zapisovačů

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Dittricha.

Všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal, jsem uvedl do seznamu použité literatury.

.....  
Adam Martiš  
10. června 2013

## Poděkování

Tímto děkuji Ing. Petru Dittrichovi za užitečné rady, konzultace, systematické vedení a trpělivost při vedení mé bakalářské práce. Dále mé díky patří rodině za psychickou podporu, přátelům za drobné rady vedoucí k velkým nápadům a paní Ing. Janě Jurajdové za pomoc při korektuře textu.

Tato práce byla podpořena Technologickou Agenturou České Republiky v rámci projektu TAČR TA 01010678 „Chytrý autopilot“.

© Adam Martiš, 2013

*Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.*

# Obsah

Obsah .....	1
1 Úvod.....	2
2 Úvod do problematiky .....	3
2.1 Letové zapisovače.....	3
2.1.1 Letové zapisovače chráněné před nárazem.....	3
2.1.2 Lehké letové zapisovače .....	5
2.2 Použitá technika.....	6
2.2.1 Záznamové jednotky.....	7
2.3 Zapisovaná data .....	9
2.4 WGS 84 .....	10
3 Návrh.....	11
3.1 Mapy .....	11
3.2 Návrhový vzor .....	14
3.3 Vizualizace dat.....	15
4 Implementace .....	16
4.1 Prostředí vývoje .....	16
4.2 Grafické uživatelské rozhraní .....	16
4.3 Načítání dat.....	20
4.4 Google Maps API .....	21
4.5 Vykreslování grafů .....	22
4.5.1 Výpočet okrajů zobrazení a vykreslení mřížky .....	22
4.5.2 Vykreslení dat.....	24
4.5.3 Vykreslení aktuálního bodu .....	25
5 Testování a další vývoj .....	26
5.1.1 Vytvoření testovací sady.....	26
5.2 Výsledky testování: .....	27
6 Závěr .....	30
6.1 Možnosti rozšíření a dalšího vývoje .....	30
Literatura .....	31
Seznam příloh .....	33
Příloha A: Obsah CD.....	34
Příloha B: Tabulka A9-1 .....	35
Příloha C: Tabulka A9-3 .....	39

# 1 Úvod

Letecká doprava patří v porovnání s automobilovou a lodní přepravou mezi poměrně nejmladší, zato však dynamicky se rozvíjející dopravní obor. Od svého vzniku na počátku minulého století, prošla prudkým rozvojem. [1] Podle zpráv Mezinárodní asociace leteckých dopravců (IATA), stoupl loni objem letecké osobní přepravy o 5,3% [2] a tím příznivě ovlivnil stoupající trend z posledních 20-ti let. Poptávka po letecké dopravě je stále silnější a počet přepravovaných osob každoročně stoupá o 4% - 5%. V následujících letech se dále předpokládá udržování tohoto trendu, i přes pomalý ekonomický růst v mnoha zemích a ziskovou ztrátou. [3]

Důležitá je otázka letové bezpečnosti, neboť důsledky leteckých nehod a katastrof bývají vždy tragické. Proto je kladen stále větší důraz na bezpečnost letového provozu. V porovnání s ostatními dopravními prostředky je v letecké dopravě zaznamenáván přesný průběh letu s nejpřesnějším určením příčiny poruchy.

V této práci se budu zabývat rozdělením letových zapisovačů do skupin, viz kapitola 2.1, dle platných předpisů Úřadu pro civilní letectví (UCL). Letové zapisovače umožňují přesně určit okolnosti a příčiny poruch. Informace z letových zapisovačů mohou sloužit také pro zdokonalení a vývoj letové techniky.

Představím vám používaný letoun v projektu TAČR „chytrý autopilot“, informace o jeho výzkumné záznamové ústředně, pro kterou je vyvíjena tato aplikace a možné alternativy zapisovačů dostupných mimo výzkumnou sféru.

Hlavní část práce je věnována návrhu aplikace a možných postupů při výběru způsobu zobrazení z velkého množství záznamů. Seznamuje s možnostmi zobrazování GPS trasy v Google Maps API a diskutuje nad použitelností mapových podkladů OpenStreetMap a Google Maps.

O samotné implementaci aplikace představuji stručné popisy metod vytvořených pro vykreslování map a tvorbu grafů za pomoci vlastních metod a jejich rozšířenou funkcionalitu. Aplikace zabývající se vizualizací, obsahuje také podrobný popis grafického rozhraní a vysvětlení ovládacích prvků vizualizace. Závěrem je vytvořená aplikace podrobena sadám testů a diskutován její přínos.

## 2 Úvod do problematiky

V této části jsou uvedeny informace potřebné k porozumění jádru práce. Přináší základní přehled o letových zapisovačích, zapisovaných datech a osvětlení geodetického standardu pro značení poloh.

### 2.1 Letové zapisovače

Informace o problematice letových zapisovačů jsou čerpány z [4] [5].

Letový zapisovač je elektronické zařízení, které slouží k záznamu letových dat. Mezi laiky je označováno jako černá skříňka. Letové zapisovače jsou nezbytné při vyšetřování leteckých nehod a to za pomoci zpětné rekonstrukce a simulace průběhu letu. Všechny zapisovače (Flight loggers) jsou konstruovány a zastavovány do letadel tak, aby byla zajištěna co největší ochrana dat. Každá schránka letového zapisovače musí být dle platných předpisů opatřena výraznou oranžovou nebo žlutou barvou, reflexním materiálem a obsahovat automaticky se aktivující zařízení usnadňující jeho nalezení pod vodou.

Letové zapisovače jsou rozděleny do dvou základních skupin a to na lehké letové zapisovače a letové zapisovače chráněné před nárazem.

#### 2.1.1 Letové zapisovače chráněné před nárazem

Do této skupiny patří čtyři systémy. Prvním je zapisovač letových záznamů<sup>1</sup> (FDR), dále pak zapisovač obrazu pilotního prostoru (AIR), zapisovač hlasu v pilotním prostoru (CVR) a zapisovač komunikace datovým spojem (DLR).

##### 2.1.1.1 Zapisovač letových záznamů (FDR)

Tento zapisovač začíná pracovat ještě dříve, než se letoun začne pohybovat vlastní silou a zaznamenává data až do doby, než se letoun vlastní silou už pohybovat nemůže. Množství parametrů<sup>2</sup>, které musí být FDR schopen u letounu zaznamenávat, se dělí podle typu:

**Tabulka 1 Typy FDR.**

Typ IA:	alespoň prvních 78 parametrů z Příloha B: Tabulka A9-1
Typ I:	alespoň prvních 32 parametrů z Příloha B: Tabulka A9-1
Typ II a Typ IIA:	alespoň prvních 16 parametrů z Příloha B: Tabulka A9-1

<sup>1</sup> Záznamem se rozumí soubor obsahující data, nebo také údaje příslušných parametrů.

<sup>2</sup> Parametrem se bude v této práci rozumět jeden sloupec dat záznamu, např. čas, výška, rychlost.

Mezi prvních 16 zaznamenávaných povinných parametrů společných pro všechny typy FDR patří například: čas, tlaková nadmořská výška, rychlost letu, kurz, normálové zrychlení, podélný sklon a teplota venkovního vzduchu.

#### **2.1.1.2 Zapisovač obrazu pilotního prostoru (AIR)**

Zapisovače s označením AIR dělíme dále do tří tříd. Třída A snímá celkový obraz pilotního prostoru. Slouží tedy jako doplňující údaj k běžně používaným letovým zapisovačům. Třída B snímá zobrazovač zpráv z komunikace datovým spojem a třída C snímá přístroje a ovládací panely. Zapisovač obrazu pilotního prostoru (AIR) začíná zaznamenávat parametry dříve, než se letoun začne pohybovat vlastní silou (tedy stejně jako zapisovač letových záznamů FDR) a musí je průběžně zaznamenávat až do chvíle, kdy už se letoun nemůže pohybovat vlastní silou.

#### **2.1.1.3 Zapisovač hlasu v pilotním prostoru (CVR)**

Pro zapisovač hlasu v pilotním prostoru opět platí, že musí začít zaznamenávat údaje dříve, než se letoun začne pohybovat vlastní silou a to do doby, než už se letoun nemůže vlastní silou pohybovat. Navíc musí v závislosti na dostupnosti elektrické energie začít zaznamenávat údaje ještě před startem motorů a na konci letu zaznamenávat až do momentu začátku kontrol palubního prostoru. Kontroly palubního prostoru následují bezprostředně po vypnutí motorů na konci letu. CRV musí na minimálně 4 samostatných kanálech zaznamenávat:

- 1) hlasovou komunikaci vysílanou nebo přijímanou z/v letounu,
- 2) zvukové prostředí v celém pilotním prostoru,
- 3) hlasovou komunikaci členů letové posádky,
- 4) hlasové nebo akustické signály označující prostředky navigaci,
- 5) palubní rozhlas používaný letovou posádkou, je-li vestavěn.

#### **2.1.1.4 Zapisovač komunikace datovým spojem (DLR)**

"Je-li na dráze letu letadla povoleno používání zpráv datovým spojem nebo je jejich prostřednictvím tato dráha řízena, musí být všechny zprávy datovým spojem zaznamenávány, a to jak vzestupným (do letadla), tak sestupným spojem (z letadla). Pokud je to proveditelné, musí být zaznamenán čas zobrazení zpráv letové posádce a odezev." [4]

DLR musí být schopen během celého letu zaznamenávat všechny aplikace, používané pro přihlášení ke službě přenosu údajů datovým spojem. Zahrnuje všechny aplikace využívané k výměně letových povolení, pokynů a zpráv.

## 2.1.2 Lehké letové zapisovače

Druhou skupinu lehkých letových zapisovačů tvoří: systém záznamu zvuku v pilotním prostoru (CARS), systém záznamu údajů letadla (ADRS), systém záznamu obrazu pilotního prostoru (AIRS) a systém záznamu komunikace datovým spojem (DLRS). Systémy záznamu AIRS a DLRS nejsou v oficiálních předpisech blíže specifikovány.

### 2.1.2.1 Systém záznamu zvuku v pilotním prostoru (CARS)

"CARS musí začít zaznamenávat údaje dříve, než se letoun začne pohybovat vlastní silou a musí je průběžně zaznamenávat až do chvíle, kdy už se letoun nemůže vlastní silou pohybovat. Navíc musí, v závislosti na dostupnosti elektrické energie, začít zaznamenávat jakmile je to možné během kontrol v pilotním prostoru před tím, než jsou na začátku letu spuštěny motory, až do chvíle, kdy probíhají kontroly v pilotním prostoru, následované bezprostředně po vypnutí motorů na konci letu." [4]

CARS musí zaznamenávat údaje na dvou nebo více samostatných kanálech. Zaznamenává například hlasovou komunikaci letové posádky, která se nachází v pilotním prostoru a která využívá systém palubního telefonu (v případě, že je tento telefon na palubě zaveden).

### 2.1.2.2 Systém záznamu údajů letadla (ADRS)

Systém ADRS patří do skupiny lehkých letových zapisovačů a musí být u příslušného letounu schopen zaznamenávat alespoň základní (E) parametry:

- podélný a příčný sklon,
- rychlost zatáčení, klopení a klonění,
- zeměpisnou šířku a délku,
- nadmořskou výšku,
- čas,
- traťovou rychlost,
- pásmo,
- normálové a příčné zrychlení.

Mezi další doporučené, avšak nepovinné zaznamenávané údaje může patřit:

- vnější statický tlak,
- teplota vnějšího vzduchu,
- otáčky motoru,
- tah motoru,
- průtok paliva, množství paliva,
- nastavení vyvažovacího zařízení

Jejich celý výčet s podrobnostmi o přesnosti je uveden v Příloha C: Tabulka A9-3.

## 2.2 Použitá technika

V této podkapitole bylo čerpáno z [6].

Letoun SportStar RTC využívaný v rámci projektu TAČR TA 01010678 „Chytrý autopilot“ se vyznačuje v kategorii moderních lehkých sportovních letounů jako letoun s vysokou bezpečností, komfortem, moderním vzhledem, nízkými provozními náklady a snadnou údržbou.

Skládá se z robustní kovové konstrukce konstruované zpočátku pro letecké školy s kladeným důrazem právě na snadnou údržbu. Pohání jej motor Rotax 912ULS, který je v leteckém světě známý pro svou vysokou spolehlivost a nízké provozní náklady, spalující lehce dostupný bezolovnatý automobilový benzín.

Letoun byl podroben i rozsáhlým zkouškám pro vývrtky, díky kterým byla skutečně prokázána schopnost letounu vývrtky zvládat. Pro své mimořádné letové vlastnosti cvičného letounu, stabilitu a dokonalou říditelnost jej dnes využívá řada leteckých škol nejen u nás, USA, Kanadě a Austrálii, ale i v dalších zemích.



Obrázek 2-1 Letoun SportStar RTC [6]

Tabulka 2 Vybrané technické parametry letadla.

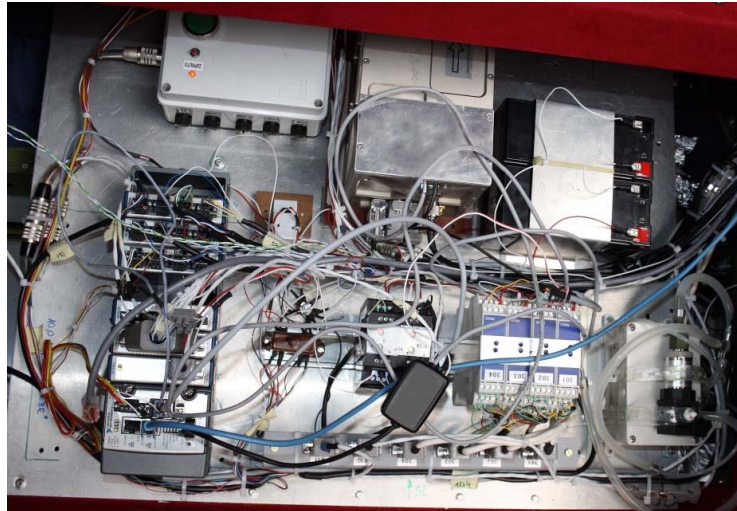
objem palivových nádrží	120 l (31,7 USgal)
spotřeba paliva	15 l / hod.
nepřekročitelná rychlost	270 km/h
max. rychlost vodorovného letu	213 km/h
dolet	1 300 km

Z technických parametrů letounu lze odvodit teoretická hranice délky letu a s tím související maximální počet záznamů za jeden let. Při objemu paliva 120 l benzínu je letadlo s průměrnou hodinovou spotřebou 15 l schopno uletět až 8 hodin což odpovídá při četnosti záznamů 100 Hz<sup>3</sup> počtu 2 880 000 záznamů.

<sup>3</sup> Četnost záznamů 10 Hz značí, že je uloženo 10 záznamů během jedné sekundy

## 2.2.1 Záznamové jednotky

Pro záznam dat z letounu byla použita ústředna National Instruments (NI). Tato výzkumná vývojová jednotka měří letové parametry pro účely dalšího zpracování.



Obrázek 2-2 Záznamová aparatura NI

Četnost záznamů: 100 Hz

Počet možných zaznamenávaných parametrů: 56

Tato jednotku je však unikátní a je určena pouze pro výzkumné účely projektu „Chytrý autopilot“. Pro porovnání s běžně dostupnými zapisovači nám poslouží řídicí jednotka EMU 912iS, nebo modul TS-83

### 2.2.1.1 EMU 912iS

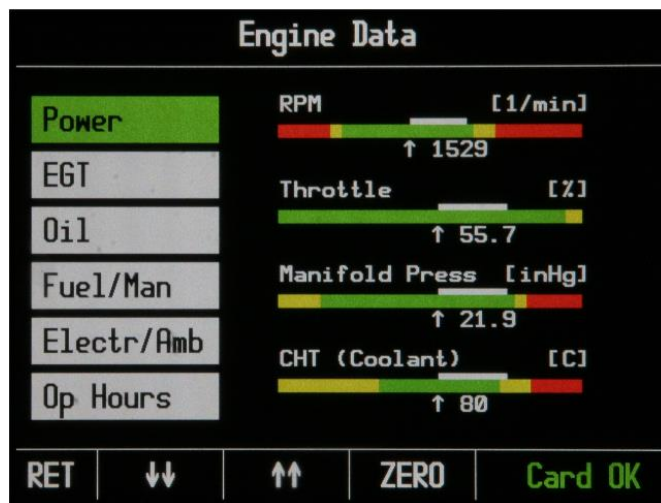
V této podkapitole bylo čerpáno z [7].

Řídicí a zároveň kokpitová zobrazovací jednotka EMU 912iS je obvykle zabudována přímo v kabině letounu. Mezi její výbavu patří také GPS / Galileo Sensor, což je jednotka schopná zobrazovat aktuální informace o stavu na displeji s rozlišením 640x480 pixelů. Všechna data je možné zaznamenávat také na SD/SDHC paměťovou kartu s maximální kapacitou 32GB. Tato kapacita může vystačit až na 24 hodin záznamu dat.



Obrázek 2-3 EMU 912iS [7].

Pro každých 30 minut letu se vytváří na paměťové kartě nový záznam o velikosti přibližně 11,2 MB. Příklady zobrazovaných a zaznamenávaných parametrů jsou: Otáčky motoru, objem průtoku paliva, tlak paliva, tlak oleje, teplota chladicí kapaliny, poloha škrticí klapky, zeměpisná délka, šířka a rychlost. Kompletní údaje z GPS / Galileo senzoru jsou přizpůsobeny pro to, aby byly zrekonstruovány pomocí Google Earth aplikace do 3D modelu trasy letu.



Obrázek 2-4 EMU 912iS engine data [7].

Četnost záznamů: 10 Hz

Četnost zobrazování záznamů na displeji: 4 Hz

Počet možných zaznamenávaných parametrů: neuveden

### 2.2.1.2 TS-83 Wi-Fi / USB Module

V této podkapitole bylo čerpáno z [8] [9].

TS-83 Wi-Fi / USB Module je modul sloužící jako záznamové zařízení. Umožňuje propojení prostřednictvím bezdrátové WiFi sítě s mobilními zařízeními. Pomocí aplikace iMonitor EMS dostupnou na Apple App Store, pak dovoluje vizualizaci zaznamenávaných dat v reálném čase vizualizovat. Příklad vizualizace na telefonu, viz. **Error! Reference source not found.** nebo na tabletu, viz. Obrázek 2-7.



Obrázek 2-5 TS-83 Wi-Fi / USB Module [8]

Záznamy jsou na úložiště USB ukládána s četností 50 Hz. Modul dovoluje ukládat, až 26 parametrů. Některé z nich jsou: Čas, časová zóna, počet otáček, tlak a teplota oleje, napětí na motoru, teplota válců, tlak a stav palivové nádrže, zeměpisná šířka a délka, rychlost, poloha klapek a pozice trimů → vyvažovacích plošek.

Modul může sloužit také jako černá skříňka. Automaticky ukládané údaje a to s frekvencí 1 Hz.



Obrázek 2-6 iMonitor on iPad phone [9].



Obrázek 2-7 iMonitor on iPad tablet [9].

## 2.3 Zapisovaná data

Zapisovaná data, která mám k dispozici jako vstup, jsou zaznamenávána měřící ústřednou od NI určenou pro speciální výzkumné a vývojové účely (viz předchozí kapitola).

Zapisovaná data musí být přesná, úplná a srozumitelná, neboť slouží k přesnému určení dráhy letu, rychlosti, letové polohy, konfigurace poloh zařízení na změnu vzlaku a odporu a výkonu motorů.

Množství a přesnost zapisovaných dat se liší dle typu letounu. Například letouny s turbínovými motory o maximální schválené vzletové hmotnosti 5 700 kg nebo menší, musí být vybaveny FDR Typu II nebo AIR Třídy C nebo ADRS.

Zapisovaná data jsou zaznamenávána pravidelně s frekvencí 1 – 100Hz v závislosti na specifikaci záznamové jednotky.

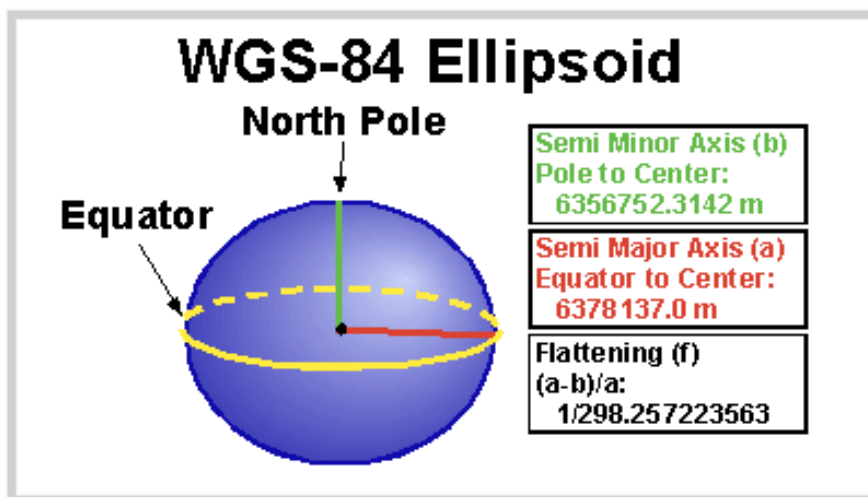
## 2.4 WGS 84

Celosvětově nejpoužívanější referenční systém souřadnic pro satelitní navigace GPS nese název WGS 84, tedy World Geodetic System 1984 (Světový geodetický systém 1984). Jedná se o geodetický standard vydaný ministerstvem obrany USA v roce 1984. Standard definuje souřadnicový systém referenčních elipsoid<sup>4</sup> a geoid pro geodézii a navigaci. Dvanáct let po vydání, tedy v roce 1996, byl standard rozšířen o definici geoidu EGM96. Obecně se dá říci, že systém WGS 84 je pravotočivá kartézská soustava souřadnic se středem v těžišti Země (včetně moří, oceánů a atmosféry), kde kladná osa x směřuje k průsečíku nultého poledníku a rovníku, kladná osa z k severnímu pólu a kladná osa y je na obě předchozí osy kolmá ve směru doleva (tedy přesně 90° východní délky a 0° šířky). Tvoří tak pravotočivou soustavu souřadnic. [10]

Tento systém se běžně používá jako standardní při Satelitní navigaci GPS a to nejen u nás v České republice, ale i ve světě. V mnohých zemích ho používají i vyspělé armády. WGS-84 je i standardizovaným geodetickým systémem armád NATO. Se systémem WGS-84 se pracovalo u nás ještě v době Československa a od ledna 1998 je zaveden i ve vojenském a civilním letectvu.

Fungují na něm také nejznámější mapové portály: maps.google.cz, openstreetmap.org či mapy.cz. Systém využívá zeměpisné souřadnice. Jednotlivé body jsou definované zeměpisnou délkou, šířkou a výškou.

"Zápis zeměpisné šířky a délky může být ve stupních, ve stupních a minutách nebo ve stupních, minutách a vteřinách (s jednotkami v desetinném tvaru). Je třeba vždy správně uvést, zda se jedná o severní nebo jižní šířku a o východní nebo západní délku. Zápis výšky je uveden v metrech - není to skutečná nadmořská výška, ale elipsoidická výška (neboli vzdálenost od elipsoidu). Naštěstí se skutečné nadmořské výšce poměrně dobře přibližuje." [11]



Obrázek 2-8 elipsoid WGS-84 [12]

<sup>4</sup> Pozn. Elipsoid je prostorové těleso tvořené množinou všech bodů a geoid je fyzikální model povrchu Země při střední hladině světových oceánů.

Tabulka 3 Parametry definující referenční elipsoid WGS 84

délka hlavní poloosy:	$a = 6\,378\,137\text{ m}$
délka vedlejší poloosy:	$b = 6\,356\,752,3142\text{ m}$
převrácená hodnota zploštění ( $f = 1 - \frac{b}{a}$ ):	$\frac{1}{f} = 298,257223563$
úhlová rychlost Země:	$\omega = 7,292\,115 * 10^{-5}\text{ rad/s}$
gravitační parametr:	$GM = (3986004,418 \pm 0,008) * 10^8\text{ m}^3/\text{s}^2$

Z Tabulka 3 lze spočítat další odvozené parametry [13]

- první excentricita:  $e1 = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}} \cong 8,18192 * 10^{-2}$
- druhá excentricita:  $e2 = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{b^2}} \cong 8,20944 * 10^{-2}$

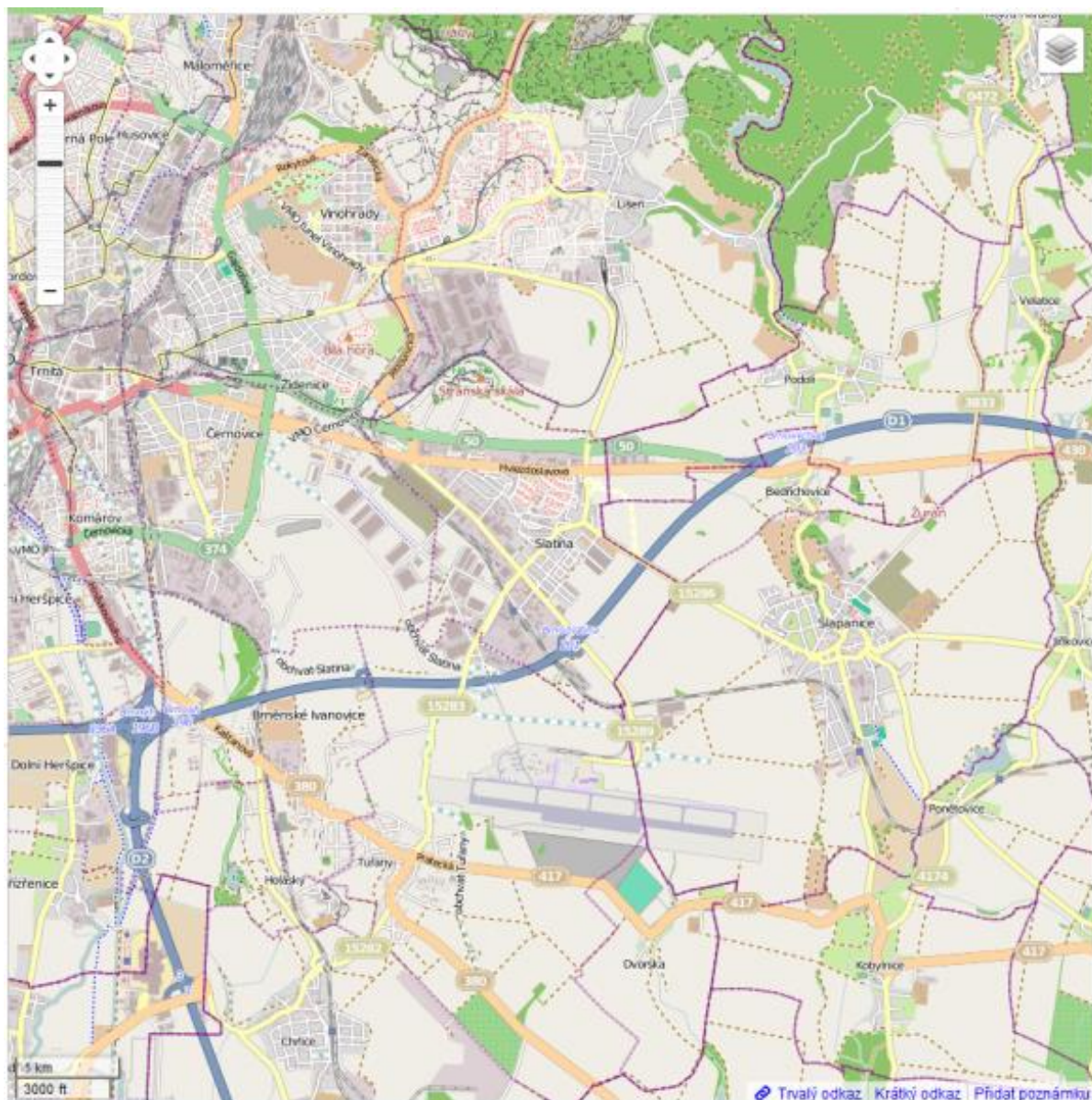
## 3 Návrh

Důležitou fází životního cyklu každé aplikace je její návrh. Vhodným návrhem práce, lze ušetřit čas při její realizaci. V této kapitole, se proto budu věnovat možným způsobům realizace vizualizace dat.

### 3.1 Mapy

Způsobů, jak realizovat vyobrazení na mapě je hned několik a rozhodování není vždy snadné. Mezi mé hlavní adepty patří jednoznačně Google Maps API [14] a OpenStreetMap. Oba adepty však mají svá pro a proti.

Na začátku psaní bakalářské práce jsem neměl žádné zkušenosti s prolínáním více jazyků v jednom programu, a proto jsem hledal způsob práce s mapami v jazyce C++. Pro práci v tomto jazyce, bylo potřeba stahovat mapu v cyklech po dlaždicích a to pro každé přiblížení. Navíc je nutné dopočítávat přesné GPS souřadnice k přiblížení, vytvářet si vlastní nástroje pro pohyb a zaznačení tras na mapě. V tomto případě by zdrojem mohl být pouze projekt OpenStreetMap, neboť Google Maps má v licenčních podmínkách zakázáno ukládat mapy na disk s výjimkou vytváření krátkodobých souborů pro urychlení práce s mapami. Proto bylo po prvotním průzkumu map jasné, že je potřeba se zaměřit jiným směrem. Na základě tohoto zjištění, jsem začal zkoumat dostupná API jednotlivých projektů a možnosti následného vložení do C++.



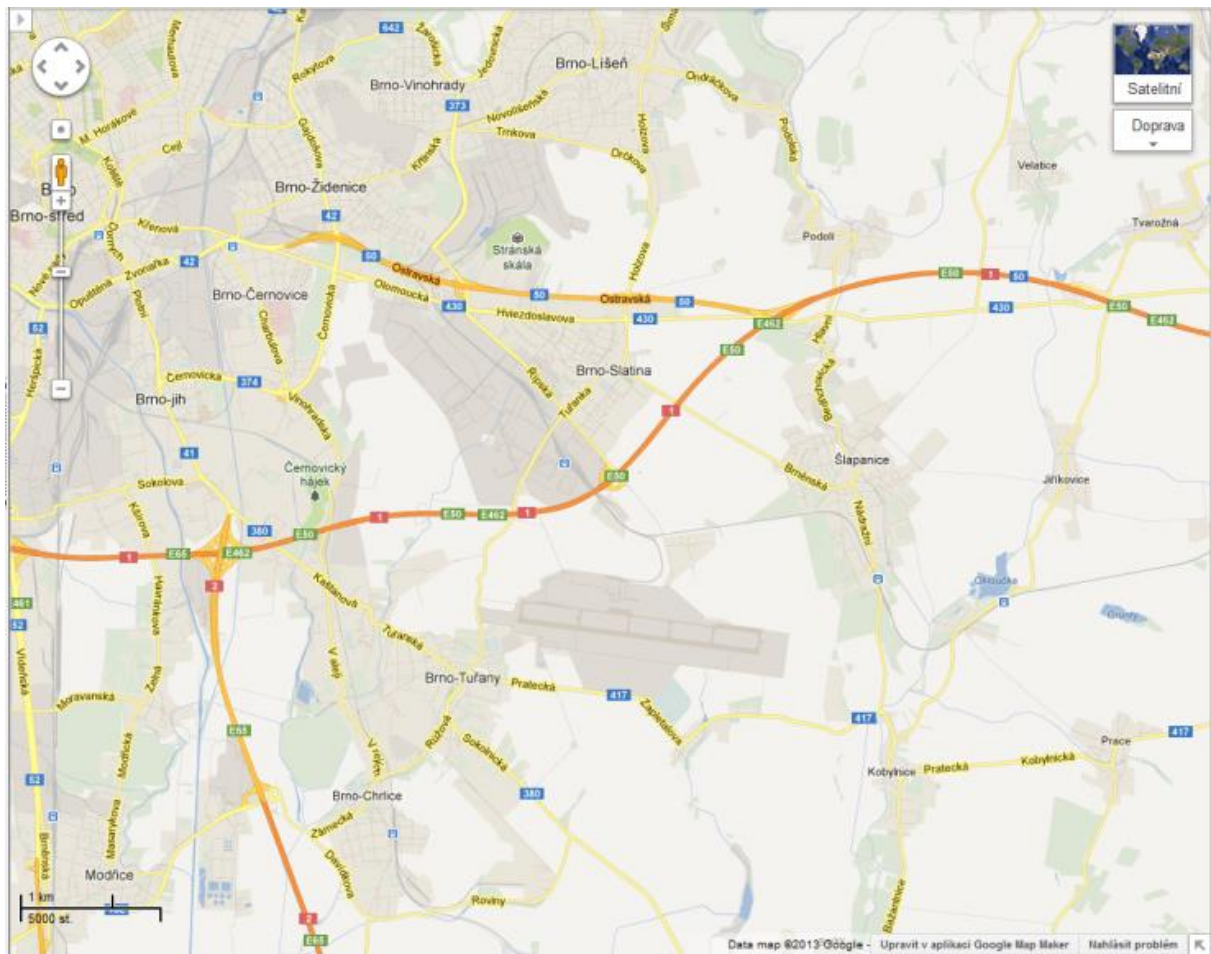
Obrázek 3-1 OpenStreetMap

O OpenStreetMap se dá obecně říci, že se jedná o volně dostupný projekt geografických dat. Tato geografická data se následně formují do podrobných topografických map (např. silniční mapa, uliční mapy měst, cyklistické mapy, routing). Tyto mapy dovolují uživatelům volně editovat, což znamená, že mohou na některých mapových podkladech přesouvat pouliční lampy, nebo polohy silnic. Projekt OpenStreetMap je založen na koncepci Open source.

Mapy Google (anglicky Google Maps) jsou přehledné a pro nekomerční využití volně dostupné internetové mapy. Jejich aplikace nazvaná Google Maps API slouží jako zprostředkování zobrazení mapových podkladů nejen Googlu samotnému, ale i třetím stranám. Aplikace má nástroje pro zobrazení ulic, umístění oblíbených míst, plánovače cest a další.

Výhodou OpenStreetMap [15] je jeho otevřenost a volně dostupné topografické mapy pro detailnější úpravy. Velmi podstatnou nevýhodou však je to, že jejich API je na slabší úrovni a manipulace s nimi bývá z pravidla zprostředkována další nadstavbou. Google Maps API je naopak pro zobrazování map svých i třetích stran vytvořeno a lze v nich proto poměrně jednoduše zobrazit jakékoliv mapy včetně podkladů z OpenStreetMap.

Po zmapování těchto faktů bylo rozhodnutí pro užití Google Maps API tou správnou cestou. Další věc pro kterou bylo nutno se rozhodnout bylo využití mapových podkladů.



Obrázek 3-2 Google Maps

Pro využití mapy za účelem zobrazení a zakreslení polohy objektu, v mém případě letadla, na světové mapě, je na mapových podkladech OpenStreetMap Obrázek 3-1, příliš mnoho detailů v podobě barevného zvýraznění cest, polí, domů a dalších.

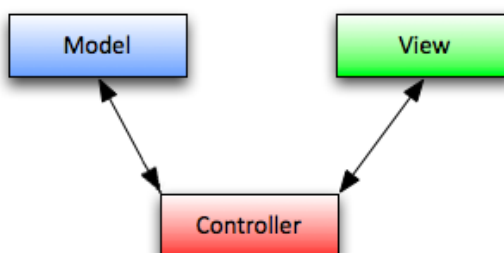
Pro prostý přehled o poloze letadla jsou přehlednější standardní mapové podklady Google Maps, které jsem se na základě těchto skutečností rozhodl použít.

## 3.2 Návrhový vzor

"Architektura MVC má jednu zajímavou vlastnost: základní ideje člověk pochopí během pár minut, ale plně proniknout do všech detailů může trvat měsíce i roky." [16] Model-view-controller (MVC) je jeden z nejpoužívanějších a nejobecnějších návrhových vzorů, který rozděljuje datový model aplikace, uživatelské rozhraní a řídicí logiku do tří nezávislých množin takovým způsobem, že modifikace některé z nich má jen minimální vliv na ostatní.

MVC se skládá ze tří částí:

1. Model (model) - představuje množinu informací, s nimiž daná aplikace pracuje. Obecně se tedy dá říct, že reprezentuje data, s nimiž aplikace pracuje (databáze, seznamy, pole).
2. View (pohled) - je pohled na model, který převádí data představená modelem do podoby, kterou je schopen uživatel vnímat a prezentovat.
3. Controller (řadič) - stojí mezi modelem a pohledem a zpracovává pokyny pocházející od uživatele a zajišťuje změny.



Obrázek 3-3 MVC návrhový vzor

Ve vytvářené aplikaci je Model reprezentován objektem *Data*, který zapouzdřuje načtená data ze souboru a ošetřuje jejich předání *Controlleru* ve správném formátu.

Při činnosti uživatele v GUI (View) se požadavek zpracuje v hlavní třídě *Mainwindow* (*Controller*) která pak za pomoci aktualizace dat z modelu upraví *View* – pohled pro uživatele.

Data nemohou přistupovat do *Controlleru* ani nijak komunikovat s *View*, neboť všechno zprostředkovává *Controller*.

Příklad komunikace:

Uživatel posune posuvník času → *Controller* dostane informaci od *View* o tom že byla změněna hodnota času a vyžádá si příslušná data z *Modelu* → *Model* vrátí požadovaná data *Controlleru* který je dále zpracuje a poté vyobrazí ve *View*.

## 3.3 Vizualizace dat

Vizualizace dat byla prováděna na základě dvou záznamů z letu, s přesně danou strukturou dat a možných proměnných faktorů. První řádek záznamu vždy představuje seznam parametrů oddělených středníkem a to v takovém pořadí, v jakém budou jejich údaje v tomto záznamu následovat. Další řádky jsou už údaje samotné. Jeden řádek činí vždy jednu hodnotu pro všechny údaje oddělené středníkem.

K vizualizaci záznamů z jakékoliv cesty či letu patří neodmyslitelně zobrazení trasy za pomoci GPS souřadnic na mapě. Ostatní údaje je však prakticky nemožné na mapě přehledně znázornit, jak pro svou kvantitu (více jak 25 různých parametrů), tak pro různorodost (např.: úhly, teplota, výška, rychlost, tlak). Proto jsem se snažil najít způsob, jak všechny parametry zobrazit a srozumitelně předat uživateli. Jednou z možností byla klasická tabulka, ovšem v situaci kdy záznamy obsahují tisíce, někdy i statisíce až miliony záznamů je prakticky nerealizovatelná. Jediným schůdným východiskem byl graf.

Pro tvorbu grafu přímo z dat jsou dostupné pouze knihovny realizující graf z funkcí, nikoli na základě dat samotných. Mým zadaným cílem bylo, aby aplikace byla schopna vytvořit graf přímo ze vstupních dat a zároveň by dovolila se zobrazením dále jednoduše manipulovat. Řešení tohoto problému jsem našel v návrhu vlastního vykreslování grafů. Na graf byly kladeny tyto požadavky:

1. Dynamická velikost grafu k velikosti okna.
2. Možnost přiblížení grafu.
3. Možnost v přiblíženém režimu graf procházet.
4. Zvýraznit/zobrazit místo aktuální pozice prvků na časové ose.
5. Možnost zobrazit více grafů najednou v jednom zobrazení.

## 4 Implementace

Tato část práce obsahuje popis vytvořeného programu a důležitá fakta k pochopení jeho funkcionality.

### 4.1 Prostředí vývoje

Práce byla vyvíjena a testována v operačních systémech Windows 7 Professional 64bit a Ubuntu 12.04 v multiplatformním vývojovém prostředí Qt Creator 2.4.1 na monitorech podporujících maximální rozlišení 1280x1024 a 1920x1080.

Qt Creator [17] je prostředí pro pohodlný a přehledný vývoj jak konzolové tak grafické aplikace v jazyce C++. Obsahuje editor kódu se zvýrazněním psané syntaxe a zabudovaným překladačem. Nechybí ani rozsáhlý vizualizační debugger. Dále má v sobě integrován jednoduchý návrhář grafického uživatelského prostředí, který podstatně urychluje práci při vkládání běžných grafických komponent.

### 4.2 Grafické uživatelské rozhraní

Návrh GUI<sup>5</sup> byl realizován s ohledem na použitelnost v praxi. Obsluha GUI by měla být intuitivní a jednoduchá nejen pro odborníky, ale i běžné uživatele, se zdůrazněním, aby vizuálně důležité ukazatele byly dostupné. Uživatel při zkoumání a sledování změn má všechny důležité informace v zorném poli a jednotlivé ovládače jsou dostatečně velké i pro dotykové ovládání.

Grafické rozhraní bylo vyvíjeno za pomoci vizualizačního editoru Qt Creator, vizuální úprava stylování se však prováděla ručně.

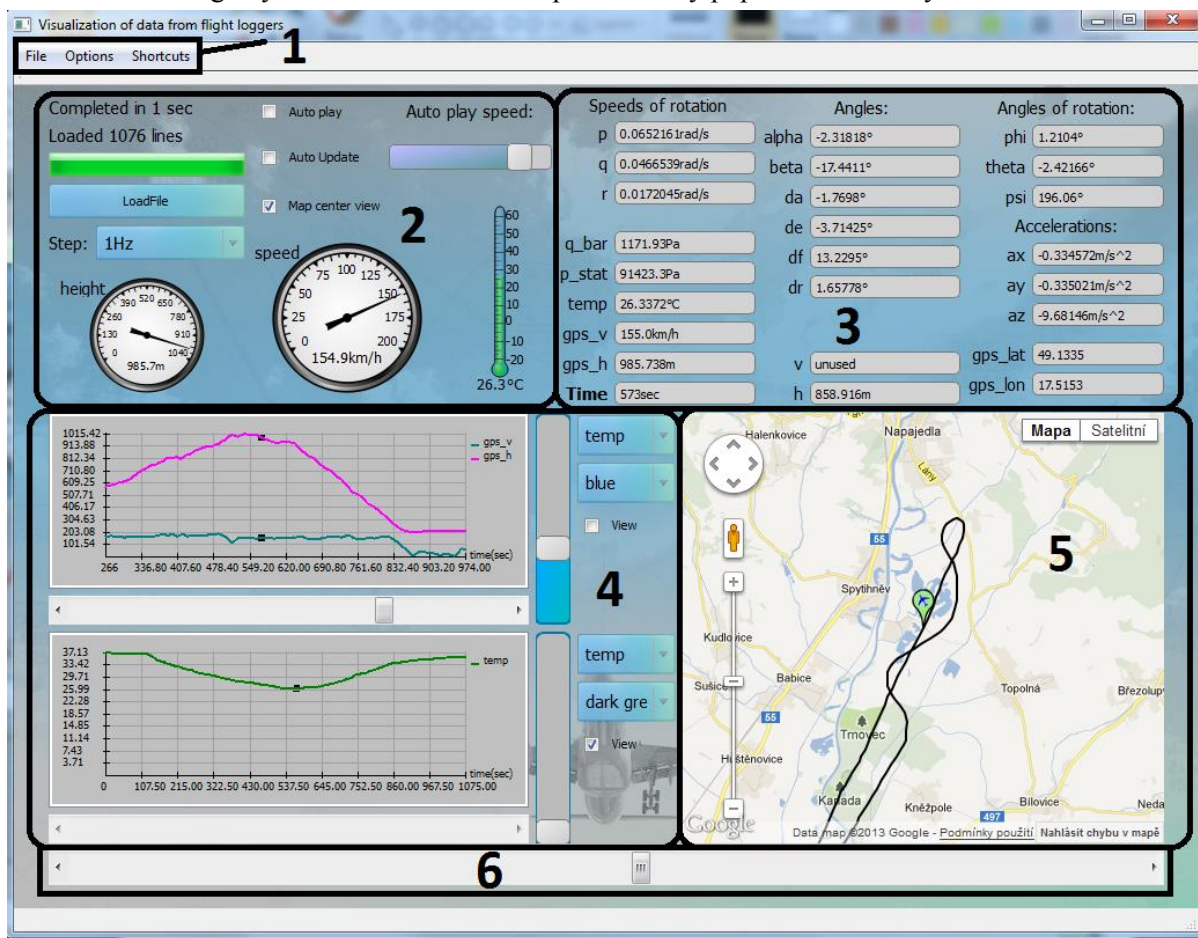
Ukázka kódu pro stylování *QLineEdit* představující buňky ve kterých se vypisují údaje:

```
QLineEdit{  
    border-width: 1px;  
    padding: 1px;  
    border-style: solid;  
    border-color: #777 ;  
    background-color: LightGray ;  
    border-radius: 5px;  
}
```

---

<sup>5</sup> Z anglického Graphical User Interface, volně přeloženo do češtiny Grafické Uživatelské prostředí.

Obrázek GUI s logickým rozdělením do celků pro následný popis funkcionality:



Obrázek 4-1 GUI aplikace 1024\*768

Prvním celkem je ovládací panel obsahující tři výsuvné lišty, vše s logicky nastavenými zkratkami pro pohodlnou a rychlou práci s programem.

Složka File, obsahuje volby pro zvolení souboru určeného k načtení, ruční aktualizaci právě načteného souboru a ukončení aplikace.

File	Options	Shortcuts
Open File		Ctrl+L
Update actual file		F5
Quit		Ctrl+Q

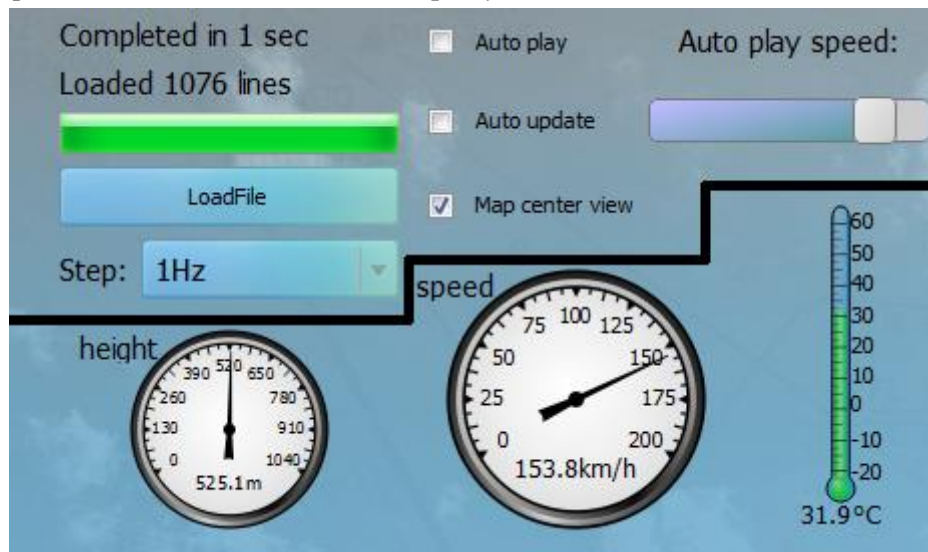
Složka Options, obsahuje volby pro zrychlení průchodů údaji za cenu vizuální kvality. Tyto možnosti jsou nejvíce potřebné při přesnosti 100 Hz a počtu údajů v záznamu větším než sto tisíc, kde je snížení rychlosti auto play, automatického procházení dat, nejcitelnější.

Options	Shortcuts
Maximized Repeat speed	R
Low graph redraw quality	E
Low graph accuracy	Q

Poslední složkou jsou klávesové zkratky usnadňující práci s programem během procházení údajů. Dovolují rychlou interakci při automatickém průchodu záznamem a dávají možnost pohodlného ručního doladění potřebného času a tím tak například najít vrchol v grafu či bodu zlomu

Shortcuts	
Auto play	Space
Auto play speed+	W
Auto play speed -	S
Backward by step	A
Forward by step	D

Druhou část aplikace tvoří ovládací a informační prvky.



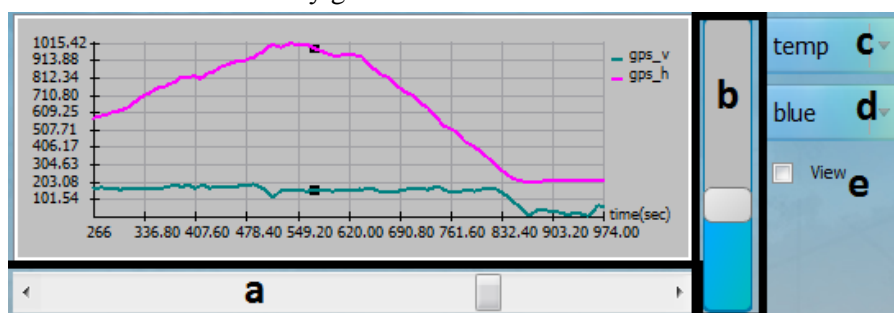
Obrázek 4-2 GUI část 2

- První dva řádky textu v levé oblasti jsou informační panely, zobrazují se zde informace o stavu načítání souboru, updatu souboru a počtu aktuálně načtených řádků.
- Zelený panel pod nimi slouží jako informační panel pro informaci o stavu při načítání souborů.
- LoadFile – Načtení nového souboru je nejpoužívanější tlačítko, pro urychlení práce je z lišty dáno i mezi hlavní prvky. Pod načtením je volba přesnosti v Hz, na výběr jsou hodnoty: 0,1 Hz, 1 Hz, 5 Hz, 10 Hz, 100 Hz.
- Tlačítko Auto play spouští automatické procházení údajů a posuvník auto play speed umožňuje volit rychlost procházení.
- Druhé zaškrtačkové tlačítko Auto update zapíná automatickou kontrolu právě otevřeného souboru. Při editaci právě načteného souboru, program načte řádky, které byly přidány.
- Zaškrtačkové tlačítko Map center view slouží pro ukotvení pohledu letadla na mapě. Pohled se tak bude centrovat na pozici letadla při každé změně polohy. Při vypnutí bude pohled statický, na mapě se však bude pohybovat ikonka letadla. Statický pohled značně urychluje auto play simulaci.

Třetí částí grafické aplikace jsou buňky s vypsáními hodnotami, ve zvýrazněném čase time.

Parametry, které v záznamu nebyly, jsou označeny „unused“

Čtvrtou část tvoří ovládací mechanismy grafu.



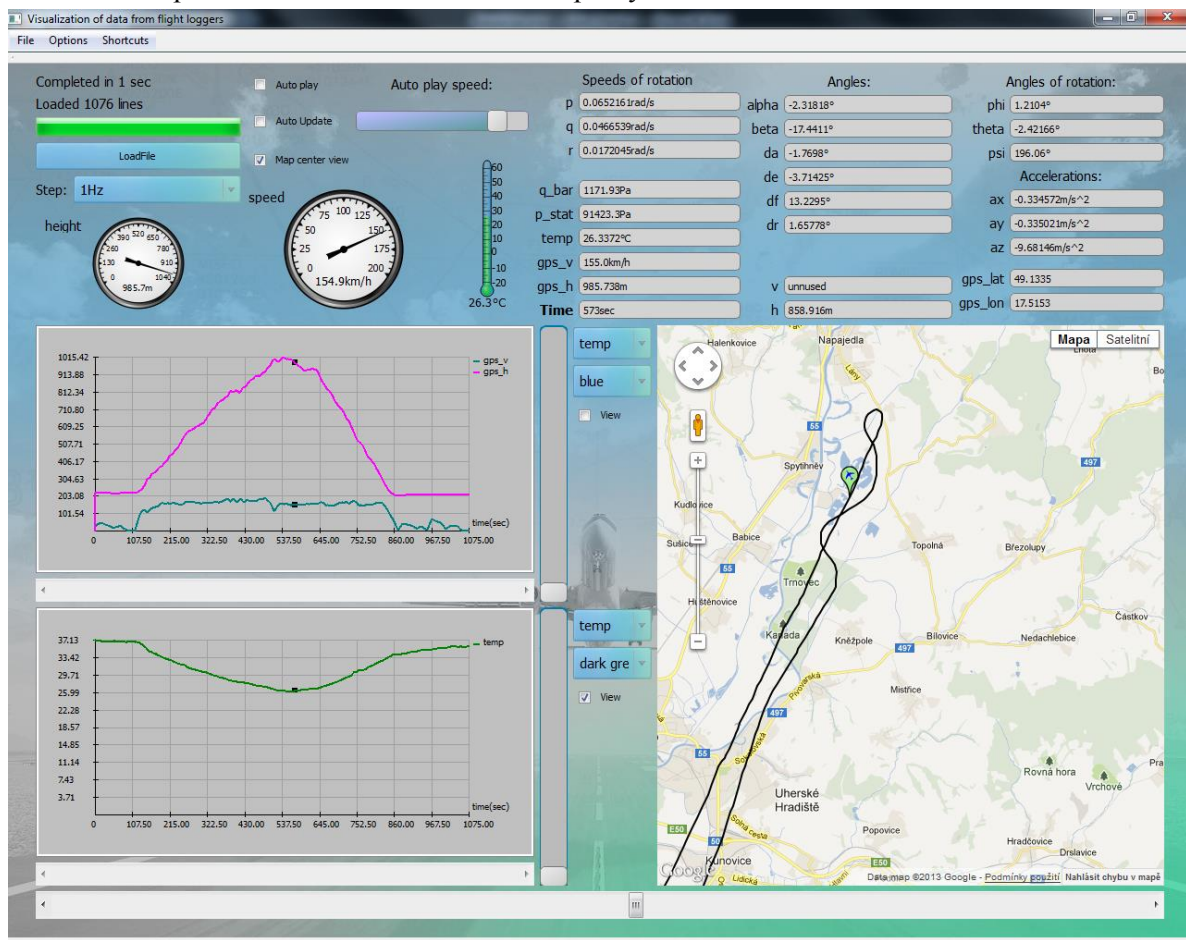
Obrázek 4-3 GUI část 4 graf

Tyto mechanismy jsem pro přehlednost na obrázku označil. Horizontální A a vertikální B posuvníky, slouží k pohybu v grafu. Posunem vertikálního posuvníku B nahoru se graf přibližuje, dolů pak oddaluje. Horizontálním posuvníkem A se můžeme v daném přiblížení v grafu pohybovat. Výsuvný combo box C slouží k volbě parametru, D pak změně barvy parametru. Pomocí zaškrtnutí E zvolíme, zda se má ve grafu zvolený parametr vykreslovat či nikoli. Totéž ovládání slouží i pro druhý graf který je vidět viz. Obrázek 4-1. Do obou grafů je možno vykreslit libovolné množství parametrů i na sobě nezávislých.

Pátým vizuálním prvkem GUI je mapa – ovládání je totožné tak, jak jej známe z webu, umožňuje změnu mapového podkladu na satelitní, terénní či standardní. Přiblížení a navigaci po mapě pomocí šipek či drag and drop<sup>6</sup>.

Největší horizontální posuvník pokrývající celou spodní část aplikace slouží k posunu času a tedy změně zobrazovaných údajů. Pomocí funkce auto play se začne sám posouvat.

Při změně okna aplikace, dojde k jejímu automatickému přizpůsobení včetně velikosti všech zobrazovacích prvků. Příklad rozložení ovládání při vyšším rozlišení:



Obrázek 4-4 GUI aplikace 1280\*1024

<sup>6</sup> Drag and drop – známý mechanismus, v našem případě lze zmáčknutím tlačítka myši „uchopit“ mapu a pohybem ji pak posouvat.

## 4.3 Načítání dat

Načítání dat je řešeno přes třídu *Data*. Pro načtení souboru slouží veřejná metoda *void LoadFile (QString file\_name, int interval, bool update)*.

1. *QString file* - parametry metody jsou řetězec představující cestu k souboru s daty,
2. *int interval* - přesnost s jakou se mají data načítat a
3. *bool update* - hodnota, zda jde o první načtení souboru či jeho aktualizaci.

Při zpracování se pak načítá každý řádek souboru, který se dále rozděluje dle oddělovače na tokeny<sup>7</sup>. Na prvním řádku dat se očekává hlavička, kde se každý token porovná s předdefinovanými vstupem. Vše probíhá v cyklu a není proto podstatné, v jakém pořadí jsou data v souboru uložena. Po načtení hlavičky se stejným způsobem procházejí další řádky a pomocí privátních *Setterů*<sup>8</sup> jsou data ukládána do pole s položkami typu *double*.

Velikost pole byla původně alokována na 10 000 položek a postupně zdvojnásobována bez omezení. Při načítání velkých souborů s daty obsahujícími řádově až miliony položek by se ale mohlo stát, že spotřeba RAM bude až neúměrně větší než počet načtených dat. Nyní je proto alokování řešeno počáteční hodnotou 1024 položek a při načítání dat se dle potřeby dynamicky zvětšuje o násobky čísla 2 až do velikosti  $1024^2 = 1\,048\,576$  položek. Při dosažení této hranice se velikosti pole dále zvětšuje po 1 048 576 položkách. Při načítání se zároveň ukládají informace o počtu načtených řádků a adresa posledního řádku a to všechno kvůli možnosti rychlého přístupu za účelem načtení nových dat.

Po načtení je k datům možno přistupovat pomocí *Getterů*<sup>9</sup> kde pro indexaci pole slouží čísla od 0 do *int GetLast()*. Návrátovou hodnotou této metody je číslo posledního řádku, čímž je zároveň ošetřena situace, kdy čas záznamů v datech nenavazuje a mohlo by tedy docházet k nekonečným smyčkám.

Pomocí veřejných *Getterů* je umožněno přistoupit k indexu posledního záznamu a také k metodě *void FreeMemory()*. Metoda *FreeMemory* se volá jak při korektním ukončení programu, tak i při jejím násilném ukončení. V tomto případě je odchycen *Close event* a před zavřením programu je paměť validně uvolněna.

Největším problémem, který se vyskytl při testování, byla rychlost načítání dat a jejich následné zpracování (např. zobrazení grafů a map). Proto byl přidán parametr *Interval*, který říká, kolik řádků se má při načtení každé další položky přeskočit. Hodnoty intervalu byly zvoleny na základě přesnosti vstupních dat, které měly četnost záznamů 100Hz a tedy sto záznamů za sekundu.

---

<sup>7</sup> Token – objekt reprezentující konkrétní hodnotu, v tomto případě reprezentující číslo nebo název údaje bez mezer a oddělený o středníky.

<sup>8</sup> Setter – funkce *SetData* kde *Data* představují název parametru. Funkce slouží k validnímu uložení načtených dat příslušného parametru.

<sup>9</sup> Getter – funkce *GetData* kde *Data* představují název parametru. Funkce slouží k validnímu načtení dat příslušného parametru.

## 4.4 Google Maps API

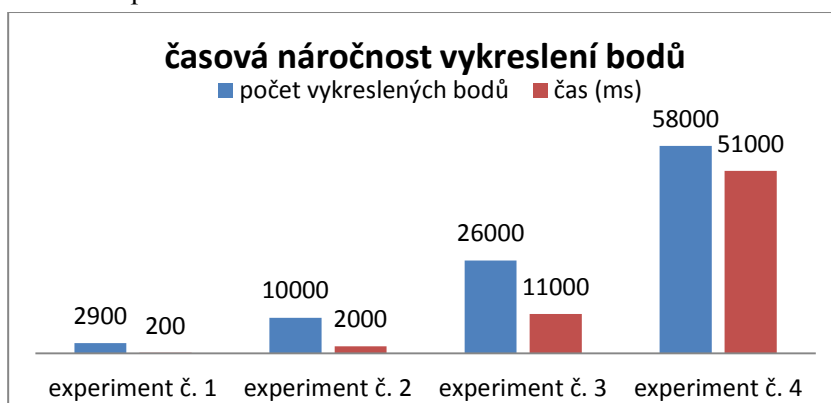
Pro vizuálně přehledné zobrazení GPS souřadnic jsem jako nejvhodnější metodu vybral zobrazení cesty na mapě v podobě trasy za pomoci Google Maps JavaScript API v3 [16].

API je v C++ zobrazována pomocí třídy QWebView [18] umožňující plnohodnotné zobrazení webové stránky.

Jedním ze zdrojových souborů je *google\_maps.html* obsahující vložení javascriptu s Google Maps API a její inicializací. Při následné manipulaci s QWebView se do ní zasílají příkazy ve formátu textového řetězce a pomocí metody `evaluateJavaScript` zavolanou nad QWebView se vyhodnotí.

```
QString str = QString("marker.setPosition( new google.maps.LatLng(%1,%2));").arg(x).arg(y);  
ui->QWebView->page()->currentFrame()->documentElement().evaluateJavaScript(str);
```

Při vykreslování dráhy letu bylo experimentováním zjištěno exponenciální navýšení časové náročnosti v závislosti na počtu bodů:



Obrázek 4-5 graf zobrazující časovou náročnost počtu vykreslovaných bodů na mapě

Po zvážení časové náročnosti a přesnosti vykreslené dráhy jsem cíleným experimentováním došel ke stanovení limitu počtu vykreslených bodů na mapě na 10 000 bodů. Tato přesnost je pro vizuální přehled o dráze letu dostatečná.

Při pohybu po časové ose se na mapě posouvá ukazatel aktuální polohy letadla. Tento ukazatel není limitován a zastupuje přesnou pozici GPS souřadnic.

## 4.5 Vykreslování grafů

Vykreslování grafu se skládá z více částí, které jsou na sobě navzájem závislé a budou popsány v následujících podkapitolách společně s vysvětlením vlastností grafu a principu volby přesnosti. Jsou to:

1. vypočítání okrajů zobrazení a vykreslení mřížky s popisky,
2. vykreslení zobrazených čar,
3. vykreslení aktuálního bodu,
4. vlastnosti grafu a volba přesnosti.

Na začátku je důležité si definovat a vysvětlit jisté pojmy a metody, které budu dále v textu používat:

1. *grid* – Přehledná mřížka vyznačující polohy hodnot os x a y v grafu.
2. *grafické okno* – Okno v grafickém uživatelském rozhraní umožňující zobrazení 0 až N grafů.
3. *výška a šířka grafického okna* – Číselně reprezentované proměnné hodnoty závislé na aktuálním rozlišení okna programu.
4. *výška a šířka vykreslovacího okna* – Výška grafického okna vynásobená konstantou 0,8 a šířka grafického okna vynásobená konstantou 0,75 za účelem vytvoření tzv. okrajů grafického okna pro přehledné zobrazení.
5. *int view* – Parametr všech následujících hlavních metod, kterým je číselná reprezentace grafického okna, pro které se zobrazení počítá.

Veškeré věci, které budou dále popisovány, se vykreslují na plátno *QGraphicsScene model*, které se na konci každé metody zobrazí v *QGraphicsView* – v grafickém okně které vidí uživatel.

### 4.5.1 Výpočet okrajů zobrazení a vykreslení mřížky

Klíčovou metodou pro zobrazení grafu je *void MakeReadyToDraw(int view)*. Volá se při načtení souboru a každé výrazné změně ať už měřítka, přiblížení nebo rozlišení okna celé obrazovky. Na jejím začátku se vždy vymaže plátno.

Její hlavním cílem je v cyklu pro každé grafické okno projít všechny data zvolená k vykreslení a zjistit jejich minimální (*Ymin*) a maximální (*Ymax*) hodnoty na ose Y ve zvoleném časovém intervalu.

Časový interval je zvolen za pomoci posuvníků viz. Obrázek 4-3. Po zjištění minimálních a maximálních hodnot všech vykreslovaných dat v daném grafickém okně je vykreslena mřížka v cyklu o deseti průchodech = *i*, ve kterém se grafické vykreslovací okno rozdělí na mřížku 10 x 10 a doplní se o hodnoty os X a Y.

$$x = \frac{\text{šířka vykreslovacího okna}}{10} * i$$

(4.1)

$$y = -\frac{\text{výška vykreslovacího okna}}{10} * i \quad (4.2)$$

Hodnoty na ose Y se vypočítají pomocí nalezené maximální hodnoty Ymax, která se podělí deseti a násobí cyklem i.

$$x_i = \left(\frac{x_{max}}{10}\right) * i + x_{min} \quad (4.3)$$

$$y_i = -\left(\frac{y_{max}}{10}\right) * i \quad (4.4)$$

Osa X má vzorec totožný, avšak k výsledku se přičte hodnota Xmin čímž daný interval dostává možnost se posouvat po celé délce časové osy v závislosti na přiblížení Obrázek 4-3, platí však podmínka že Xmin musí být nebo rovna nule a zároveň menší nebo rovna Xmax.

čímž je zaručeno, že jakkoliv velký interval při posunu po ose X nikdy nepřesáhne její konec.

Velikost textu grafu je nastavena na velikost:

$$\text{velikost písma} = (int)5 + \frac{\text{výška} + \text{šířka grafického vykreslovacího okna}}{100} \quad (4.5)$$

Při základním rozlišení aplikace 1024\*768 má grafického okno rozlišení 150 x 400.

Z těchto informací jsme schopní dosazením do vzorce (4.5) vypočítat velikost písma.

**Tabulka 4 Příklad velikostí písma grafu u standardizovaných rozlišení.**

<b>Rozlišení:</b>	<b>Velikost písma:</b>
<b>1024 x 768</b>	10
<b>1280 x 1024</b>	12
<b>1920 x 1080</b>	15

## 4.5.2 Vykreslení dat

Metoda pro vykreslování dat do grafu se jmenuje `void DrawGraph(int view)`. Tato metoda u dat zvolených k vykreslení, zakreslí do grafu legendu s popiskem a typem čáry. Dále provede smyčku zajišťující vykreslení grafu pro data dle zadané přesnosti a zvoleného přiblížení.

$$x_i = \frac{((time_i - posunuti\_osy\_x * meřitko) * širka\_vykreslovacího\_grafického\_okna) / x_{max}}{meřitko} \quad (4.6)$$

$$y_i = -hodnota\_osy\_y_i * výška\_vykreslovacího\_grafického\_okna / y_{max} \quad (4.7)$$

Při prvním řešení se při každém průchodu počítaly ještě body  $x_{i-1}$  a  $y_{i-1}$  a pomocí metody `AddLine` se při každém průchodu nakreslila jedna čára na plátno a po vykreslení všech čar u všech grafů se model zobrazil v `QGraphicsView`. Tato metoda se později při testování ukázala jako velice neefektivní a čas potřebný pro vykreslení 25-ti grafů o deseti tisíci bodech se pohyboval mezi 20-ti až 25-ti sekundami, což bylo při simulaci naprosto nepřijatelné.

Proto jsem přistoupil k maximální hranici vykreslovaných bodů a to k číslu 1000. Toto číslo bylo zvoleno na základě výsledků testování a je naprosto vyhovující skrze zobrazovací schopnosti monitorů a pozorovací schopnosti lidského oka. Při přiblížení grafu se počet zobrazovaných bodů nemění, a tudíž se s přiblížením zpřesňuje i zobrazení bodů.

Při zavedení omezení maximálního zobrazení bodů se čas potřebný pro vykreslení 25-ti grafů snížil na 7 – 10sec. Což bylo o poznání lepší, ovšem pro účely naprosto nepoužitelné.

Aktuálně je vykreslování bodů řešeno pomocí funkce `QPainterPath`, do které se postupně přidají souřadnice všech bodů, a výsledná křivka grafu se vloží na plátno. Pomocí této metody se tedy na plátno přidá nanejvýš 25 křivek. Místo předchozího vykreslování  $25 * 1000 = 25\,000$  přímek propojujících body

Aktuálně trvá vykreslení 25-ti přímek s 1000 body ~65ms a s nižší přesností 100 bodů ~50ms.

### 4.5.3 Vykreslení aktuálního bodu

Metoda `void DrawPosition(int view)` je volána při každé změně aktuální pozice a zajišťuje překreslení zvýrazněných bodů v grafu.

Vzorec pro výpočet bodu je totožný s rovnicemi (4.6) a (4.7) s tím rozdílem, že zde není index  $i$ , ale pouze jedna aktuální zobrazovaná hodnota. Vykreslení pouze bodů zabere čas  $\sim 1$  ms. Při překreslování bodů při pohybu po časové ose však občas dochází k zanechání zbytkových částí bodu v okolí vykreslené čáry. Z tohoto důvodu se přibližně jednou z pěti průchodů volá i metoda `MakeReadyToDraw`, která přemaže celé plátno. Nevýhodou však je vyšší čas potřebný pro vykreslení celého plátna.

Při četnosti záznamů 1sec a 10sec zpomalení není patrné, při vyšší četnosti je však automatické procházení značně zpomaleno. Pro navýšení výkonu je přidána volba *Low graph redraw speed*, která sníží volání metody `MakeReadyToDraw` zhruba 50krát.

# 5 Testování a další vývoj

V této části se budu věnovat vytvoření sady testovacích souborů k zjištění chyb a minimálních a maximálních hranic vytvořené aplikace.

## 5.1.1 Vytvoření testovací sady

K vytvoření aplikace, byly dány k dispozici dva záznamy letu. V následujícím textu budou označovány jako Data A a Data B.

Z těchto záznamů budou pomocí modifikace a konkatence<sup>10</sup> vytvářeny testovací soubory.

Pro názornost hardwarové náročnosti budou u některých testů uvedeny délky časů načítání ze dvou přístrojů.

Přístroj 1: CPU Intel Core 2Duo T8300 2.4 (2CPUs) 4GB RAM DDR2

Přístroj 2: CPU Intel Core i7-3612QM (8CPUs) 8GM RAM DDR3

Test č. 1:

Načtení prázdného souboru.

Test č. 2:

Soubor obsahující pouze první řádek s hlavičkou bez dat.

Test č. 3:

Soubor obsahující pouze jeden řádek dat.

Test č. 4:

Čtvrtým testem je soubor Data\_A s vymazaným prvním řádkem obsahujícím hlavičku.

Test č. 5:

Soubor Data\_A s poškozenou hlavičkou. Hlavička byla ručně znehodnocena, některé parametry upraveny, či smazány, údaje zůstaly nezhodnoceny.

Testy č. 6 a 7

Tyto dva testy využijí vstupních souborů, které jsem měl k dispozici pro testování. Bude na nich zobrazen počet načtených údajů a délka času potřebná pro načtení.

Test č. 8:

Osmý test je zaměřen na zjištění správnosti alokování paměti, pomocí několikanásobné konkatence vstupních souborů Data\_A a Data\_B. Výsledkem je testovací soubor Max\_A o velikosti 3,9 GB, obsahující 5 024 932 řádků odpovídající počtům záznamu z letu trvajících 14 hodin.

---

<sup>10</sup> Konkatence – zřetězení, neboli spojení dvou či více řetězců do jednoho

Test č. 9:

Vzhledem k úspěšnosti testu č. 8 byl vytvořen ještě jeden testovací soubor Max\_B o velikosti 6,32 GB, obsahující 8 137 310 řádků.

## 5.2 Výsledky testování:

Test č. 1:

Načtení prázdného souboru.

Program informoval o tom, že v souboru nejsou žádná platná data pro načtení.

Test č. 2:

Soubor obsahující pouze první řádek s hlavičkou.

Program se zachoval stejně jako v testu č. 1.

Test č. 3:

Soubor obsahující pouze jeden jediný řádek.

Byl korektně načten, ovšem bez možnosti zobrazení grafu.

Test č. 4:

Čtvrtým testem je soubor Data\_A s vymazaným prvním řádkem obsahujícím hlavičku.

Program se zachoval stejně jako v případech č. 1 a 2.

Test č. 5:

Soubor Data\_A s poškozenou hlavičkou.

Program ze souboru načetl parametry, které nebyly pozměněny. Pozměněné parametry jsou označeny za nepoužité.

V případě, že je smazán jeden parametr a na jeho místě ponechány pouze středníky jako oddělovače, viz. příklad záznamu:

```
t;ax;ay;;da;df
```

```
0;1;2;3;4;5
```

Program dva středníky nevyhodnotí jako pozici parametru a data pod tímto místem tedy náleží parametru, který následuje. V případě příkladu bude první údaj v parametru *da* číslo 3, nikoli 4.

Test č. 6:

Data\_A (83 MB) obsahující 107 570 řádků o přibližné délce letu 18minut.

Tabulka 5 Data\_A

<b>Přesnost</b>	<b>Počet načtených údajů</b>	<b>Čas načtení přístrojem č. 1</b>	<b>Čas načtení přístrojem č. 2</b>
<b>0,1 Hz</b>	108	2 sec	1 sec
<b>1 Hz</b>	1 076	2 sec	1 sec
<b>5 Hz</b>	2 152	2 sec	1 sec
<b>10 Hz</b>	10 757	6 sec	2 sec
<b>100 Hz</b>	107 569	8 sec	4 sec

Test č. 7:

Data\_B (450 MB) obsahující 579 790 řádků o přibližné délce letu 1hod. 36minut.

Tabulka 6 Data\_B

<b>Přesnost</b>	<b>Počet načtených údajů</b>	<b>Čas načtení přístrojem č. 1</b>	<b>Čas načtení přístrojem č. 2</b>
<b>0,1 Hz</b>	580	7 sec	4 sec
<b>1 Hz</b>	5 798	8 sec	5 sec
<b>5 Hz</b>	11 596	12 sec	7 sec
<b>10 Hz</b>	57 979	13 sec	8 sec
<b>100 Hz</b>	579 789	20 sec	14 sec

Z testů č. 6 a 7 je patrné, že výkon počítače, má velký vliv na rychlost načítání záznamů.

Test č. 8:

Testovací soubor (3,9 GB) obsahující 5 024 933 řádků odpovídající počtům údajů z letu trvajícíchho ~14 hodin.

Tabulka 7 Max\_A

<b>Přesnost</b>	<b>Počet načtených údajů</b>	<b>Čas načtení přístrojem č. 1</b>	<b>Čas načtení přístrojem č. 2</b>
<b>0,1 Hz</b>	5 025	1 min 42 sec	42 sec
<b>1 Hz</b>	50 250	1 min 45 sec	44 sec
<b>5 Hz</b>	100 499	1 min 50 sec	45 sec
<b>10 Hz</b>	502 494	2 min 05 sec	54 sec
<b>100 Hz</b>	5 024 932	2 min 25 sec	1 min 10 sec

Test č. 9:

Testovací soubor (6,32 GB) obsahující 8 137 309 řádků odpovídající počtům záznamu z letu trvajícího 23 hodin

**Tabulka 8 Max\_B**

<b>Přesnost</b>	<b>Počet načtených údajů</b>	<b>Čas načtení přístrojem č. 1</b>	<b>Čas načtení přístrojem č. 2</b>
<b>0,1 Hz</b>	8138	2 min 11 sec	1 min 19 sec
<b>1 Hz</b>	81 374	2 min 21 sec	1 min 35 sec
<b>5 Hz</b>	162 747	2 min 30 sec	1 min 31 sec
<b>10 Hz</b>	813 731	2 min 45 sec	1 min 40 sec
<b>100 Hz</b>	0	CHYBA	CHYBA

Z testů je patrné, že program v rámci validních vstupů pracuje korektně.

Načítání záznamů však může zabrat při velkém počtu položek delší čas, jak znázorňuje viz. Tabulka 5 Data\_A a Tabulka 6 Data\_B.

Při testu č. 5 došlo k nekorektnímu načtení některých dat, tato situace by však v praxi neměla nastat.

Ukázalo se také, že záznam přesahující délku 14-ti hodin letu, se může potýkat s problémy při načítání s největší přesností 100 Hz. Čtrnáct hodin záznamu letu však není běžná hodnota. Letoun, ze kterého jsou testovací údaje očekávány, dokáže na plnou palivovou nádrž uletět maximálně ~8hodin.

V případě že se data nepovede načíst pro příliš mnoho záznamů, je možné je načíst s menší přesností 10Hz. Při této přesnosti lze načíst teoreticky až 140 hodin záznamu. Pravděpodobnost, že záznam bude dosahovat ~50 miliónů řádků, což odpovídá 140-ti hodinám letu se 100 Hz četností, je v praxi málo reálná.

## 6 Závěr

Výsledkem odborné studie, je grafická aplikace, která je schopna všechny načtené údaje předat uživateli do takové podoby, ve které je schopen vizualizované údaje dále posuzovat a vyhodnocovat bez nutnosti použití dalších pomůcek. Aplikace je funkční a splňuje všechny na ni kladené požadavky. Při testování byla zjištěna omezení maximálního počtu načtených řádků. Omezení však dvojnásobně převyšují technické možnosti letadla a i v případě jejich dosažení, je možnost soubor načíst s menší frekvencí záznamů. Zmíněné omezení by nemělo způsobovat nemožnost zpracování záznamu.

Ve své práci jsem zmapoval informace o letových zapisovačích, včetně platných předpisů, vydaných Mezinárodní organizací pro civilní letectví (ICAO) a popsal jsem možnosti dostupných letových zapisovačů.

Aplikace může být v projektu TAČR TA 01010678 „Chytrý autopilot“ využívána pro analýzu záznamů z výzkumné zapisovací jednotky.

### 6.1 Možnosti rozšíření a dalšího vývoje

Aplikaci je možné dále rozvíjet. Vývoj by se mohl ubírat jednak zdokonalením zobrazovacích mechanismů na mapě, např. vytvoření vizualizace letu pomocí Google Earth. Nebo by se dal do aplikace dále přidat 3D akcelerovaný model vizualizující úhly a natočení letadla a klapky. V úvahu připadá i možnost zpracovat na zobrazování offline mapy. Mimo vylepšení zobrazovacích metod a technik by se mohla aplikace také upravit pro načítání všeobecných typů dat, automatického rozpoznávání některých typů parametrů (GPS) případně ručního zvolení. Tímto by se aplikace mohla používat i na běžné záznamy ať k zobrazování map - GPS trasy lodí, pěší, aut či libovolných dopravních prostředků. Také je možnost, posuzovat libovolná zaznamenaná data, která mají strukturu tabulky a porovnávat je v prostředí grafů. U načítání dat, by se daly najít i vhodnější mechanismy pro rychlejší načítání záznamů s více jak milionem položek. Jednou z alternativ je načítání dat po blocích, které umožní procházení dat po částech.

Závěrem byl dodán návrh na praktické rozšíření sloužící pro stahování dat pomocí SCP / FTP přenosu přímo ze záznamové jednotky.

# Literatura

- [1] MOTYKOVÁ, V. *Návrh Národní politiky systému hlášení leteckých nehod a incidentů*. Brno: 2008. Diplomová práce. Vysoké Učení Technické v Brně, Fakulta Strojního Inženýrství, Letecký ústav. Dostupné také z: [http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=6083](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=6083)
- [2] URBÁNEK, V. IATA: Poptávka po osobní přepravě v r.2012 rostla o 5,3%. In: *kurzy.cz* [online]. Dostupné také z: <http://zpravy.kurzy.cz/346462-iata-poptavka-po-osobni-preprave-v-r-2012-rostla-o-5-3/>
- [3] TYLER, T. IATA annual review 2012. In: *www.iata.org* [online]. 2012. Dostupné také z: <http://www.iata.org/about/Documents/annual-review-2012.pdf>
- [4] čj. 35/2012--220-SP/2. *Doplňěk 9 - Letové zapisovače*. Ministerstvo dopravy ČR, 2012. Dostupné také z: <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-6/L-6i/data/effective/Dopl9.pdf>
- [5] JUKES, M. *Progress in Astronautics and Aeronautics*. Volume 204. Reston, VA 20191-4344 USA: American Institute of Aeronautics and Astronautics. ISBN 1-56347-657-6.
- [6] SportStar RTC. *Evektor-Aerotechnik* [online]. Dostupné také z: <http://www.evektoraircraft.com/cs/letadla/sportstar-rtc/uvod>
- [7] *Rotax 912iS Engine Management Unit and Cockpit Display Unit*. RS Aerotech, Ltd. 2012. Dostupné také z: [http://www.rs-aerotech.com/tl\\_files/downloads/emu912is\\_downloads/Documents/EMU912iS\\_Presentation.pdf](http://www.rs-aerotech.com/tl_files/downloads/emu912is_downloads/Documents/EMU912iS_Presentation.pdf)
- [8] *TS-83 Wi-Fi / USB Module* [Installation / User Manual]. Dostupné také z: <http://www.trutrakap.com/documents/TS-83%20Rev%20C.pdf>
- [9] iMonitor EMS. In: *TruTrak Flight Systems* [online]. Dostupné také z: <http://www.trutrakflightsystems.com/products/iMonitorEMShelp.html>
- [10] ŽAHOUREK, J. *Návrh a vybudování sítě bodů podrobného polohového bodového pole metodou geodetickou a GPS*. Diplomová práce. Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská Fakulta, Katedra krajinného managementu. Dostupné také z: <http://theses.cz/id/tjsf84/Zahourek.pdf>
- [11] In: *wiki.geocaching.cz* [online]. Dostupné také z: <http://wiki.geocaching.cz/wiki/WGS-84>
- [12] Education and Outreach - Tutorial: Elevation Correction and the Geoid. In: *Unavco* [online]. Dostupné také z: [http://www.unavco.org/edu\\_outreach/tutorial/elevation.html](http://www.unavco.org/edu_outreach/tutorial/elevation.html)

- [13] RAO. *Global Navigation Satellite Systems*. 2010. Tata McGraw-Hill Education, 478 s.. 1259083829, 9781259083822. Dostupné také z: [http://books.google.cz/books?id=WpiHre7LPDEC&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&ad=0](http://books.google.cz/books?id=WpiHre7LPDEC&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbs_ge_summary_r&ad=0)
- [14] Google Maps JavaScript API v3. In: *developers google* [online]. Dostupné také z: <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/?hl=cs>
- [15] API v0.6. In: *wiki.openstreetmap.org* [online]. Dostupné také z: [http://wiki.openstreetmap.org/wiki/API\\_v0.6](http://wiki.openstreetmap.org/wiki/API_v0.6)
- [16] In: *Uvod do architektury MVC* [online]. Dostupné také z: <http://www.zdrojak.cz/clanky/uvod-do-architektury-mvc/>
- [17] Qt Creator. In: *Qt Project* [online]. Dostupné také z: <http://qt-project.org/wiki/Category:Tools:QtCreator>
- [18] Developer Library. In: *Nokia 1.2 Developer Documentation* [online]. Dostupné také z: <http://harmattan-dev.nokia.com/docs/library/html/qt4/qwebview.html>

# Seznam příloh

Příloha A	Obsah CD
Příloha B	Tabulka A9 - 1
Příloha C	Tabulka A9 – 3

## **Příloha A: Obsah CD**

K bakalářské práci je přiloženo CD s obsahem:

- Src – adresář zdrojových souborů
- Doxy – adresář s vygenerovanou programovou dokumentací pomocí nástroje Doxygen.
- Bin – adresář přeložené aplikace s potřebnými knihovnami pro běh.
- Text technické zprávy ve formátu pdf a docx.

# Příloha B: Tabulka A9-1

Tabulka 9 popisující povinné a doporučené parametry zapisovačů třídy FDR, část první.

DOPLNĚK 9

PŘEDPIS L 6/I

TABULKA – A9-1

Poradenský materiál k parametrům zapisovaných zapisovači letových údajů chráněných před nárazem

Poř. číslo	Parametr	Rozsah měření	Maximální interval vzorkování a záznamu [s]	Meze přesnosti (vstup na snímáči v porovnání s přepisem FDR)	Záznamové rozlišení
1	Čas (UTC, je-li dostupný, jinak vypočtený relativní čas nebo synchronizovaný čas GPS)	24 hodin	4	± 0,125 % za hod	1 s
2	Tlaková nadmořská výška	- 300 m (- 1000 ft) do maximálního schváleného dostupu letadla + 1500 m (+ 5000 ft)	1	± 30 m až ± 200 m (± 100 ft až ± 700 ft)	1,5 m (5 ft)
3	Indikovaná nebo kalibrovaná rychlost letu	95 km/h (50 kt) do maximální $V_{SO}$ (Pozn. 1) $V_{SO}$ do $\frac{1}{2} V_d$ (Pozn. 2)	1	± 5 % ± 3 %	1 kt (0,5 kt doporučeno)
4	Kurz (základní reference zobrazená letové posádce)	360°	1	± 2°	0,5°
5	Normátové zrychlení (Pozn. 3)	- 3 g až + 6 g	0,125	± 1 % maximálního rozsahu kromě chyby výchozího údaje ± 5 %	0,004 g
6	Podélný sklon	± 75° nebo použitelný rozsah, podle toho co je větší	0,25	± 2°	0,5°
7	Příčný sklon	± 180°	0,25	± 2°	0,5°
8	Klíčování rádiového vysílání	zapnuto-vypnuto (1 diskretní)	1		
9	Výkon každého motoru (Pozn. 4)	celý rozsah	1 (na každý motor)	± 2 %	0,2 % celého rozsahu nebo rozlišení požadované pro provoz letadla
10*	Klapka na odtokové hraně a nastavení ovladače v pilotním prostoru	celý rozsah nebo každá diskretní poloha	2	± 5 % nebo jako ukazatel pilota	0,5 % celého rozsahu nebo rozlišení požadované pro provoz letadla
11*	Klapka na náběžné hraně a nastavení ovladače v pilotním prostoru	celý rozsah nebo každá diskretní poloha	2	± 5 % nebo jako ukazatel pilota	0,5 % celého rozsahu nebo rozlišení požadované pro provoz letadla
12*	Poloha obraceče tahu	zastavený, mezipoloha při přestavování a revers	1 (na každý motor)		
13*	Výběr rušiče vztlaku / aerodynamických brzd (výběr a poloha)	celý rozsah nebo každá diskretní poloha	1	± 2 % pokud není výhradně požadována větší přesnost	0,2 % celého rozsahu
14	Teplota venkovního vzduchu	rozsah snímáče	2	± 2 °C	0,3 °C
15*	Režim a stav zapojení autopilota/ automatického tahu/ AFCS	vhodné kombinace diskretních hodnot	1		
16	Podélné zrychlení (Pozn. 3)	± 1 g	0,25	± 0,015 g maximální rozsahu kromě 0,05 g chyby výchozího údaje	0,004 g
<i>Poznámka: Předchozích 16 parametrů splňuje požadavky pro FDR Typu II.</i>					
17	Příčné zrychlení (Pozn. 3)	± 1 g	0,25	± 0,015 g maximální rozsahu kromě 0,05 g chyby výchozího údaje	0,004 g
18	Zásahy pilota a/nebo poloha řídicích ploch – hlavní řídidla (klopení, klonění, zatáčení) (Pozn. 5) (Pozn. 6)	celý rozsah	0,25	± 2 % pokud není požadována větší přesnost	0,2 % celého rozsahu nebo dle zástavby
19	Poloha trimu klopení	celý rozsah	1	± 3 % pokud není požadována větší přesnost	0,3 % celého rozsahu nebo dle zástavby

Tabulka 10 popisující povinné a doporučené parametry letových zapisovačů typu FDR, část druhá.

Poř. číslo	Parametr	Rozsah měření	Maximální interval vzorkování a záznamu [s]	Meze přesnosti (vstup na snímači v porovnání s přepisem FDR)	Záznamové rozlišení
20*	Výška podle radiovýškoměru	- 6 m do 750 m (- 20 ft do 2500 ft)	1	$\pm 0,6$ m ( $\pm 2$ ft) nebo $\pm 3$ % podle toho co je větší pod 150 m (500 ft) a $\pm 5$ % nad 150 m (500 ft)	0,3 m (1 ft) pod výškou 150 m (500 ft) 0,3 m (1 ft) + 0,5 % celého rozsahu nad výškou 150 m (500 ft)
21*	Odchylka od vertikálního paprsku (ILS/GPS/GLS sestupová rovina, MLS nadmořská výška, IRNAV/IAN vertikální odchylka)	rozsah signálu	1	$\pm 3$ %	0,3 % celého rozsahu
22*	Odchylka od horizontálního paprsku (kurzový maják ILS/GPS/GLS, MLS azimut, IRNAV/IAN odchylka v příčném směru)	rozsah signálu	1	$\pm 3$ %	0,3 % celého rozsahu
23	Přelet návěstidla	diskrétní	1		
24	Hlavní výstraha	diskrétní	1		
25	Nastavení kmitočtu každého NAV přijímače (Pozn. 7)	celý rozsah	4	v závislosti na zástavbě	
26*	Údaj o vzdálenosti DME 1 a DME 2 (včetně vzdálenosti k prahu dráhy (DLS) a vzdálenosti k bodu nezdařeného přiblížení (IRNAV/IAN)) zn. 7 a 8)	0 – 370 km (0 – 200 NM)	4	v závislosti na zástavbě	1852 m (1 NM)
27	Stav vzduch/země	diskrétní	1		
28*	Stav GPWS/TAWS/GCAS (výběr módu zobrazení terénu, včetně pop-up zobrazení) a (výstrahy při přiblížení k terénu, a to jak upozornění, tak varování a povely) a (poloha spínače zapnuto/vypnuto)	diskrétní	1		
29*	Úhel náběhu	celý rozsah	0,5	v závislosti na zástavbě	0,3 % celého rozsahu
30*	Hydraulika, každý systém (nízký tlak)	diskrétní	2		0,5 % celého rozsahu
31*	Navigační údaje (zeměpisná šířka/délka, traťová rychlost a úhel snosu) (Pozn. 9)	v závislosti na zástavbě	1	v závislosti na zástavbě	
32*	Poloha přistávacího zařízení a jeho ovladače	diskrétní	4	v závislosti na zástavbě	
<i>Poznámka: Předchozích 32 parametrů splňuje požadavky pro FDR Typu I.</i>					
33*	Traťová rychlost	v závislosti na zástavbě	1	údaje by měly být odečítány z nejpřesnějšího systému	1 kt
34	Brzdy (brzdny tlak v levé a pravé brzdě, poloha levého a pravého brzdového pedálu)	maximální měřitelný rozsah brzd, diskretní nebo celý rozsah	1	$\pm 5$ %	2 % celého rozsahu
35*	Doplňující parametry motoru (EPR, $N_1$ , indikovaná hladina vibrací, $N_2$ , EGT, TLA, průtok paliva, poloha ovladače uzavření paliva, $N_3$ )	v závislosti na zástavbě	Každý motor, každou sekundu	v závislosti na zástavbě	2 % celého rozsahu
36*	TCAS/ACAS (Provozní/Palubní výstražný protisrážkový systém)	diskrétně	1	v závislosti na zástavbě	
37*	Výstraha na stříh větru	diskrétně	1	v závislosti na zástavbě	
38*	Nastavení barometrického výškoměru (velitel letadla a druhý pilot)	v závislosti na zástavbě	64	v závislosti na zástavbě	0,1 mb (0,01 in-Hg)
39*	Nastavení nadmořské výšky (všechny pilotem volitelné provozní režimy)	v závislosti na zástavbě	1	v závislosti na zástavbě	dostatečné k tomu, aby se určilo nastavení posádkou
40*	Nastavení rychlosti (všechny pilotem volitelné provozní režimy)	v závislosti na zástavbě	1	v závislosti na zástavbě	dostatečné k tomu, aby se určilo nastavení posádkou

Tabulka 11 popisující povinné a doporučené parametry letových zapisovačů typu FDR, část třetí.

Poř. číslo	Parametr	Rozsah měření	Maximální interval vzorkování a záznamu [s]	Meze přesnosti (vstup na snímači v porovnání s přepisem FDR)	Záznamové rozlišení
41*	Nastavení Machova čísla (všechny pilotem volitelné provozní režimy)	v závislosti na zástavbě	1	v závislosti na zástavbě	dostatečné k tomu, aby se určilo nastavení posádkou
42*	Nastavení vertikální rychlosti (všechny pilotem volitelné provozní režimy)	v závislosti na zástavbě	1	v závislosti na zástavbě	dostatečné k tomu, aby se určilo nastavení posádkou
43*	Nastavení kurzu (všechny pilotem volitelné provozní režimy)	v závislosti na zástavbě	1	v závislosti na zástavbě	dostatečné k tomu, aby se určilo nastavení posádkou
44*	Nastavení dráhy letu (všechny pilotem volitelné provozní režimy) (kurz/DSTRK, úhel dráhy letu, dráha konečného přiblížení (IRNAV/IAN))		1	v závislosti na zástavbě	
45*	Nastavení výšky rozhodnutí	v závislosti na zástavbě	64	v závislosti na zástavbě	dostatečné k tomu, aby se určilo nastavení posádkou
46*	Režim zobrazení EFIS (velitel letadla a druhý pilot)	diskrétní	4	v závislosti na zástavbě	
47*	Režim zobrazení na multifunkčním/ motorovém/ signalizačním displeji	diskrétní	4	v závislosti na zástavbě	
48*	Funkční stav AC sběrnice elektrické energie	diskrétní	4	v závislosti na zástavbě	
49*	Funkční stav DC sběrnice elektrické energie	diskrétní	4	v závislosti na zástavbě	
50*	Poloha odpouštěcího ventilu motoru	diskrétní	4	v závislosti na zástavbě	
51*	Poloha odpouštěcího ventilu APU	diskrétní	4	v závislosti na zástavbě	
52*	Porucha počítače	diskrétní	4	v závislosti na zástavbě	
53*	Ovládání tahu motoru	v závislosti na zástavbě	2	v závislosti na zástavbě	2 % celého rozsahu
54*	Požadovaný tah motoru	v závislosti na zástavbě	4	v závislosti na zástavbě	2 % celého rozsahu
55*	Vypočtená poloha těžiště	v závislosti na zástavbě	64	v závislosti na zástavbě	1 % celého rozsahu
56*	Množství paliva ve vyvažovací nádrži v těžišti	v závislosti na zástavbě	64	v závislosti na zástavbě	1 % celého rozsahu
57*	Použití HUD	v závislosti na zástavbě	4	v závislosti na zástavbě	
58*	Zapnutí/vypnutí průhledového zobrazovače	v závislosti na zástavbě	1	v závislosti na zástavbě	
59*	Ochrana proti přetažení, mechanický vibrátor a aktivace potlačení	v závislosti na zástavbě	1	v závislosti na zástavbě	
60*	Údaje základních navigačních systémů (GNSS, INS, VOR/DME, MLS, Loran C, ILS)	v závislosti na zástavbě	4	v závislosti na zástavbě	
61*	Detekce námrazy	v závislosti na zástavbě	4	v závislosti na zástavbě	
62*	Výstraha vibrací u každého motoru	v závislosti na zástavbě	1	v závislosti na zástavbě	
63*	Výstraha na překročení teplot u každého motoru	v závislosti na zástavbě	1	v závislosti na zástavbě	
64*	Výstraha na nízký tlak oleje u každého motoru	v závislosti na zástavbě	1	v závislosti na zástavbě	
65*	Výstraha na překročení otáček u každého motoru	v závislosti na zástavbě	1	v závislosti na zástavbě	
66*	Poloha trimu směrového kormidla	celý rozsah	2	± 3 %, pokud není výhradně požadována vyšší přesnost	0,3 % celého rozsahu
67*	Poloha trimu příčného náklonu	celý rozsah	2	± 3 %, pokud není výhradně požadována vyšší přesnost	0,3 % celého rozsahu

Tabulka 12 popisující povinné a doporučené parametry letových zapisovačů typu FDR, část čtvrtá.

Poř. číslo	Parametr	Rozsah měření	Maximální interval vzorkování a záznamu [s]	Meze přesnosti (vstup na snímači v porovnání s přepisem FDR)	Záznamové rozlišení
68*	Úhel azimutu nebo úhel snosu	celý rozsah	1	± 5 %	0,5°
69*	Nastavení systému odmrázování a/nebo systému proti námraze	diskrétní	4		
70*	Hydraulický tlak (každý systém)	celý rozsah	2	± 5 %	100 psi
71*	Ztráta přetlaku v kabině	diskrétní	1		
72*	Vstupní poloha nastavení palubního ovladače trimu kormidel pro podélný sklon	celý rozsah	1	± 5 %	0,2 % celého rozsahu nebo dle zástavby
73*	Vstupní poloha nastavení palubního ovladače trimu kormidel pro příčný náklon	celý rozsah	1	± 5 %	0,2 % celého rozsahu nebo dle zástavby
74*	Vstupní poloha nastavení palubního ovladače trimu směrového kormidla	celý rozsah	1	± 5 %	0,2 % celého rozsahu nebo dle zástavby
75*	Všechny síly působící na řídidla v pilotním prostoru (volant řízení, sloupek řízení, pedály směrového kormidla)	celý rozsah (± 311 N (± 70 lbf), ± 378 N (± 85 lbf), ± 734 N (± 165 lbf))	1	± 5 %	0,2 % celého rozsahu nebo dle zástavby
76*	Značka pro označení události	diskrétní	1		
77*	Časové údaje	365 dní	64		
78*	ANP nebo EPE nebo EPU	v závislosti na zástavbě	4	v závislosti na zástavbě	

Poznámka: Předchozích 78 parametrů splňuje požadavky pro FDR Typu IA.

# Příloha C: Tabulka A9-3

Tabulka 13 popisující povinné (E) a doporučené (R) parametry letových zapisovačů třídy ADRS.

PŘEDPIS L 6/I

DOPLNĚK 9

**TABULKA A9-3**  
Poradenský materiál k parametrům zapisovaných systémy záznamu údajů letadla

Poř. číslo	Název parametru	Kategorie parametru	Minimální rozsah záznamu	Maximální interval záznamu [s]	Minimální přesnost záznamu	Minimální rozlišení záznamu	Poznámky
1	Kurz (magnetický nebo skutečný)	R*	± 180°	1	± 2°	0,5°	* není-li dostupný, zaznamenejte rychlost
2	Podélný sklon	E*	± 90°	0,25	± 2°	0,5°	* není-li dostupný, zaznamenejte rychlost
3	Příčný náklon	E*	± 180°	0,25	± 2°	0,5°	* není-li dostupný, zaznamenejte rychlost
4	Rychlost zatáčení	E*	± 300°/s	0,25	± 1 % + snos 360°/hod.	2°/s	* povinný, není-li dostupný kurz
5	Rychlost klopení	E*	± 300°/s	0,25	± 1 % + snos 360°/hod.	2°/s	* povinný, není-li dostupný kurz
6	Rychlost klonění	E*	± 300°/s	0,25	± 1 % + snos 360°/hod.	2°/s	* povinný, není-li dostupný kurz
7	Navigační systém: zeměpisná šířka/délka	E	Šířka: ± 90° Délka: ± 180°	2 (1 je-li to možné)	v závislosti na zástavbě (doporučeno 0,00015°)	0,00005°	
8	Navigační systém: odhadovaná chyba	E*	Dostupný rozsah	2 (1 je-li to možné)	v závislosti na zástavbě	v závislosti na zástavbě	* je-li dostupný
9	Navigační systém: nadmořská výška	E	-300 m (-1000 ft) až maximální schválená nadmořská výška dosažitelná letounem + 1500 m (5000 ft)	2 (1 je-li to možné)	v závislosti na zástavbě (doporučeno ± 15 m (± 50 ft))	1,5 m (5 ft)	
10	Navigační systém: Cas*	E	24 hodin	1	± 0,5 s	0,1 s	*je-li dostupný, upřednostňuje se UTC
11	Navigační systém: traťová rychlost	E	0 – 1000 kt	2 (1 je-li to možné)	v závislosti na zástavbě (doporučeno ± 5 kt)	1 kt	
12	Navigační systém: pásmo	E	0 – 360°	2 (1 je-li to možné)	v závislosti na zástavbě (doporučeno ± 2°)	0,5°	
13	Normálové zrychlení	E	- 3 g až + 6 g (*)	0,25 (0,125 je-li to možné)	v závislosti na zástavbě (doporučeno ± 0,09 g, kromě ± 0,45 g referenční chyby)	0,004 g	
14	Podélné zrychlení	E	± 1 g (*)	0,25 (0,125 je-li to možné)	v závislosti na zástavbě (doporučeno ± 0,015 g, kromě ± 0,05 g referenční chyby)	0,004 g	
15	Příčné zrychlení	E	± 1 g (*)	0,25 (0,125 je-li to možné)	v závislosti na zástavbě (doporučeno ± 0,015 g, kromě ± 0,05 g referenční chyby)	0,004 g	
16	Vnější statický tlak (nebo tlaková nadmořská výška)	R	34,4 mb (3,44 in-Hg) až 310,2 mb (31,02 in-Hg) nebo dostupný rozsah snímače	1	v závislosti na zástavbě (doporučeno ± 1 mb (0,1 in-hg) nebo ± 30 m (± 100 ft) až ± 210 m (± 700 ft) – viz tabulka II-A.2)	0,1 mb (0,01 in-hg) nebo 1,5 m (5 ft)	
17	Teplota vnějšího vzduchu (celková teplota vzduchu)	R	- 50 °C až + 90 °C nebo dostupný rozsah snímače	2	v závislosti na zástavbě (doporuč. ± 2 °C)	1 °C	

10.4.2012