



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Pavel Brodský

**Technická příručka letového simulátoru Beechcraft  
na ČVUT**

Diplomová práce

**2017**



**K621..... Ústav letecké dopravy**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Pavel Brodský**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**N 3710 – PL – Provoz a řízení letecké dopravy**

Název tématu (česky): **Technická příručka letového simulátoru Beechcraft na ČVUT**

Název tématu (anglicky): **Technical Handbook of the CTU's Beechcraft Flight Simulator**

**Zásady pro vypracování**

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

- Popis legislativy vztahující se k Zařízením pro výcvik pomocí letové simulace
- Popis použitých softwarových a hardwarových technologií v simulátoru a instrukce k jejich údržbě
- Možnosti dalšího vývoje simulátoru
- Finanční analýza a porovnání s komerčními organizacemi
- Doporučení k provozu na základě vykonané analýzy

Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího diplomové práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: EASA: CS-FSTD(A)  
Předpis L-8168  
Flight Manual For Raytheon Beechcraft B58 Baron,  
Version B1, Seneca College School of Aviation

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

Datum zadání diplomové práce: **30. června 2016**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

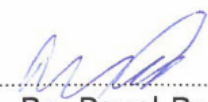
Datum odevzdání diplomové práce: **30. května 2017**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

  
.....  
doc. Ing. Stanislav Szabo, PhD. MBA  
vedoucí  
Ústavu letecké dopravy



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

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

  
.....  
Bc. Pavel Brodský  
jméno a podpis studenta

V Praze dne ..... 30. června 2016

## Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytnuli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji Ing. Bc. Jakubu Hospodkovi, Ph.D. za odborné vedení a konzultování diplomové práce a za rady, které mi poskytoval po celou dobu mého studia a dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Janu Krámkovi za konzultaci týkající se pohledu ÚCL na danou problematiku.

V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat svým rodičům a blízkým za morální a materiální podporu, které se mi dostávali po celou dobu studia.

## Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou za 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 dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

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

V Praze dne 11. května 2017



.....



# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

## Technická příručka letového simulátoru Beechcraft na ČVUT

diplomová práce  
duben 2017  
Pavel Brodský

### **ABSTRAKT**

Předmětem diplomové práce „Technická příručka letového simulátoru Beechcraft na ČVUT“ je vytvořit ucelenou dokumentaci pro provoz, údržbu a další rozvoj dvoupilotního IFR simulátoru Beechcraft na Fakultě dopravní, o který jsem se po dobu studia staral, a na jehož stavbě jsem se podílel. Dále je předmětem analýza současné legislativy týkající se profesionálních simulátorů a jejich certifikace, a rozvaha o možnosti budoucí certifikace školního simulátoru pro výcvik pilotů.

Klíčová slova: Letový simulátor, EASA, výcvik pilotů, IFR

### **ABSTRACT**

The subject of the diploma thesis „Technical handbook of the CTU's Beechcraft flight simulator“ is to create a comprehensive documentation for operating, maintenance and further development of a two-pilot IFR simulator Beechcraft at Faculty of Transportation Sciences, which I have been maintaining and co-building during my studies. Another subject is an analysis of the current regulations regarding professional simulators and their certification and a deliberation about the possibility to certify the university simulator for pilot training.

Key words: Flight simulator, EASA, pilot training, IFR



## Obsah

Obsah .....	5
1 Seznam použitých zkratk .....	9
2 Úvod .....	11
3 Simulátor Beechcraft na Fakultě dopravní .....	12
4 Software simulátoru Beechcraft .....	13
4.1 Letový simulátor .....	13
4.2 GNSS navigace .....	13
4.3 EICAS displej .....	15
4.4 LUA skripty .....	15
4.4.1 Skript CVUT_EICAS.lua .....	16
4.4.2 Skript CVUT_systems.lua .....	17
5 Hardware simulátoru Beechcraft .....	18
5.1 Počítač simulátoru .....	18
5.2 Letové a navigační přístroje .....	20
5.2.1 Výškoměry .....	20
5.2.2 Indikátory VOR .....	21
5.2.3 Ostatní letové a navigační přístroje .....	24
5.3 Panely na pedestalu značky Goflight .....	24
5.4 Autopilot Bendix/King a rozhraní FSBUS .....	25
5.4.1 Software FSBUS .....	27
5.5 Hlasový komunikační systém .....	29
5.6 Vstupní rozhraní .....	29
5.6.1 Karta BBI-32 .....	30
5.6.2 Karta BU0836 .....	30
5.7 Napájení simulátoru .....	31
5.8 Automatické spouštění simulátoru .....	32
6 Řešení známých problémů .....	36



6.1	Výměna potenciometrů v pedálech .....	36
6.2	Výměna potenciometrů v ovládní motorů .....	36
6.3	Poruchy přístrojů.....	36
6.4	Problémy s LED displeji autopilotu.....	38
7	Instruktorská stanice .....	39
8	iPady pilotů – Electronic Flight Bag.....	40
9	Analýza možnosti certifikace školního simulátoru .....	41
9.1	Předpisová základna.....	41
9.1.1	CS-FSTD(A) .....	41
9.1.2	Nařízení (EU) č. 1178/2011 .....	41
9.2	Analýza technických parametrů školního simulátoru pro účely certifikace .....	42
9.2.1	Požadavky pro MCC výcvik .....	42
9.2.2	Technické požadavky pro FNPT II MCC a BITD .....	43
9.3	Výsledek analýzy technických požadavků.....	45
9.4	Transportní zpoždění .....	45
9.5	Návrh řešení úprav simulátoru .....	46
9.5.1	Palubní přístroje.....	46
9.5.2	Primární řízení .....	48
9.6	Vizualizace .....	50
9.7	Další vybavení kokpitu .....	51
9.7.1	Jističe .....	51
9.7.2	Panel přetlakování a kyslíkové masky s interkomem .....	52
9.7.3	Požární systém.....	54
9.8	Postup při certifikaci FNPT II MCC.....	55
9.9	Zachování osvědčení způsobilosti FSTD .....	56
9.10	Požadavky na organizaci provozující FSTD .....	57
9.11	Modifikace FSTD .....	57
9.12	Vedení záznamů.....	57
10	Ekonomická analýza dostupných možností certifikace simulátoru .....	58

10.1	Přestavba na BITD .....	58
10.2	Přestavba na FNPT II MCC .....	59
10.3	Stavba nového FNPT II MCC.....	60
10.3.1	Výběr typu letounu.....	60
10.3.2	Projekt stavby simulátoru založeného na typu King Air.....	61
10.3.3	Přibližný rozpočet pro stavbu simulátoru založeného na typu King Air.....	63
10.4	Zakoupení hotového FNPT II MCC .....	64
10.5	Vyčíslení finančních úspor při využívání trenažerů při výcviku .....	64
11	Závěr.....	66
12	Zdroje informací .....	68
13	Příloha 1 – sekvence automatického spouštění simulátoru v programu VistaTask.....	69



## 1 Seznam použitých zkratek

AIRAC	Aeronautical Information Regulation and Control
ATPL	Airline Transport Pilot License
BIOS	Basic Input-Output System
BITD	Basic Instrument Training Device
CDI	Course Deviation Indicator
CMS	Compliance Monitoring System
CPL	Commercial Pilot License
EASA	European Aviation Safety Agency
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
EHSI	Electronic Horizontal Situation Indicator
EICAS	Engine Indicating and Crew Alerting System
EFB	Electronic Flight Bag
FAA	Federal Aviation Administration
FNPT	Flight and Navigation Procedures Trainer
FSTD	Flight Simulation Training Device
FSX	Flight Simulator X
GPS	Global Positioning System
GNSS	Global Navigation Satellite System
HID	Human Interface Device
HSI	Horizontal Situation Indicator
HW	Hardware
IFR	Instrument Flight Rules
IR	Instrument Rating
LCD	Liquid-crystal Display
LED	Light-Emitting Diode
LPV	Localizer Performance with Vertical Guidance
MCC	Multi Crew Co-operation
OBS	Omni Bearing Selector
PPL	Private Pilot License
PTT	Push To Talk
PWM	Pulse Width Modulation

QTG	Qualification Test Guide
RNAV	Area navigation
SLI	Scalable Link Interface
SMD	Surface Mount Device
SSD	Solid-state Drive
SW	Software
ÚCL	Úřad pro civilní letectví
USB	Universal Serial Bus

## 2 Úvod

V mé diplomové práci se chci zaměřit na letové simulátory, jejich legislativu a podmínky certifikace. Cílem mé práce je vytvoření technické příručky pro provoz, údržbu a další rozvoj školního simulátoru, a vytvoření rozvahy o možnosti jeho budoucí certifikace dle předpisů EASA tak, aby byl využitelný pro výcvik pilotů.

Dále bych se rád zaměřil na vytvoření doporučení, jestli je vhodnější certifikovat současný školní simulátor po náležitých úpravách, postavit a certifikovat simulátor jiný, nebo zakoupit již hotové komerční řešení simulátoru.

Předpisy týkající se dané problematiky odkazované v této práci se týkají evropských provozovatelů podléhajících EASA. Situace v zemích podléhajících FAA se může lišit a nebude popisována v této práci.

### 3 Simulátor Beechcraft na Fakultě dopravní

V době zpracování této diplomové práce (jaro 2017) se na Fakultě dopravní nachází dva letové simulátory. Jedná se o starší a jednodušší jednopilotní simulátor letounu Cessna 182 postavený studenty Fakulty dopravní v letech 2004 až 2005, a novější dvoupilotní simulátor dvoumotorového letounu poháněného pístovými motory, inspirovaný letounem Beechcraft Baron 58. Simulátor Cessny 182 nebude v této práci řešen. Druhý simulátor bude pro jednoduchost nazýván Simulátorem Beechcraftu, ačkoliv se jedná spíše o generický design kokpitu.

Stavba simulátoru Beechcraftu byla zahájena studenty Fakulty dopravní v roce 2013. K dokončení simulátoru došlo v roce 2014. V současné době je simulátor plně provozuschopný a je využíván především pro výuku přístrojové navigace studentů pilotních i obecných leteckých oborů Ústavu letecké dopravy a pro výzkumné účely.

## 4 Software simulátoru Beechcraft

### 4.1 Letový simulátor

Počítač letového simulátoru běží na systému Windows 7 64bit. Využití novějšího operačního systému v principu možné je, ale některé programy vyvinuté specificky pro školní simulátor byly testovány pouze v prostředí Windows 7.

O simulaci letového modelu, vizualizaci a logiku systémů se stará program Microsoft Flight Simulator X (DVD edice) – dále jen FSX. V současném stavu není možné využívat jiný simulační software, jelikož limitujícím faktorem je zde simulace Garmin GNS 530W od společnosti RealityXP, která je v současné verzi kompatibilní pouze s FSX – nikoliv s novější FSX Steam (Microsoft Flight Simulator X distribuovaný prostřednictvím herního distribučního systému Steam společnosti Valve Corporation). Taktéž využívání simulátoru Prepar3D (který vznikl postupným vývojem jádra FSX společností Lockheed Martin) není možné kvůli nekompatibilitě s RealityXP Garmin GNS 530W. Pokud by v budoucnu byl plánován přechod na Prepar3D, bylo by nutné pro simulaci navigace využít produkt Flight1 Tech G530, což je obdoba RealityXP produktu, která je ovšem kompatibilní i s Prepar3D a FSX Steam, nebo na novější navigaci GTN 750, taktéž v distribuci společnosti Flight1 Tech.

### 4.2 GNSS navigace

Záhy po zahájení stavby simulátoru bylo rozhodnuto o nutnosti vybavit simulátor zařízením schopným RNAV. Jako vhodná předloha bylo vybráno zařízení Garmin GNS 530W, díky dostupnosti hardware od společnosti Emuteq. Tento hardware obsahuje obrazovku (technologicky se jedná o malý LCD monitor s VGA vstupem) a ovládací prvky navigace (tlačítka a otočné enkodéry, technologicky vyřešené jako USB herní zařízení).

Softwarově bylo v době stavby simulátoru k dispozici několik řešení simulujících navigaci Garmin GNS530W

- Mindstar Aviation GNS 530
- RealityXP GNS 530W XP
- Flight1 Tech G530

Nejprve byla zakoupena licence na Mindstar Aviation GNS 530. Tato simulace byla naprogramována od základu společností Mindstar. Díky tomu používala zvlášť zakoupenou navigační databázi řádově v ceně desítek dolarů ročně. Nevýhodou bylo, že simulace nebyla úplně přesná a v konzultaci s originálními manuály Garmin bylo zaznamenáno několik



odlišností a chyb. Nejvýznamnějším nedostatkem byla absence vertikálního vedení při příslušných přiblíženích.

S ohledem na výše uvedené nevýhody bylo po roce provozu rozhodnuto o přechodu na simulaci RealityXP. Společnosti RealityXP neprogramovala celou simulaci od základu znovu, ale pouze implementovala oficiální výukový program (Trainer) od společnosti Garmin do prostředí letového simulátoru. Díky tomu je veškerá logika a uživatelské rozhraní zcela shodné se skutečnou jednotkou GNS530W, jelikož se jedná o firmware této jednotky běžící uměle pod systémem Windows a přijímající data z Microsoft Flight Simulatoru. Jistá komplikace zde nastala ohledně navigační databáze – Trainer od Garminu využívá shodnou navigační databázi, jako skutečná navigace. Jednou z možností je její zakoupení prostřednictvím Garminu (roční předplatné s aktualizací v souladu s cykly AIRAC každých 28 dní řádově v ceně stovek dolarů ročně, v závislosti na zvoleném pokrytí), což bylo ale s ohledem na rozpočet simulátoru vyhodnoceno jako nevhodné. Jako vhodný zdroj navigační databáze se začaly jevit bezplatné Trainery společnosti Garmin distribuované na webových stránkách společnosti. Sice již několik let nejsou vydávány Trainery k již nevyráběné navigaci GNS 530W, nicméně nyní jsou k dispozici Trainery k moderní navigaci GTN 650/750, které soubor s navigační databází (worldwide.bin) obsahovaly. Tyto trainery vycházely několikrát do roka, a nebyl problém z nich tento soubor zkopírovat do složky našeho Traineru GNS530W, databáze byly vzájemně kompatibilní. Bohužel koncem roku 2016 přešla firma Garmin na novou verzi Traineru GTN 650/750, která již využívá jiný formát navigační databáze, který není kompatibilní s trainerem GNS 530W. Díky tomu jsme od této doby navigační databázi neaktualizovali.

Navigace od firmy Flight1 Tech je principiálně shodná s RealityXP – taktéž se jedná o skutečný Trainer adaptovaný do Flight Simulatoru – rozdíl je pouze ten, že se jedná o modernější vydání, tudíž je kompatibilní i s Microsoft Flight Simulátorem ze Steam edice, případně s Prepar3D. Navigace Flight1 Tech byla vydána až po zprovoznění školního simulátoru, tudíž jsme jí nevybrali. Kdyby v budoucnu bylo nutné přejít na Prepar3D, jedná se o vhodný způsob vyřešení navigace. Problém s navigační databází je avšak stejný, jako s produktem RealityXP.

Možná řešení této situace jsou buď zakoupit každoročně poměrně drahé předplatné navigační databáze od Garminu, nebo přechod na navigaci GTN 750. Navigaci GTN 750 nabízí taktéž firma Flight1 Tech formou Garmin Traineru pro letový simulátor, avšak jelikož tento Trainer pravidelně vychází několikrát do roka aktualizovaný na webové stránce Garminu, je zde k dispozici aktuální navigační databáze přibližně 4x do roka. Problémem je, že zatím v době psaní této diplomové práce, žádná firma nenabízí hardwarovou část navigace – dotykový displej a ovládací prvky.

### 4.3 EICAS displej

Na středovém monitoru je vytvořena indikace motorových a drakových přístrojů. Grafika je inspirována systémem EICAS použitým v letounu Evektor EV-55, avšak je upravena pro indikaci hodnot měřených na pístových motorech. Indikace vztlakových klapek, vyvážení a signalizační tablo jsou fiktivní. Celý displej je naprogramován jako přístroj („Gauge“) uvnitř simulátoru FSX ve formátu XML (následně zkompileován do .cab pomocí Flight Simulator X Software Development Kit). V případě přechodu na Prepar3D by jej pravděpodobně bylo možné přenést bez výraznějších úprav. Avšak s jinou architekturou simulátoru (X-Plane) není tento displej použitelný. V případě budoucího přechodu na X-Plane, by bylo nutno celý displej vyřešit jinak (například jej vytvořit znovu v program Air Manager společnosti Sim Innovations).

### 4.4 LUA skripty

Microsoft Flight Simulator bez dalšího obslužného software nabízí ve své nabídce Options – Controls možnost nastavit osy a tlačítka joysticků pro ovládání základních vstupů (řízení letadla, základní ovládání autopilotu a některých přístrojů, a obsluha prostředí simulátoru). Celkový počet dostupných položek je ale nízký, což vedlo autora FSUIPC, Angličana Pete Dowsona, k tvorbě rozhraní, ve kterém uživatelé mohou nastavit vstupy k podstatně většímu množství prvků, spolu s jejich parametry (křivky průběhu výchylek řízení, akce, které se mají stát při uvolnění tlačítka, základní logické operace...). Nicméně ani FSUIPC neposkytuje dostatek flexibility pro přiřazení akcí vlastnímu hardware, který má ovládat vlastní části simulačního software, nad rámec základní logiky Microsoft Flight Simulatoru. Proto bylo FSUIPC rozšířeno o možnost skriptování v jazyce LUA tak, aby bylo možné vytvořit zcela libovolný počet vstupů a vlastní logiku ovládající vlastní proměnné.

Skripty jsou umístěny ve složce ...\\Microsoft Flight Simulator X\\Modules jako jednotlivé soubory s příponou .lua. V téže složce je i konfigurační soubor FSUIPC.ini (ve kterém je celá konfigurace rozhraní FSUIPC), který v sekci [LuaFiles] obsahuje seznam dostupných LUA skriptů, a v sekci [Auto] obsahuje odkazy na ty skripty, které mají být spuštěny automaticky po spuštění simulátoru.

V případě školního simulátoru se ve složce Modules nachází čtyři LUA skripty:

- CVUT\_EICAS.lua ovládající spínače stopek a záložního umělého horizontu s flight directorem zobrazené na displeji EICAS a drobné hardwarové vstupy, které nemají vlastní SW ovladač (spínač parkovací brzdy a výhřev karburátoru levého a pravého motoru)

- CVUT\_systems.lua ovládající spínače pravého alternátoru a výhřevu vrtulí na panelu Goflight
- CVUT\_gauges.lua – skript používaný při přestavbě indikátorů VOR – v současné době není využíván, ale je nechán pro případnou budoucí potřebu ladění
- PBtest.lua – skript používaný pro rychlé vypisování proměnných při řešení problémů, v současné době není využíván

Konkrétní používání rozhraní FSUIPC pro spolupráci s LUA skripty je popsáno v dokumentaci FSUIPC, která se nachází ve složce Modules\FSUIPC Documents, spolu s příklady LUA skriptů.

#### 4.4.1 Skript CVUT\_EICAS.lua

Důležitá poznámka – aby libovolný LUA skript mohl číst vstupy příslušného joysticku (v našem případě karty typu Leo Bodnar, viz kapitola Hardware), musí být alespoň jeden vstup této karty přiřazen přímo přes FSUIPC (v grafickém okně Flight Simulatoru nabídka Add-ons, položka FSUIPC).

Skript CVUT\_EICAS.lua čte vstupy z joystick karty BBI-32. Tudiž v nabídce Add-Ons a okně FSUIPC je jeden libovolný vstup této karty přiřazen nějaké akci, která ve školním simulátoru není využívána (takže FSUIPC naváže spojení s BBI-32 kartou, kterou následně mohou používat LUA skripty, ale prakticky nedojde k žádné viditelné akci). V případě školního simulátoru byl jeden náhodný vstup karty BBI-32 nastaven na ovládání tlačítka systému Garmin G1000, který ve školním simulátoru není, tudíž ničemu nevadí. Více o této problematice je rozvedeno v originální dokumentaci FSUIPC.

Skript běží cyklicky a velmi jednoduše. Na začátku každého cyklu načte aktuálně aktivované vstupy na kartě BBI-32 a uloží je do proměnných buttonXXon, kde XX odpovídá pořadovému číslu daného vstupu.

Následně skript podle stavu spínačů stopek (proměnné button27on a button29on) zapíše 1 nebo 0 do proměnných „Running1“ a „Running2“, jestli stopky 1 (respektive stopky 2) běží. Pokud jsou aktivní proměnné button26on a button28on, znamená to, že je vypínač stopek držen v poloze RESET, pak skript přepíše proměnnou TotalRunning příslušných stopek na 0.

Na stejném principu skript testuje aktivaci spínačů záložního umělého horizontu (button32on), flight directoru na tomto horizontu (button31on), parkovací brzdy (button30on) a výhřevu levého (button24on) a pravého (button25on) karburátoru. Podle stavu těchto spínačů skript zapisuje 1 nebo 0 do proměnných PFDavlbl, 2EE0, 0BC8, 08B2 a 094A (pořadí proměnných v tomto textu odpovídá dříve uvedenému pořadí testovaných spínačů).

#### 4.4.2 Skript CVUT\_systems.lua

Tento skript řeší problém, kdy mapovací software firmy Goflight neumožňuje k spínačům na příslušných panelech nastavit všechny dostupné proměnné simulátoru. Zde je tedy situace vyřešena tak, že v mapovacím software Goflight jsou pro spínače, jejichž požadovaná proměnná není k dispozici, nastaveno, že zapisují do jiné (pomocné) proměnné, která není v simulátoru využívána, a tento LUA skript podle stavu příslušné pomocné proměnné aktivuje tu proměnnou, kterou spínač má ve skutečnosti ovládat.

Prvním spínačem, který nebylo možné nastavit přes nástroj Goflight je spínač pravého alternátoru. V nástroji Goflight bylo tedy nastaveno, že tento spínač ovládá proměnnou osvětlení kabiny cestujících (offset 0D0C). Skript podle stavu této proměnné následně aktivuje skutečnou proměnnou příslušící pravému alternátoru, tedy AltnRFS (offset 3AB8).

Na stejném principu je vyřešen spínač výhřevu vrtulí (pomocná proměnná SPOILERSFS – offset 0BD0, skutečná proměnná FSPropHeat (offset 337C).

Názvy pomocných a skutečných proměnných jsou pouze místní, uvnitř skriptu – tedy mohou být libovolné. Jelikož zde (na rozdíl od EICAS skriptu, kde byly ovládány vlastní proměnné definované v kódu EICAS) dochází k ovládání výchozích proměnných v simulátoru, je zde využívání tzv. offsetů, což je způsob přístupu k výchozím proměnným pomocí FSUIPC. Více o této problematice je uvedeno v originální dokumentaci k FSUIPC.

## 5 Hardware simulátoru Beechcraft

### 5.1 Počítač simulátoru

Simulátor běží na jednom počítači v konfiguraci

- Procesor: Intel i5-3570K, 3.40GHz
- Grafická karta: 2x AMD Radeon HD 7800
- Operační paměť: 4 GB
- Pevný disk 1x SSD 128 GB  
1x SSD 256 GB

Procesor je možné v nastavení BIOS přepnout do vysokovýkonného režimu, avšak zkušenosti z provozu ukázaly, že takto nastavený procesor nezvládne současné aktivní vzduchové chlazení dostatečně chladit, procesor se přehřívá, a to způsobuje nestabilitu simulátoru. Tato nestabilita se projevovala tak, že po první půl hodině letu začal simulátor padat, a následně padal již v intervalech minut, dokud nebyl procesor ponechán v klidu, aby jeho teplota klesla. Řešením by bylo pravděpodobně kvalitní vodní chlazení, avšak nárůst výkonu v simulátoru (ačkoliv je jasně pozorovatelný) není dostatečně výrazný, aby přestavba chlazení měla smysl. Pravděpodobně by byla žádoucí při přechodu na simulátor Prepar3D.

Grafické karty jsou dvě identické. U jedné z nich došlo před časem k mechanickému poškození aktivního chladiče, který z karty odpadl a zničil se. Jelikož nebylo možné zakoupit původní typ chladiče jako náhradní díl, byl zakoupen doplňkový výkonnější chladič, který byl na kartu namontován. Při případné manipulaci s kartou je nutno dbát maximální opatrnosti, aby nedošlo k odlomení nového chladiče.

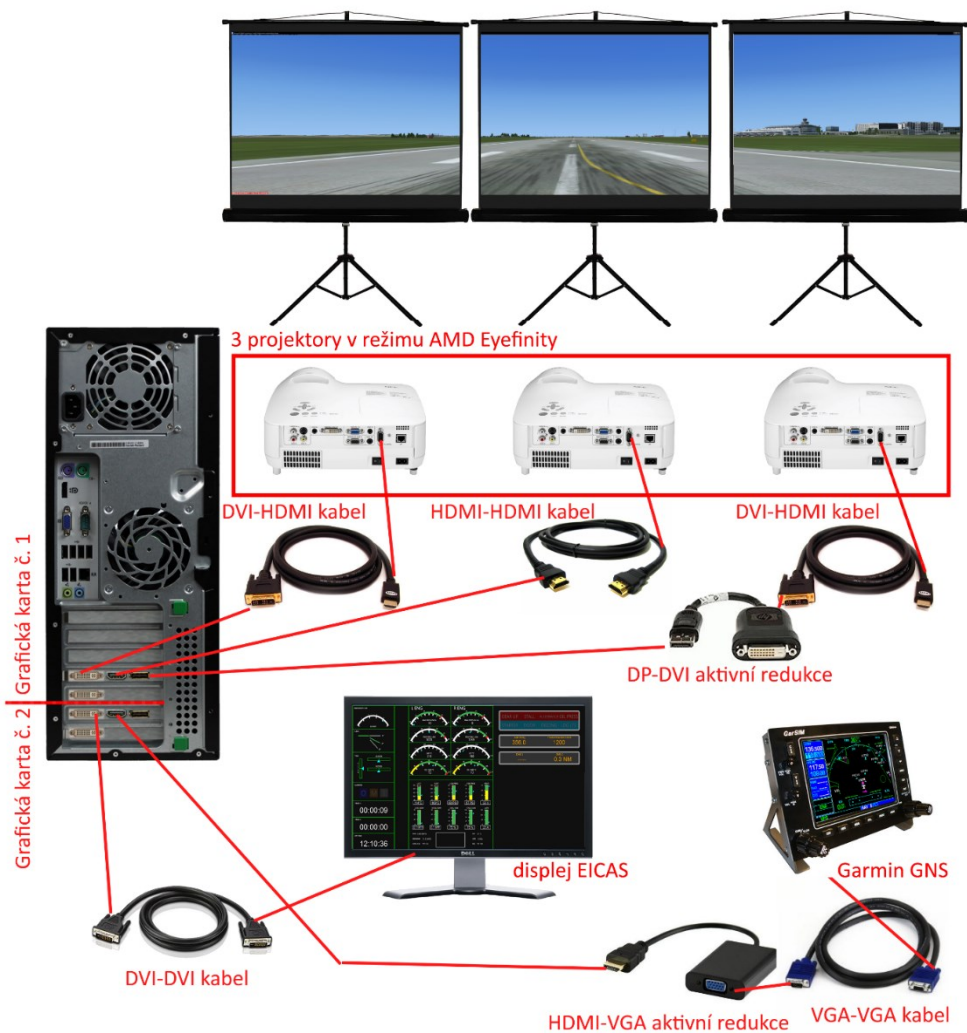
Obě grafické karty jsou hardwarově propojeny propojkou SLI. Jedná se o technologii výrobce grafických karet ATI, která umožňuje vzájemnou spolupráci karet při grafických výpočtech za účelem zvýšení výkonu. Avšak vlastností této technologie je, že jedna z karet je zvolena jako pomocná, její výstupní konektory jsou deaktivovány a pouze podporuje výkon hlavní karty. Jelikož v simulátoru bylo potřeba využívat grafické výstupy na obou kartách, byla funkce SLI v ovladačích grafických karet softwarově deaktivována. Díky tomu se obě karty chovají jako nezávislé.

Omezením Microsoft Flight Simulátoru je dáno, že i když je jeho hlavní okno roztaženo přes více monitorů (ploch) systému Microsoft Windows, dochází k vykreslování okolní 3D scenerie pouze na jednom z těchto monitorů. Z tohoto důvodu je na první grafické kartě aktivní softwarová funkce AMD Eyefinity, která všechny tři plochy (v našem případě projektory) spojuje tak, že se v systému Windows zobrazují jako jedna velká plocha. Na této ploše je

Microsoft Flight Simulator maximalizován, díky čemuž dochází k jeho vykreslování přes všechny tři projektory. V případě budoucího přechodu na simulátor Prepar3D nebo X-Plane by bylo možné od užívání Eyefinity upustit, jelikož oba tyto simulátory umí vykreslovat zároveň na více samostatných plochách. Simulátor je provozován v režimu „v okně“ (windowed), díky čemuž je možné jednotlivé další panely (v našem případě GNS 530 a EICAS) přesunout na jinou plochu. V režimu zobrazení plné obrazovky (full screen) by toto možné nebylo. Stejně omezení platí i v simulátoru Prepar3D.

Druhá grafická karta má k sobě připojen monitor EICAS a monitor uvnitř GNS 530. Tyto dva monitory jsou nastaveny jako samostatné plochy systému Windows, jelikož pro vykreslování 2D oken (bez pohledu ven z letounu) jsou další plochy systému Windows použitelné (tedy Eyefinity není vyžadováno).

Schéma zapojení je znázorněno na následujícím obrázku.



Obrázek 1: Schéma zapojení zařízení v grafických kartách školního simulátoru (autor, obrázky HW [www.alza.cz](http://www.alza.cz) a [www.emuteq.com/GNS530.html](http://www.emuteq.com/GNS530.html))

## 5.2 Letové a navigační přístroje

V palubní desce simulátoru je nainstalováno devatenáct přístrojů z produkce firmy TRC Simulators b.v., prodávané pod obchodním názvem Simkits. Jedná se o makety přístrojů, které byly vyrobeny pro použití s letovými simulátory. Původně byl každý přístroj prodáván jako samostatné USB zařízení, avšak díky nedokonalostem v jejich funkci bylo nutné některé z nich přestavět tak, že zůstala zachována původní mechanická část daného přístroje, avšak elektronika a řídicí software byly vyvinuty na míru pro daný přístroj znovu.

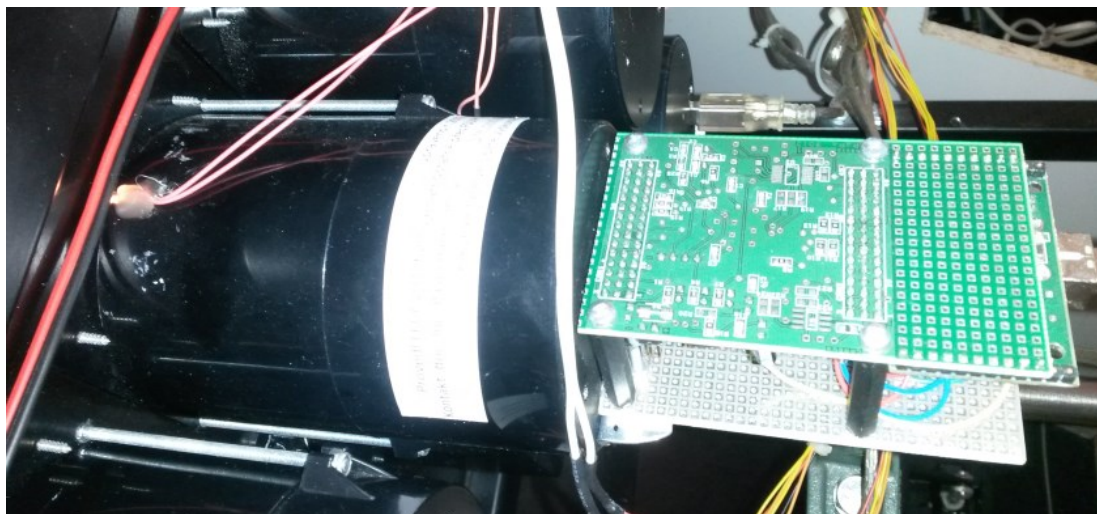
### 5.2.1 Výškoměry

Dodány od výrobce byly dva identické výškoměry. Každý z nich bylo samostatné USB zařízení a pomocí spínače na zadní straně přístroje bylo možné zvolit, který z přístrojů bude hlavní, a který vedlejší. Tato logika byla v rozporu s požadovanou funkcí dvou výškoměrů – kdy na každém z nich má být možnost nastavit referenční atmosférický tlak samostatně, a následně je na pilotech vícečlenné posádky, aby vzájemně porovnali indikovanou výšku na obou výškoměrech. Původně totiž tyto výškoměry fungovaly tak, že na hlavním přístroji pilot nastavil příslušný tlak, a druhý přístroj toto nastavení tlaku převzal a nastavil svou stupnici na shodný tlak, bez jakékoliv akce od pilota. Díky tomu mohl nastavení výškoměrů ovládat vždy pouze jeden pilot (v našem případě z levé sedačky), druhý pilot nemohl do nastavení výškoměrů zasahovat a nikdy nemohlo dojít k nesouladu obou výškoměrů.

Z tohoto důvodu požádala Fakulta dopravní o spolupráci Fakultu elektrotechnickou, která přestavěla pravý výškoměr použitím vlastní elektroniky. Výškoměr sestává z jednoho modelářského serva, která pohybuje stupnicí s tlakem, dále z jednoho otočného enkoderu, který snímá otáčení ovladačem tlaku, a mechanismu otáčení ručiček výškoměru. Mechanismus otáčení ručiček výškoměru sestává z upraveného modelářského serva (kterému byly odstraněny mechanické dorazy, a tudíž se chová jako elektromotor, kterým lze definovanou rychlostí otáčet na obě strany), a dále dvou potenciometrů, snímajících polohu ručiček. Všechny tyto komponenty byly odpojeny od původní desky plošného spoje od výrobce, a připojeny k nové desce plošného spoje (viz obrázek). Tento nový plošný spoj má na sobě součástky umožňující komunikaci po USB prostřednictvím emulovaného sériového portu. V počítači pak běží aplikace „Altimeter.exe“, která přijímá skutečnou výšku a tlak z Microsoft Flight Simulatoru (prostřednictvím rozhraní FSUIPC) a tyto hodnoty po sériovém portu předává do upraveného výškoměru. Ve výsledku tedy běží oba výškoměry na nezávislých ovladačích, což umožňuje každému z nich mít vlastní nastavený tlak a může tak nastat nesoulad, který by měla posádka letadla odhalit.



Dokumentace dodaná Fakultou elektrotechnickou spolu s přestavěným výškoměrem je dostupná na přiloženém DVD.



Obrázek 2: Fotografie upraveného pravého výškoměru

### 5.2.2 Indikátory VOR

V simulátoru jsou instalovány 4 indikátory VOR – dva pro každého z pilotů. Každý z pilotů má i dispozici jeden indikátor „VOR 1“, který sestává z kruhové otočné stupnice, OBS, CDI, FROM/TO šipek a indikátoru sestupové roviny. Dále má každý z pilotů k dispozici jeden indikátor „VOR 2“, který se od „VOR 1“ liší absencí indikátoru sestupové roviny.

Původní funkce indikátorů VOR byla chybná podobným způsobem, jako výše popsaná funkce výškoměrů. Tedy v každé z dvojic přístrojů VOR 1 a VOR 2 byl jeden nakonfigurován jako hlavní, a jeho nastavení otočné stupnice se použilo pro indikaci CDI na tomto přístroji (což bylo správně), avšak i na druhém přístroji (což bylo nesprávně). Tedy například, pokud letoun letěl po radiálu 270 od zařízení a první pilot si pomocí OBS nastavil otočnou stupnici na 270°, viděl na svém CDI nulovou odchylku (správně). Avšak pokud si druhý pilot nastavil svou otočnou stupnici jakkoliv jinak, viděl na svém CDI stále nulovou odchylku, protože jeho CDI ukazovalo odchylku dle nastavení přístroje prvního pilota.

Další chybou přístrojů VOR 1 bylo, že indikátor sestupové roviny reagoval pouze na signál ILS, ale v případě, že byla k přístrojům VOR 1 připojena Garmin GNS poskytující vertikální vedení při LPV přiblížení, nevykazoval indikátor sestupové roviny žádnou funkci.

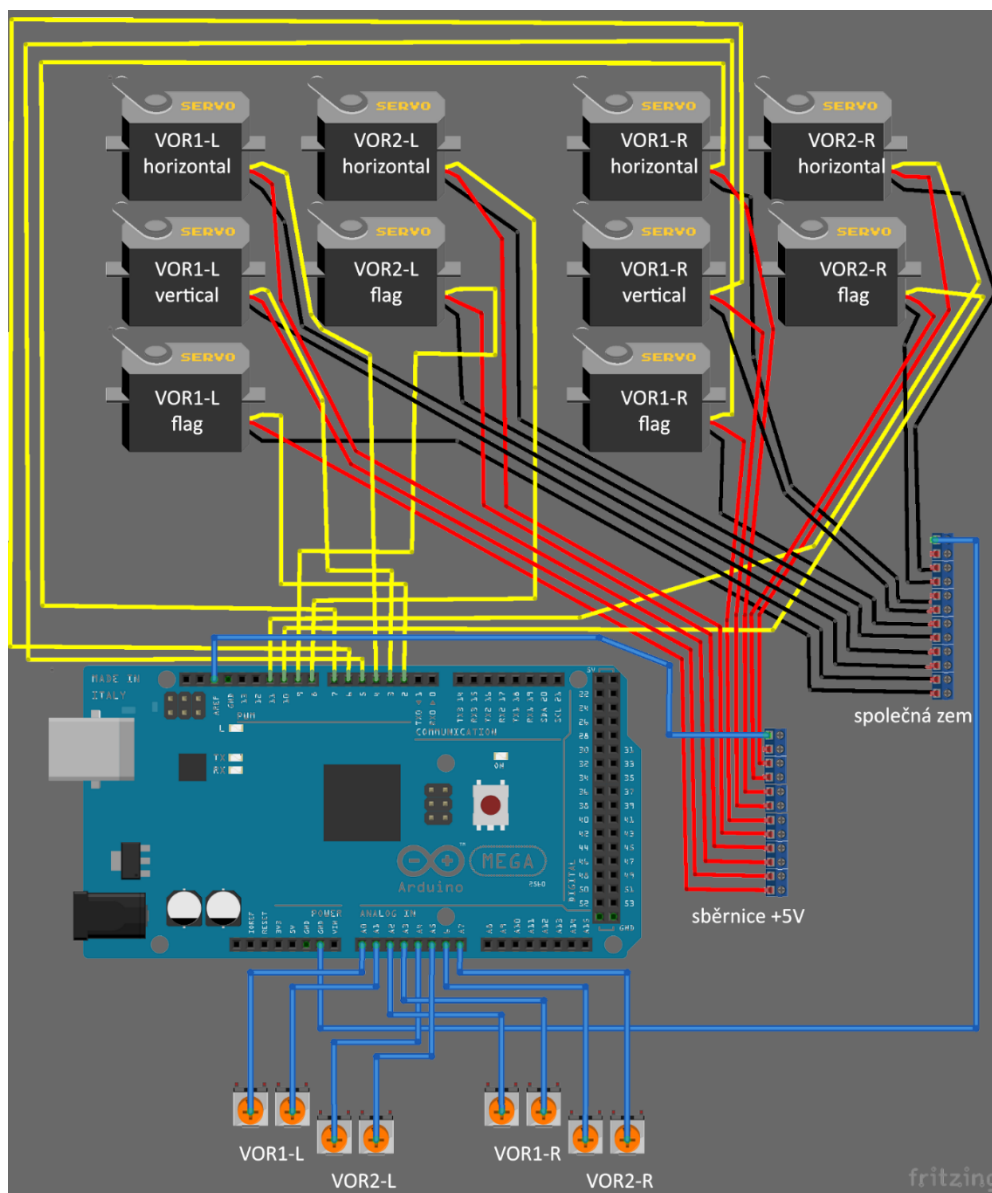
Výše uvedené chyby byly vyřešeny podobně, jako byl řešen výškoměr – tedy všechna serva a potenciometry uvnitř VOR indikátorů byly odpojeny od původní desky plošného spoje. Dále byla v simulátoru nainstalována vývojová deska Arduino, ke které byly z každého z VOR indikátorů vyvedeny vodiče. Arduino má na sobě USB konektor, přes který emuluje komunikaci



po sériovém portu s počítačem. V počítači běží speciálně vyvinutá aplikace („SimulatorInstruments.exe“) snímající polohu letadla vůči naladěným pozemním zařízením VOR v simulátoru a vypočítávající příslušnou výchylku CDI pro každý ze čtyř přístrojů zvlášť, v závislosti na konkrétním nastavení otočné stupnice. Dále při letu podle GNS (která se připojuje k oběma VOR 1 přístrojům) zajišťuje tato aplikace korektní výchylky ukazatelů dle odchylky od horizontálního a případně i vertikálního vedení GNS. Tuto úpravu provedl jako zakázku pro Fakultu dopravní pan Bedřich Schindler.

Na následujícím obrázku je schéma zapojení upravených přístrojů. Na obrázku nejsou nikam připojeny vývody z potenciometrů (spodní část obrázku), jelikož tyto jsou uvnitř každého přístroje připojeny k vodičům + 5 V a společné zemi od serv, a tudíž by jejich nákres v obrázku byl matoucí. Obrázek odpovídá těm vodičům, které je v simulátoru možné spatřit.

Software od pana Schindlera je zálohován na přiloženém DVD.



Obrázek 3: Schéma zapojení serv a potenciometrů v indikátorech VOR

Na podzim roku 2016 (tedy po 5 letech provozu simulátoru) byla přesnost potenciometrů snímajících polohu otočné stupnice vyhodnocena jako nedostatečná, jelikož došlo k jejich opotřebením. Jedná se o dva lineární potenciometry značky PIHER, které nemají mechanický doraz v každém přístroji. Jejich elektrický snímací rozsah je více než 180°. Jsou umístěny opačně – tak, že se vzájemně doplňují, a tudíž porovnáním jejich výstupů je možné určit úhel natočení otočné stupnice přístroje. Potenciometry byly vyměněny. V případě dalších výměn je třeba dbát velké opatrnosti při připojování vodičů vedoucích signál od potenciometrů ven z přístroje, k Arduino.

### 5.2.3 Ostatní letové a navigační přístroje

Kromě výše uvedených přístrojů byly všechny ostatní přístroje v palubní desce zanechány v původním stavu od výrobce. Jedinou úpravou bylo zavedení osvětlení přístrojů pomocí miniaturních žárovek mimo původní obvody v přístroji. Žárovky uvnitř přístrojů velmi často praskaly, a každá oprava si vyžadovala časově náročnou demontáž přístroje. Namísto toho byly tedy zapojeny žárovky stejného typu napájené prostřednictvím 5 V sběrnice mimo přístroj, které v případě poruchy mohou být jednoduše vyměněny. Navíc se jejich poruchovost velmi snížila oproti originálním interním žárovkám.

Gyrokompassy, indikátor ADF a magnetický kompas používají identické potenciometry jako výše uvedené VOR přístroje a až dojde k jejich opotřebování, bude je také nutno vyměnit. Zároveň se zakoupením potenciometrů do VOR indikátorů byly zakoupeny ještě další, které jsou v době psaní této diplomové práce uloženy u náhradních dílů simulátoru pro budoucí použití.

Všechny přístroje obsahují modelářská serva značky Hitec, která se občas porouchají. Tato serva je možné zakoupit ve většině modelářských obchodů a provést výměnu svépomocí. U přístrojů, které pohybují svými indikátory jen v určitém úhlovém rozsahu (variometr, rychloměr, relativní příčný sklonoměr, zatáčkoměr a umělý horizont) jsou uvnitř přístrojů serva bez úprav. U přístrojů, které obsahují prvky otáčející se v neomezeném rozsahu (gyrokompas, magnetický kompas, indikátor ADF) jsou serva upravena odstraněním mechanických dorazů a zpětnovazebních interních potenciometrů, a ke snímání polohy příslušného otočného elementu jsou použity dva opačně namontované potenciometry PIHER, stejně jako ve VOR indikátorech.

### 5.3 Panely na pedestalu značky Goflight

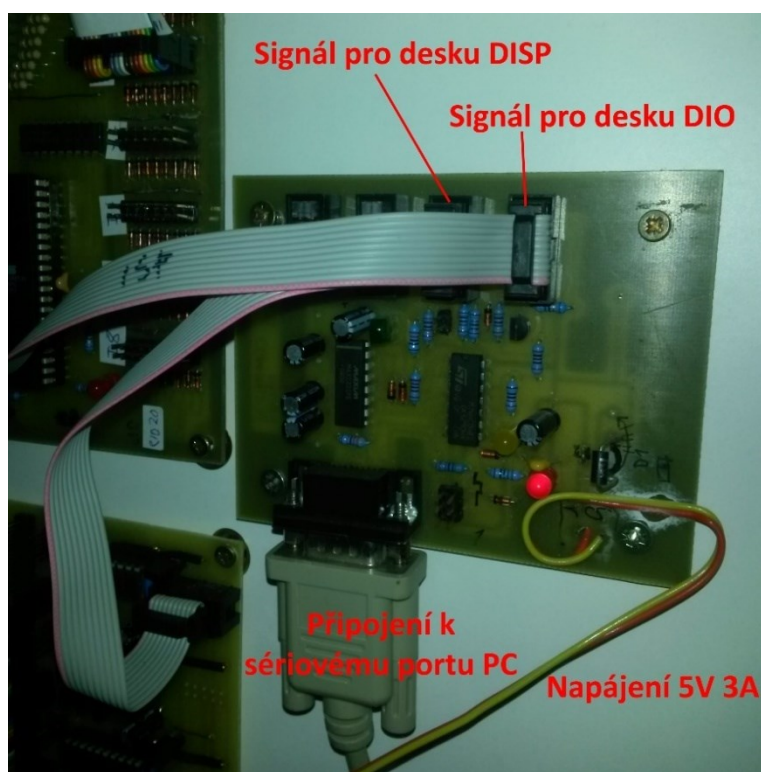
Na středovém pultu (pedestalu) je umístěno množství panelů značky Goflight. Každý panel se chová jako samostatné USB zařízení a je ovládán ovládacím software od výrobce, ve kterém je provedeno přiřazení funkcí k jednotlivým tlačítkům, spínačům a kontrolkám. Jedinou úpravou byla výroba gravírovaných plastových panelů s popiskami pro většinu z těchto zařízení. Původní záměr firmy Goflight bylo umístění magnetických nebo samolepících štítků dle přání uživatele, avšak to se neosvědčilo díky komplikované čitelnosti a matoucímu vzhledu. Nové plastové panely byly navrženy s ohledem na dobrou čitelnost a byly vygravírovány do dvouvrstvého plastu firmou Kavalír s.r.o. Originální zdrojové soubory ve formátu pro Autodesk Autocad jsou součástí balíku software k simulátoru.

Ovládací páka vysouvání podvozku byla mnohokrát ulomena, jelikož původní design byl takový, kdy páku bylo nutnou vytáhnout směrem z panelu před přestavením do jiné polohy. Tato aretace nutící pilota k vytažení páky byla taktéž ulomena a již se ji nepodařilo obnovit. Ulomená páka byla provrtána spolu s v ní umístěnou páčkou spínače, a pevně spojena 1 mm tenkou hřídelí z kalené oceli. Celek byl následně důkladně zalepen dvousložkovým lepidlem. Od doby této opravy v roce 2014 nedošlo již k dalšímu ulomení páky.

#### 5.4 Autopilot Bendix/King a rozhraní FSBUS

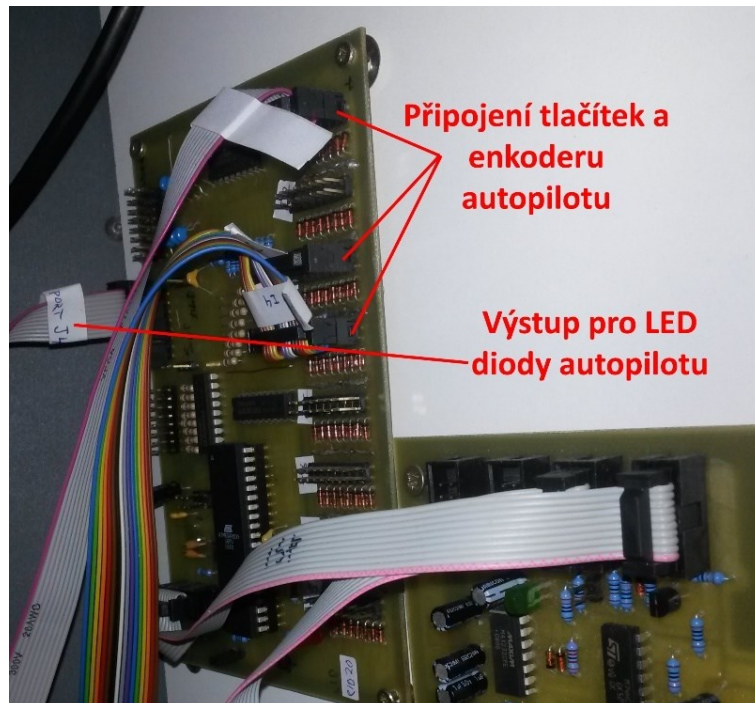
Krátce po spuštění provozu simulátoru nastala potřeba instalovat v simulátoru ovládací panel autopilotu. Jako vzor byl vybrán ve všeobecném letectví rozšířený autopilot Bendix/King KAP 140, jehož design byl zjednodušen pro jednodušší a levnější výrobu. Panel autopilotu byl vyroben na míru tak, aby byl rozměrově shodný s ostatními panely Goflight a jednoduše se dal namontovat do pedestalu. Plošný spoj byl vyroben taktéž na míru pro potřeby této instalace. Rozhraní mezi panelem autopilotu a Microsoft Flight Simulátorem tvoří po softwarové i hardwarové stránce projekt FSBUS. FSBUS ve školním simulátoru sestává ze tří modulárních plošných spojů – desky COM, DIO a DISP.

Deska COM zprostředkovává připojení k sériovému portu počítače a komunikaci s deskami DIO a DISP. Použité konektory jsou popsány na následujícím obrázku.



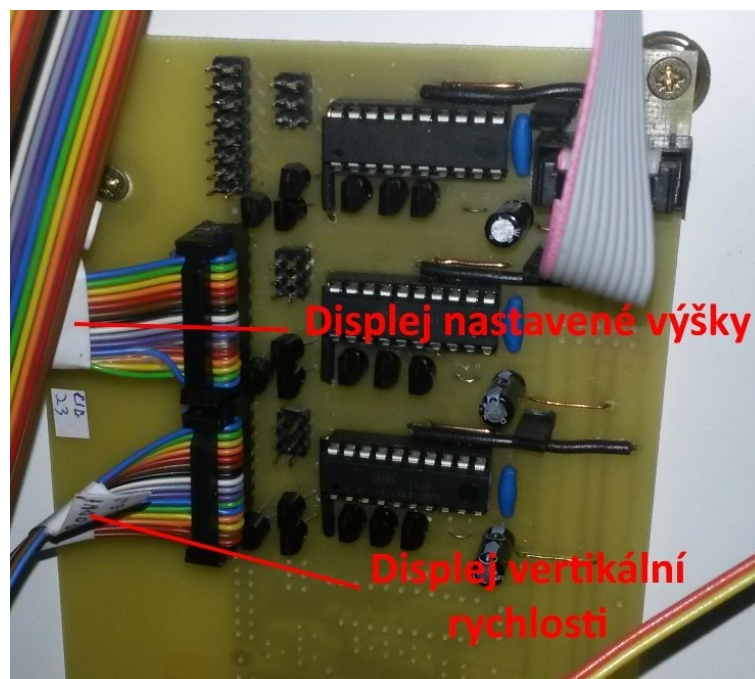
Obrázek 4: FSBUS deska COM

Deska DIO (Digital In and Out) umožňuje připojení vysokého množství vstupních a výstupních prvků – konkrétně spínačů, tlačítek, otočných enkodérů a potenciometrů jako vstupní prvky, a digitální výstup například pro LED diody a relé, a analogový PWM výstup (který není ve školním simulátoru zatím využit). Popis kabelů je na následujícím obrázku.



Obrázek 5: FSBUS deska DIO

Deska DISP je řadič pro jednotlivé LED displeje. Ve školním simulátoru jsou na ní osazeny jen bloky pro tři displeje, přičemž první zřejmě nefunguje a není využit. Následující obrázek popisuje použité části karty DISP.



Obrázek 6: FSBUS deska DISP

Desky DIO a DISP jsou označeny svým identifikátorem CID (Controller Identification), který je do příslušné desky jednorázově nahrán pomocí FSBUS. Deska DISP má dva CID, pro každý ze svých řadičů – které se v rozhraní FSBUS chovají jako nezávislá zařízení.

Originální dokumenty k FSBUS (manuály autora FSBUS a konfigurační soubory pro školní simulátor) jsou zálohovány na přiloženém DVD.

#### 5.4.1 Software FSBUS

V počítači je nainstalován FSBUS Cockpit Development Kit, což je program, ve kterém lze upravovat konfigurační skripty platformy FSBUS, testovat jednotlivé komponenty, a který běží při standardním užívání simulátoru a zprostředkovává komunikaci mezi Microsoft Flight Simulátorem a hardwarovou částí FSBUS.

Pro potřeby školního simulátoru jsou ve FSBUS načteny dva konfigurační soubory: BE58.ini a BE58.dab. Soubor BE58.ini. Soubor BE58.dab je zaváděcí soubor FSBUS, který je čten po spuštění simulátoru. Pro potřeby školního simulátoru je v něm užitečná jen první část:

```
sub OnBegin
    LoadConfigFile ("BE58.ini")
end sub
```

V této části je zadáno, že má být načten konfigurační soubor BE58.ini. Další část souboru BE58.dab obsahuje funkce pro nastavování výškoměru, které ale nejsou ve školním



simulátoru využity (levý výškoměr je nastavován přímo přes samotný Simkits přístroj, a pravý výškoměr je nastavován přes svůj přestavěný hardware a aplikaci Altimeter.exe). Ve FSBUS byla tato část týkající se výškoměrů ponechána pro případné budoucí využití.

Soubor BE58.ini je vlastní soubor definující fungování autopilotu (respektive jakéhokoliv vstupně výstupního hardware připojeného k FSBUS). V rozhraní FSBUS jsou jednotlivé části celého systému definovány jako jednotlivé objekty. Objekty se zde dělají do kategorií F (= FlightSim, tedy proměnné v simulátoru), C (= Cockpit), tedy jednotlivá tlačítka, displeje a další komponenty, se kterými pilot pracuje, A (= Accumulator, tedy interní proměnné v rozhraní FSBUS), a R (=Route, tedy trasy definující vztahy mezi jednotlivými ostatními objekty).

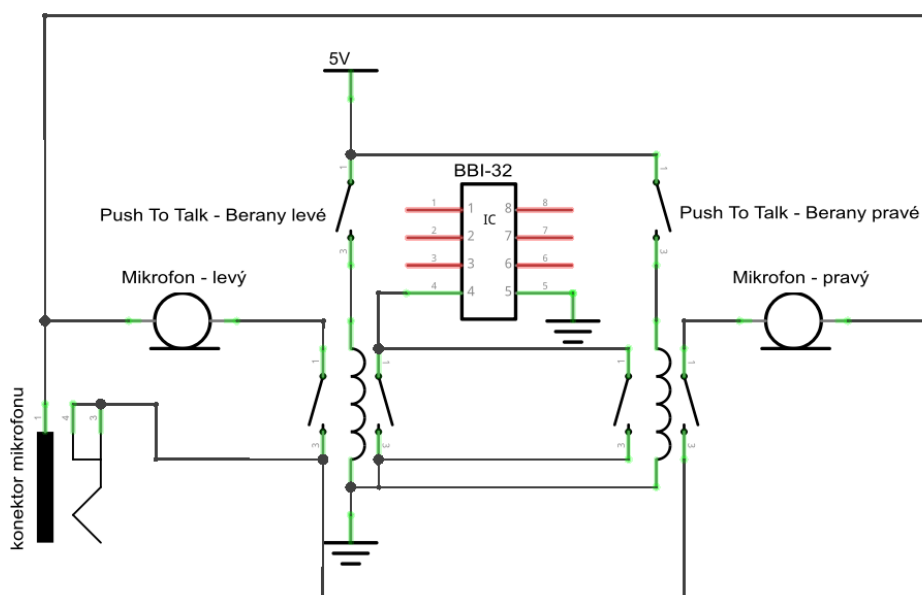
Logika skriptování v FSBUS je pak taková, že se nejdříve definují všechny objekty „F“, které ve své definici mají uvedeno, jaké proměnné se týkají (označena pomocí tzv. Offsetu, což je způsob adresování paměti užívaný v rozhraní FSUIPC, přes které se FSBUS připojuje k Microsoft Flight Simulatoru). Dále se definují objekty „C“, u kterých se specifikuje jejich typ (displej = DISPLAY, otočný enkodér = ROTARY, tlačítko nebo spínač = SWITCH, digitální výstup (například LED dioda) = DOUT), dále ke které desce FSBUS jsou připojeny (CID – v případě školního simulátoru je CID 20 celá deska DIO, CID 22 displej nastavené výšky na desce DISP, a CID 23 displej nastavené vertikální rychlosti na desce DISP), a na kterém kontaktu (pinu) příslušné desky (sloupec RID).

Nyní by již bylo možné definovat jednotlivé objekty „R“, které by popisovaly například to, že pokud otočný enkodér typu „C“ na dané adrese (CID + RID) je pootočen o jeden krok doprava, dojde v příslušné simulátorové proměnné typu „F“ k jejímu zvýšení například o 100 stop, a následně se aktuální hodnota této proměnné typu „F“ vypíše na displeji, který je opět reprezentován objektem typu „C“ s danou adresou. Tento systém by zajisté fungoval, ale díky transportnímu zpoždění vznikajícímu tím, že signál z enkodéru jde přes FSBUS do simulátoru, tam je vyhodnocen a na základě toho je vygenerován signál pro displej který jde přes FSBUS do panelu autopilotu, by reakce displeje na otočný enkodéry měla viditelnou odezvu.

Proto jsou definovány ještě objekty typu „A“, které existují pouze uvnitř FSBUS. Vlastní fungování celého systému je potom takové, že po spuštění FSBUS je do objektu typu „A“ načtena například hodnota aktuálně nastavené výšky na displeji autopilotu. Tato hodnota je neustále znovu zapisována do displeje typu „C“. Pokud dojde k otočení enkodéru „C“, je nejprve navýšena hodnota v akumulátoru „A“, a tato je okamžitě bez pozorovatelného zpoždění vypsána znovu na displeji „C“. Následně je z akumulátoru „A“ ještě poslána do simulátoru. Výsledkem je, že pilot vidí odezvu na svou akci na displeji prakticky ihned (díky velmi rychlé cestě signálu z enkodéru „C“ do akumulátoru „A“ a do displeje „C“, a dlouho trvající akce zápisu do simulátorové proměnné typu „F“ probíhá mezitím na pozadí).

## 5.5 Hlasový komunikační systém

Jedním z požadavků v nově vzniklém simulátoru byla možnost hlasové komunikace mezi posádkou a instruktorským stanovištěm, kde instruktor může plnit funkci řídicího letového provozu. Jelikož se jedná o dvoupilotní letoun, každý z pilotů musí být schopen vysílat a přijímat hlasovou komunikaci. K přenosu hlasové komunikace byl zvolen program Teamspeak pro svou spolehlivost a možnost komunikace i s dalšími uživateli (což bylo využito pro hlasovou komunikaci s posádkou a instruktorem z druhého simulátoru na Fakultě dopravní). Na počítači letového simulátoru běží klient Teamspeak 3. Vysílání je ovládáno stiskem fiktivního tlačítka joysticku. Jako tlačítko joysticku slouží vstup na kartě „Leo Bodnar BBI-32“. Na beranech každého z pilotů se nachází tlačítko vysílání. Stisk libovolného z tlačítek sepne relé, které jednak připojí mikrofon příslušného pilota do mikrofonního vstupu počítače, a dále pak sepne tlačítkový vstup na kartě „Leo Bodnar BBI-32“, což aktivuje režim vysílání na Teamspeaku. Na následujícím obrázku je znázorněno schéma zapojení.



fritzing

Obrázek 7: Schéma zapojení komunikačního systému

## 5.6 Vstupní rozhraní

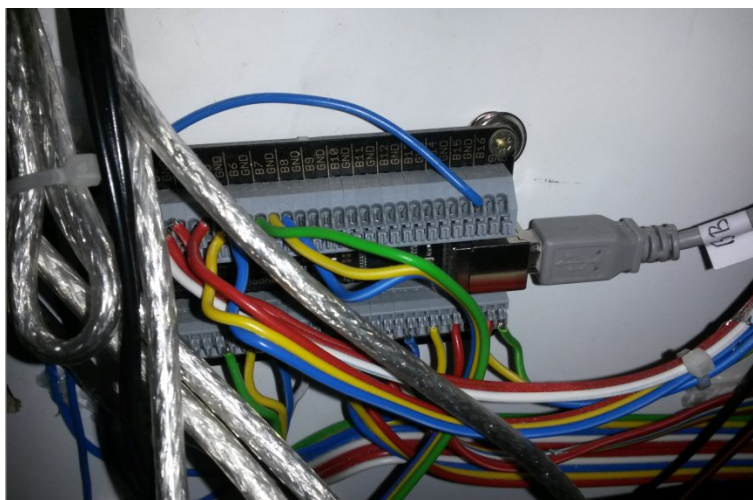
V simulátoru jsou nainstalovány dvě USB vstupní karty od společnosti Leo Bodnar. Každá z těchto karet se v operačním systému Windows zobrazuje jako samostatný HID joystick. Díky tomu lze k nim připojená tlačítka a spínače přímo přiřadit k patřičné funkci uvnitř Flight Simulatoru bez nutnosti užívání dalšího software.



Obě tyto karty lze používat bez zvláštních softwarových ovladačů, avšak v případě připojení otočných enkodérů je nutno tyto nakonfigurovat přes konfigurační aplikaci k příslušné kartě.

#### 5.6.1 Karta BBI-32

Tato karta poskytuje terminály pro připojení 32 tlačítek, nebo 16 otočných enkodérů (nebo jejich příslušné kombinace). Následuje fotografie karty umístěné v simulátoru.



Obrázek 8: Karta BBI-32

V případě našeho simulátoru jsou ke kartě připojeny následující vstupy:

- Relé ovládající klíčování programu Teamspeak (popsáno výše)
- 2x spínače stopek zobrazených na displeji EICAS
- Spínač parkovací brzdy
- 2x spínače výhřevu karburátorů
- Otočný enkodér pro nastavení referenčního tlaku levého výškoměru
- Tlačítka na beranech (na každých beranech tlačítko odpojení autopilotu + 2 tlačítka elektrického trimu výškového kormidla)
- 2x nevyužitý otočný enkodér (odložené za palubními deskami)

V případě potřeby lze k této kartě připojit ještě několik dalších vstupních ovládacích prvků.

#### 5.6.2 Karta BU0836

Karta BU0836 poskytuje možnost připojit 8 analogových vstupů s 10 - bit rozlišením (například potenciometry) a 32 tlačítek.

V případě školního simulátoru je využita pouze pro připojení potenciometrů od řízení – konkrétně od osy křídélek a výškového kormidla. Ostatní vstupy jsou nevyužité a v případě potřeby by je šlo využívat. Další potenciometry lze připojit přímo ke kartě velmi jednoduše.

V případě potřeby připojovat ke kartě tlačítka je potřeba postupovat dle instrukcí výrobce a připojovat tlačítka „do matice“, s využitím diod. Současné zapojení je na následujícím obrázku.



Obrázek 9: Karta BU0836

## 5.7 Napájení simulátoru

Kromě standardního napájení všech komponentů počítačů a ostatních zařízení obsahuje simulátor ještě několik dalších sběrnic. Vedle počítače je umístěna vypínatelná zásuvka s adaptéry s popiskami. Jedná se o tyto zdroje:

- 5 V podsvícení přístrojů: Původně byly přístroje podsvíceny vestavěnými žárovkami, avšak často docházelo k jejich praskání. Proto byly přístroje upraveny tak, že nové žárovky jsou zapojeny mimo přístroj na samostatnou sběrnici. Pokud pak dojde k prasknutí žárovky, stačí příslušnou žárovku odlepit z přístroje bez jeho rozebírání, připájet ke sběrnici novou žárovku a opět jí umístit do přístroje.
- 5 V napájení upravených VOR indikátorů: Jelikož je Arduino při snímání analogových vstupů (potenciometrů) velmi citlivé na rušení, bylo nutné instalovat kvalitní samostatný zdroj, který napájí potenciometry v upravených indikátorech. Napětí z tohoto zdroje je taktéž přivedeno na referenční pin Arduina. Zem je společná pro potenciometry i Arduina. K této sběrnici je připojen ještě zjednodušený spínač ELT (v poloze TEST se aktivuje alarm a rozsvítí kontrolka v ELT panelu), což lze použít i k otestování napájení přístrojů. Další zařízení k této sběrnici nelze připojovat, aby nedocházelo k rušení Arduina.
- 12 V napájení osvětlení interiéru: ve stropě simulátoru se nachází tři bodové LED světelné zdroje vydávající červené světlo. Toto osvětlení je prozatím spínáno volně

zavěšeným spínačem umístěným ve vstupu do simulátoru. Na stropě simulátoru je umístěn zdroj pro tato světla. V budoucnu je žádoucí instalovat spínání světel přímo ze simulátoru. K desce „DIO“ systému FSBUS (popsán výše) lze přímo připojit tři relé, spínající jednotlivé světelné zdroje. Spínání těchto relé by následně bylo naprogramováno tak, aby reagovalo na proměnné, které jsou ovládány spínači na panelu „INTERIOR LIGHTS“ v kokpitu. Dále by tato relé byla podmíněna dostupností napájení v simulovaném letadle (baterie, nebo jeden z alternátorů)

## 5.8 Automatické spouštění simulátoru

Jedním z cílů při výstavbě simulátoru bylo zajistit bezobslužné spouštění tak, aby obsluha simulátoru nemusela používat myš a klávesnici, spouštět jednotlivé programy a řešit problémy. Simulátor je nyní nastaven tak, že jeho spuštění spočívá ve stisku spouštěcího tlačítka na počítači, zapnutí projektorů a zapnutí napájení zásuvky. Po naběhnutí systému Windows proběhne následující sekvence, jejíž výsledkem je zapnutý simulátor včetně veškerého obslužného software a letadlo s vypnutými motory stojící na odbavovací ploše letiště Ruzyně.

1. Po spuštění systému Windows dojde ke spuštění Flight Simulatoru X (jeho zástupce je umístěn ve složce Po spuštění)
2. Krátce po spuštění procesu Flight Simulatoru dojde prostřednictvím modulu FSUIPC k automatickému spuštění programů definovaných v konfiguračním souboru FSUIPC4.ini (ve složce ...\\Microsoft Flight Simulator X\\Modules). Konkrétně se jedná o programy:
  - a. ...\\Microsoft Flight Simulator X\\Modules\\aero.bat, což je dávkový soubor, který provede restart prostředí Aero v operačním systému Windows 7 (tento restart je vyžadován kvůli jinak špatné kompatibilitě Microsoft Flight Simulatoru s operačním systémem Windows 7)
  - b. ...\\Microsoft Flight Simulator X\\Modules\\krok3\_autostart.exe. Toto je program vytvořený programem VistaTask, který provádí předem nadefinované operace, které jsou nutné ke spuštění všech obslužných programů příslušejících běhu veškerého hardware, a k provedení dalších úkolů před plným spuštěním simulátoru

Program VistaTask provádí následující úkony. V případě budoucích úprav simulátoru je možné tento spouštěcí nástroj upravovat v programu VistaTask (zástupce se nachází v nabídce Start a tvorba automatizované sekvence probíhá v grafickém rozhraní bez nutnosti programování), pouze je po skončení úprav a uložení nutné ještě zkompilovat vlastní aplikaci

krokr3\_autostart.exe kliknutím na bílé tlačítko Compile EXE v horní nástrojové liště editoru VistaTask. Zobrazení aktuálního stavu z editoru VistaTask je v příloze k této diplomové práci.

1. Spuštění ovladače USBFSUIPCLink.exe, který ovládá „jednoduché“ přístroje Simkits (rychloměry, umělé horizonty, zatáčkoměry a variometry). Tento program je nastaven, aby se po spuštění připojil k Flight Simulatoru automaticky
2. 2 sekundy čekání na provedení kroku 1
3. Spuštění programu FSBUS, který ovládá panel autopilotu. Tento program se také automaticky připojí k Flight Simulatoru.
4. 2 sekundy čekání na provedení kroku 3
5. Spuštění programu FsXPand.exe – jedná se o server, který z Flight Simulatoru čte příslušné hodnoty a po místní síti je zasílá do klienta, který běží v počítači instruktora. Tento klient následně zobrazuje na monitoru instruktora kompletní letové a navigační přístroje z palubní desky levého pilota.
6. 1 sekundy čekání na provedení kroku 5
7. Spuštění programu TRCUSBFsLink.exe. Tento program ovládá komplexní Simkits přístroje (levý výškoměr, oba gyrokompasy, magnetický kompas a oba ADF indikátory). Jelikož se program neumí automaticky po spuštění připojit k Flight Simulatoru, provedou následující kroky simulaci kliknutí myši na tlačítko k připojení.
8. Čekání na spuštění programu z kroku 7 (čekání probíhá až do doby, než se objeví okno s příslušným názvem).
9. Čekání 2 sekundy na dokončení navazování spojení mezi programem a přístroji
10. Aktivace „fokusu“ na okno z kroku 7
11. Preventivní čekání 2 sekundy
12. Přesun kurzoru myši na levý horní roh okna z kroku 7
13. Preventivní čekání 2 sekundy
14. Posun myši relativně vůči oknu z kroku 7 tak, aby se kurzor nacházel nad tlačítkem Connect to FSX
15. Preventivní čekání 2 sekundy
16. Kliknutí na tlačítko Connect to FSX (preventivně je kliknutí provedeno dvakrát, po zkušenostech, kdy dříve někdy náhodně jednoduché kliknutí nebylo zaregistrováno)
17. Pokračování bodu 16
18. Spuštění programu FSHostClient.exe. Jedná se o program, který připojí simulátor k multiplayerovému serveru. Účel je takový, že u Správy sítě budovy Horská na Fakultě dopravní je nainstalován FsHost server, který umožňuje společné létání obou školních simulátorů (tedy tak, že se letouny mohou potkat a vzájemně vidět). *V době psaní této diplomové práce je server u Správy sítě mimo provoz, proto je krok 18 a s ním*

*související kroky 19-29 dočasně nastaven k přeskočení, aby zbytečně nedocházelo k čekání při spouštění simulátoru. Až v budoucnu dojde ke znovuspuštění serveru u Správy sítě, bude nutné zrušit v editoru VistaTask přeskokování těchto kroků a automatizační program znovu zkompilovat, jak je popsáno výše.*

19. Začátek smyčky „For“
20. Preventivní čekání 4 sekundy na dokončení spouštění programu z bodu 18
21. Přesun myši nad tlačítko „Search IP for sessions“
22. Kliknutí myši na tlačítko z bodu 21
23. Čekání 8 sekund na vyhledání serveru běžícího na IP adrese nastavené v okně FSHost
24. Přesun myši nad polohu případné chybové hlášky
25. Kliknutí myši pro skrytí případné chybové hlášky
26. Přesun myši nad tlačítko Connect
27. Kliknutí myši na tlačítko Connect
28. Čekání 2 sekundy na připojení
29. Druhé spuštění smyčky od bodu 19. Připojovací smyčka je prováděna dvakrát, protože při delším nevyužívání serveru FSHost (například když přes víkend simulátor neběží) dochází k jakési hibernaci serveru u Správy sítě. Z této hibernace se server probudí po dotazu z bodu 21, avšak nestihne spustit serverovou aplikaci FSHost, a proto se zobrazí chybová hláška, kterou řeší body 24 a 25. Při dalším opakování smyčky je již server připraven, a proto se chybová hláška nezobrazí (takže body 24 a 25 proběhnou naprázdno), a dojde k připojení v bodě 27.
30. Následující body provedou rozmístění oken EICAS a GPS na příslušné monitory.  
Uchycení záhlaví okna EICAS
31. Přesun okna EICAS na monitor EICAS
32. Upuštění okna na EICAS na příslušné pozici
33. Uchycení záhlaví okna GPS
34. Přesun GPS na příslušnou pozici (tak, aby záhlaví okna vyšlo 15 pixelů za okraj displeje a nebylo vidět)
35. Upuštění okna GPS
36. Přesun myši nad hlavní okno Flight Simulatoru
37. Kliknutí do hlavního okna Flight Simulatoru pro aktivaci
38. Přesun myši
39. Kliknutí pravým tlačítkem myši do hlavního okna Flight Simulatoru pro vyvolání místní nabídky
40. Posun myši nad položku Hide menu bar v místní nabídce
41. Kliknutí na volbu Hide menu bar

42. Preventivní čekání
43. Přesun myši
44. Aktivace hlavního okna Flight Simulatoru
45. Přesun myši nad případné okno programu FSHost – tlačítko minimalizovat
46. Kliknutí pro minimalizaci okna FSHost
47. Spuštění programu Altimeter.exe ovládajícího pravý výškoměr (upravený Fakultou elektrotechnickou, viz příslušná kapitola). Program se po spuštění sám připojí k Flight Simulatoru.
48. Čekání na spuštění programu z bodu 47
49. Spuštění programu SimulatorInstruments.exe ovládajícího upravené přístroje VOR1 a VOR2 (levé a pravé, celkem 4 přístroje). Program se po spuštění sám připojí k Flight Simulatoru.
50. Čekání na spuštění programu z bodu 49
51. Přesun myši nad hlavní okno Flight Simulatoru
52. Kliknutí myší pro aktivaci okna

## 6 Řešení známých problémů

### 6.1 Výměna potenciometrů v pedálech

Pedály jsou od firmy Simkits. Původně byly nezávislé na sobě levé a pravé, každé připojené jako jeden USB joystick. Každý z těchto „joysticků“ měl tři analogové osy – osu pedálů, levou a pravou brzdu. Krátce po zprovoznění simulátoru byly instalovány dvě torzní tyče propojující pedály levého a pravého pilota. Díky tomu již není potřeba snímat osu pedálů v obou zařízeních, ale je snímána pouze v pedálech pravého pilota. Nadále jsou však oboje pedály připojeny přes USB jako dvě zařízení, protože brzdy nejsou mechanicky propojeny, a tudíž jsou snímány v každém pedálu zvlášť.

Potenciometr snímající osu pedálů se opotřeboval a začal vysílat signál s velkým množstvím šumu. Díky nutnosti rychlé opravy byl zakoupen jiný potenciometr běžně dostupný ve většině obchodů s elektronikou a nainstalován namísto původního poškozeného. Až dojde k opotřebování tohoto potenciometru, bude opět možné provést výměnu za podobný, nově zakoupený. Je třeba dbát nejen na odpovídající elektrický odpor potenciometru, ale i na to, aby měl lineární průběh, nikoliv logaritmický.

### 6.2 Výměna potenciometrů v ovládání motorů

Ovládací panel motorů (Throttle Quadrant) sestává ze šesti páček, kde ke každé z nich přísluší jeden potenciometr. Bohužel zde výrobce GoFlight nepoužil klasické potenciometry, ale velmi malé trimery, které mají nízkou mechanickou odolnost a relativně rychle se opotřebovují. Jelikož v roce 2015 začaly být všechny potenciometry velmi opotřebované a signál polohy pák v simulátoru velmi nekvalitní, bylo rozhodnuto o jejich výměně. Firma GoFlight poskytuje servisní balíček s náhradními díly k Throttle Quadrantu, který byl zakoupen a nainstalován. V případě dalších problémů je možno opět zakoupit tento servisní balíček a provést další výměnu.

### 6.3 Poruchy přístrojů

Stejně jako většina komponentů v tomto simulátoru, i přístroje trpí na časté opotřebování potenciometrů.

Dle konstrukce se přístroje v tomto simulátoru dělí na následující skupiny:

- Přístroje, které v sobě mají jen serva (příčemž serva obsahují opět své vlastní potenciometry) lze opravovat relativně jednoduchou výměnou serva zakoupeného

v modelářském obchodě. Sem patří rychloměr, umělý horizont, zatačkoměr a relativní příčný sklonoměr a variometr.

- Další přístroje používají upravená serva (odstraněný mechanický doraz) pro otáčení mechanickými částmi přístroje a pro zpětnou vazbu využívají potenciometry PIHER. Zde je možné při závadě serva (přístroj se neotáčí) vyměnit servo za nové (ručně upravit odebráním dorazu), případě při opotřevení potenciometru (záškuby ve zpětné vazbě z přístroje) vyměnit potenciometr za nový (jedná se o poměrně nepříjemné SMD pájení). Sem patří výškoměr, gyrokompas, magnetický kompas a indikátor ADF.
- Poslední skupinou jsou VOR indikátory, které používají neupravená serva pro pohyb svými indikátory, a PIHER potenciometry pro snímání zvoleného radiálu. Zde lze jednoduše určit, jestli je porucha v servech (nehýbou se indikátory), nebo v potenciometrech PIHER (přístroj nereaguje na otáčení OBS). Při výměně čehokoliv v indikátorech VOR je třeba dbát velmi vysoké opatrnosti, jelikož tyto přístroje byly již mnohokrát opravovány a nejsou mechanicky příliš odolné. Některé vodivé spoje na plošných spojích držících potenciometry PIHER jsou ulámané a nahrazené propojkami z vodičů.

Občasnou chybou je špatná indikace pravého výškoměru. Nastává několikrát do roka a lze jí jednoduše vyřešit kliknutím na tlačítko RESTART v ovládacím programu „Altimeter.exe“ (například když výškoměr ukazuje o 2000 stop více, než by měl).

Častým jevem jsou záškuby a zasekávání gyrokompasů. To je dáno velmi nevhodnou mechanickou konstrukcí přístrojů a dle výrobce je to normální jev, který nebyl odstraněn ani při záruční reklamaci. Rozebírání přístroje, výměna komponentů a promazávání nemá na tento jev téměř žádný vliv.

Většina USB přístrojů se občas zasekne, většinou stačí vypnout simulátor, odpojit přístroj od USB, opět připojit a zapnout počítač.

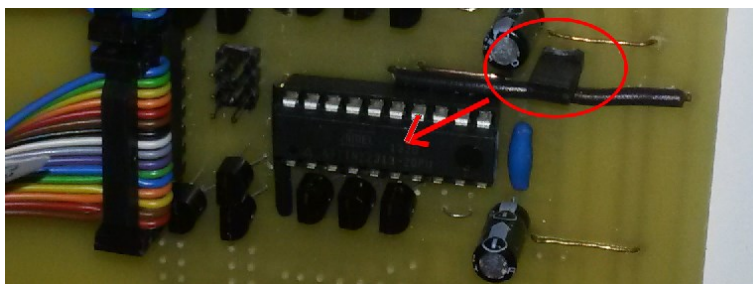
Několikrát se projevila chyba, kdy se indikátor desítek tisíc stop na levém výškoměru posunul vůči ostatním ručičkám téměř o celou desítku tisíc stop. Přístroj pak indikoval například 11230 stop namísto 1230 stop. Zde se povedlo přístroj vymontovat z palubní desky, sundat masku přístroje, a indikátor desítek tisíc stop ručně posunout.

Ty přístroje, které řídí originální software od výrobce Simkits lze překalibrovat pomocí původních nástrojů. Přístroje VOR lze překalibrovat pomocí aplikace SIMULATOR INSTRUMENTS (před kalibrací je nutné je v této aplikaci odpojit od simulátoru a vypnout automatické připojování, a po kalibraci je zase připojit a aktivovat automatické připojování). Kalibrace pravého výškoměru není v softwaru Altimeter.exe dostupná, ale je popsána v příložené dokumentaci – zatím nebyla prováděna).



## 6.4 Problémy s LED displeji autopilotu

Několikrát se vyskytl problém s displeji autopilotu. Na kartě DISP (viz popis autopilotu výše) se nachází dva řadiče LED displejů – jeden pro displej nastavené výšky, druhý pro displej vertikální rychlosti. Tyto řadiče jsou tvořeny mikroprocesory ATMEL ATTINY2313. Do mikroprocesorů byl jednorázově nahrán jejich firmware po dokončení stavby platformy FSBUS. Tento firmware je zřejmě v pořádku a nejsou s ním problémy. Problém je ovšem s adresou těchto mikroprocesorů ve FSBUS. Do každého z mikroprocesorů je nutné nahrát jeho adresu (CID), která se uloží v paměti EEPROM. Paměť typu EEPROM by měla být schopná udržet informace i po odpojení napájení. Zřídka se ale stane, že dojde ke ztrátě dat (tedy adresy CID) v jednom z těchto mikroprocesorů (častěji u řadiče displeje vertikální rychlosti). V takovém případě poté na displeji zůstane svítit poslední hodnota, ale FSBUS nemá nadále možnost displej ovládat. Jediné řešení je znovu nahrát příslušnou adresu CID do mikroprocesoru. Nahrání je popsáno v dokumentaci FSBUS (na přiloženém disku). Probíhá tak, že se fyzicky odpojí kabel od desky DIO a desky COM. Následně se na desce DISP odstraní všechny propojky kromě té, která přísluší mikroprocesoru, do kterého chceme CID nahrát (viz obrázek).



Obrázek 10: Propojka příslušící k danému mikroprocesoru

Dále je v aplikaci FSBUS nutné zastavit aktuální komunikaci (stisknutím tlačítka Stop), a následně v okně FSBUS Hardware Setup na záložce Set CID nastavit Controller ID na požadovanou hodnotu (například 23), a kliknutím na Flash CID jej nahrát to mikroprocesoru. Dále zavřít okno nastavení, obnovit běh komunikace kliknutím na zelené tlačítko Start, připojit kabel k desce DIO a vrátit zbývající propojky na desku DISP. Následně by mělo vše fungovat.

## 7 Instruktorská stanice

Jako pracoviště instruktora je využit jeden běžný počítač s operačním systémem Windows 7 a dvěma monitory.

Pro komunikaci s piloty v simulátoru slouží automaticky spuštěný klient Teamspeak 3. Vysílání je realizováno stiskem levého tlačítka CTRL (označeného samolepkou PTT).

Na instruktorské stanici je trvale spuštěn a minimalizován klient WideFS, což je program připojený přes místní síť k rozhraní FSUIPC, jehož proměnné zprostředkovává na počítači instruktora. Díky tomu mohou programy běžící na počítači instruktora přistupovat k proměnným v simulátoru stejně, jako kdyby běžely přímo na počítači simulátoru.

Hlavním nástrojem instruktora je program iStation. Pomocí iStation může instruktor ovládat počasí v simulátoru, závady na letounu, přemístit letoun na libovolné letiště v simulátoru (a zvolit, jestli má let začít na stání, na dráze, nebo ve vzduchu v dané pozici vůči dráze), měnit místní čas v simulátoru, sledovat letoun na mapě, zapínat zapisování letových údajů a ovládat nastavení simulace (rychlost běhu simulace, pozastavení, zmrazení polohy). Program iStation při spuštění ověřuje platnost licenčního klíče pomocí internetu – proto jej není možné spustit bez připojení k internetu. Jednou ročně je potřeba licenci za poplatek obnovit.

Dalším nástrojem instruktora je program FSXPand – jedná se o zobrazení letových, navigačních a motorových přístrojů na druhém monitoru instruktorské stanice. Tento program se k Flight Simulatoru nepřipojuje pomocí WideFS/FSUIPC, ale má vlastní serverovou část běžící na počítači simulátoru, a klientskou část na počítači instruktora. Vše jen přednastaveno, takže po spuštění dojde k automatickému propojení a zobrazení přístrojů levého pilota na monitoru instruktora.

## 8 iPady pilotů – Electronic Flight Bag

Každý z pilotů má k dispozici jeden iPad s elektronickými mapami. Původně byly na iPadech využívány aplikace firmy Jeppesen, dokud tato firma Fakultě dopravní poskytovala zdarma přístup k aktualizacím map.

V době, kdy bezplatná podpora firmy Jeppesen skončila, bylo rozhodnuto o přechodu na mapy stylu LIDO. Originální aplikace a aktualizace od společnosti Lufthansa Systems by nebyla cenově výhodná, avšak existuje odlehčená distribuce těchto map od společnosti Navigraph s mapami pouze pro použití v simulátorech. Tyto mapy jsou aktualizovány v intervalu 90 dní, což pro použití ve školním simulátoru zatím dostačuje. Navíc mají mapy Navigraph celosvětové pokrytí, na rozdíl od původně zdarma dostupných map Jeppesen, které byly k dispozici jen pro Evropu.

iPady jsou upevněny v držácích a pod palubní deskou je vyveden nabíjecí USB konektor. Toto řešení tedy představuje aproximaci EFB Class 2 se softwarem Type B. *EFB Class 2 jsou přenosná zařízení připojená k napájení z letadla prostřednictvím certifikovaného zdroje, umístěná v certifikovaném držáku, který umožňuje jejich použití po celou dobu letu. Software Type B je software s dynamickým obsahem jako letecké mapy nebo nástroje pro výpočet výkonu, vyvážení.*

## 9 Analýza možnosti certifikace školního simulátoru

### 9.1 Předpisová základna

Problematiku trenažerů a letových simulátorů letounů řeší v České republice certifikační specifikace EASA CS-FSTD(A), která specifikuje technické parametry daných zařízení, a dále část ORA nařízení Komise (EU) č. 1178/2011, která se zabývá organizacemi provozujícími FSTD. Tuto část ORA dále upřesňuje dokument Přijatelné způsoby průkazu (AM) a poradní materiál (GM) k Části ORA (dále jen AMC GM).

Certifikační specifikace CS-FSTD(A) je k dispozici (v době psaní této práce) pouze v originálním (anglickém) znění, Nařízení 1178/2011 a AMC GM jsou k dispozici v konsolidovaném znění vydaném českým ÚCL. Tyto poslední dva dokumenty budou pro účely této práce využívány výhradně v českém konsolidovaném znění.

#### 9.1.1 CS-FSTD(A)

Certifikační specifikace obsahuje úvodní ustanovení, terminologii a technické požadavky pro jednotlivé úrovně certifikace FSTD formou tabulky. Dále tato certifikační specifikace obsahuje vlastní Přijatelné způsoby průkazu (AMC) - v této části jsou popsány především testy prováděné pro vydání a udržení příslušného certifikátu pro provoz FSTD, a to formou tabulky a doplňujících textů v otevřené řeči.

#### 9.1.2 Nařízení (EU) č. 1178/2011

Nařízení se týká technických a správních požadavků týkajících se posádek v civilním letectví podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 216/2008 (1). Toto nařízení stanovuje prováděcí pravidla pro průkazy způsobilosti pilotů, certifikaci osob odpovědných za výcvik, zdravotní způsobilost, letecké lékaře a lékařské prohlídky, průkazy palubních průvodčích, osvědčení organizací pro výcvik, certifikaci zařízení a organizací pro výcvik pomocí letové simulace a systémy správy a řízení členských států. Tato pravidla jsou v předpisu rozdělena do jednotlivých hlav – nadále se budeme věnovat pouze hlavě ORA.

## 9.2 Analýza technických parametrů školního simulátoru pro účely certifikace

V následujících odstavcích bude provedena analýza požadavků pro certifikaci školního zařízení jako tzv. trenažér FNPT II MCC nebo jako BITD. FNPT II MCC je trenažér použitelný především pro výcvik IFR létání a součinnosti ve vícečlenné posádce (MCC), BITD je jednodušší zařízení použitelné omezeně pro základní výcvik pilotů. V případě certifikace jako FNPT II MCC by bylo školní zařízení (nazývané simulátor, ačkoliv se technicky jedná o trenažér a nikoliv simulátor) pravděpodobně reálně použitelné pro výcvik pilotů na ČVUT, avšak vzhledem k vysoké náročnosti této certifikace je prováděna analýza i pro méně náročnou certifikaci BITD, jejíž ekonomický přínos by ale nebyl tak výrazný. Následující analýza bude provedena procházením tabulky technických požadavků v CS-FSTD(A), kde u každého z požadavků, který se vztahuje buď na FNPT II MCC nebo na BITD, bude vyvozen závěr, jestli daný požadavek školní simulátor splňuje nebo nikoliv, a pokud nespĺňuje tak jak by bylo vhodné v případě usilování o certifikaci daný požadavek splnit – tedy jaké změny v simulátoru provést. Požadavky, které jsou v tabulce v CS-FSTD(A) uvedeny a nevztahují se ani na FNPT II MCC ani na BITD, ale na jiné úrovni certifikace, budou pro přehlednost vynechány.

### 9.2.1 Požadavky pro MCC výcvik

Následující požadavky je nutné splnit pro výcvik MCC na FNPT II MCC. V případě jejich nesplnění lze pokračovat k certifikaci FNPT II (bez MCC), avšak na vzniklém trenažéru je možné provádět jen IFR, a nikoliv MCC výcvik. V této části analýzy se jedná o požadavky na systémové vybavení simulovaného typu nebo kategorie letounu, nikoliv na technické řešení v simulátoru.

Červenou barvou textu jsou zvýrazněny požadavky, které školní simulátor významnou měrou nespĺňuje a musely by být řešeny.

- **Proudový nebo turbovrtulový pohon:** školní simulátor nespĺňuje, jelikož vychází z typu Beechcraft Baron 58, který je poháněn dvěma pístovými motory. Byla by možná úprava na turbovrtulový pohon například přechodem na letový a motorový model typu King Air 200, který je v Microsoft Flight Simulatoru k dispozici – letové a navigační přístroje by zůstaly bez úprav, avšak bylo by nutné kompletně přepracovat displej EICAS, aby namísto hodnot měřených na pístovém motoru zobrazoval hodnoty turbínového motoru. Tato úprava je proveditelná, ale vyžaduje značné množství skriptování ve formátu XML. Dále by bylo potřeba upravit popisky na ovládacích prvcích (například zapalování) tak, aby odpovídaly zvolenému motoru. V případě takovéto úpravy by bylo

vhodné zachovat i původní model s pístovými motory jako volitelný, a při spouštění simulátoru umožnit výběr požadovaného pohonu.

- Výkonové rezervy v případě vysazení motoru v souladu s CS-25: letové modely King Air 200 i Baron 58 splňují dle subjektivních pozorování s dostatečnou rezervou (jelikož jsou výkonnější než skutečné letouny, díky příliš optimistickému modelování v prostředí Microsoft Flight Simulatoru). Bylo by tedy pouze nutné provést příslušná měření na dokázání této shody.
- Zatahovatelný podvozek: školní simulátor splňuje
- **Systém přetlakování:** ve školním simulátoru není vůbec. Bylo by nutné vyrobit fiktivní panel ovládání přetlakování kabiny (alespoň s indikací kabinové výšky a rozdílového tlaku a možností jejich ovládání) a nainstalovat dvě fiktivní obličejové masky s mikrofony pro případ simulace ztráty přetlaku v kabině.
- **Systémy detekce a hašení požáru:** ve školním simulátoru nejsou, bylo by nutné je doprogramovat a vytvořit příslušné ovládací prvky. Vhodným řešením by bylo přidání alespoň tlačítka hasícího přístroje levého a pravého motoru. Indikaci požáru lze jednoduše doprogramovat do displeje EICAS. Logiku aktivace požáru od instruktora Microsoft Flight Simulator i použitá instruktorská stanice má.
- Zdvojené řízení: ve školním simulátoru je, pouze by bylo potřeba vyztužit osu ovládání výškového kormidla tak, aby berany vůči sobě nepružily.
- Autopilot s režimem letu přiblížení (APP): ve školním simulátoru je
- Dvě VHF komunikační radiostanice a **interkom v kyslíkových masách:** radiostanice ve školním simulátoru jsou, mikrofony a systém interkom do masek by bylo nutné zhotovit
- Dvě VHF navigační radiostanice: ve školním simulátoru jsou
- Přijímač ADF: ve školním simulátoru je
- Přijímač polohových návěstidel: ve školním simulátoru je
- Odpovídač sekundárního radaru: ve školním simulátoru je
- Přístroje: rychloměr, umělý horizont, výškoměr, variometr, ADF, VOR, indikátor přeletu polohových návěstidel a stopky: ve školním simulátoru jsou
- **Flight director v umělém horizontu a HSI:** v simulátoru nejsou, bylo by tedy nutné vyměnit umělý horizont a gyrokompas za umělý horizont s indikací Flight director a HSI (pro oba piloty identické).

#### 9.2.2 Technické požadavky pro FNPT II MCC a BITD

- Kokpit dostatečně uzavřený, aby nedocházelo k rušení posádky: ve školním simulátoru je, pouze by bylo vhodné doplnit zasklení oken tak, aby nedocházelo k rušení z instruktorské stanice umístěné v těsné blízkosti pravého okna.

- Spínače, přístroje, vybavení, panely, systémy a řízení dostatečné pro výcvikové potřeby a umístěné v prostorově správné části kokpitu: ve školním simulátoru je.
- Sedačky členů posádky nastavitelné: ve školním simulátoru jsou stavitelné horizontálně, což by mělo stačit (pro BITD není vyžadováno).
- **Jističe, které mají vliv na akce v kokpitu:** ve školním simulátoru nejsou žádné, pro certifikaci by tedy bylo nutné vytvořit panel s jističi. Pro BITD není vyžadováno.
- Letový model – postačuje takový, který odpovídá dané třídě letounů: letový model Microsoft Flight Simulatoru odpovídá daným třídám letounů (lehký dvoumotorový pístový letoun, popř. lehký dvoumotorový turbopultový letoun). Letová data nemusí odpovídat žádnému konkrétnímu skutečnému typu.
- Přístroje by měly automaticky odpovídat na příslušné vstupy: ve školním simulátoru odpovídají.
- Osvětlení panelů a přístrojů dostatečné pro potřeby výuky: ve školním simulátoru je. Není vyžadováno přímé napojení na simulovaný letoun (tedy lze interiérové osvětlení spínat například přímo na lampě).
- **Navigační vybavení odpovídající dané třídě letadla fungující v toleranci skutečných přístrojů:** pravděpodobně by školní přístroje neprospěly. Především gyrokompas a výškoměry často vykazují značné chyby dané jejich nevhodnou konstrukcí.
- Navigační data pro alespoň pět evropských letišť aktualizovaná každé 3 měsíce: šlo by zajistit zakoupením aktualizací skutečné jednotky GNS 530 od společnosti Garmin.
- Další dvě sedačky pro instruktora a examinátora: šla by použít současná lavice umístěná za simulátorem, která poskytuje adekvátní výhled do kokpitu.
- Systémy letounu fungující ve všech standardních, nestandardních a nouzových stavech dané třídy letounu: po doplnění hasících systémů (uvedeno výše) školní simulátor odpovídá.
- Instruktorská stanice s možností ovládat: polohu letounu, zamrazení letu, dynamické zakreslování polohy v průběhu přiblížení včetně vertikální situace: ve školním simulátoru je k dispozici.
- **Síly v řízení odpovídající dané kategorii letounů:** pro FNPT II MCC je nutné mít proměnné síly v řízení dle indikované rychlosti letu, pro BITD stačí odpovídající síly od pružin. Pro BITD by tedy měly stačit dostatečně kvalitně upravené současné síly v řízení, pro FNPT II MCC by bylo potřeba řízení kompletně vyměnit.
- Pozemní fyzikální model umožňující podrovnání a přistání: ve školním simulátoru je k dispozici
- Ovládání počasí z instruktorské stanice: ve školním simulátoru je k dispozici

- Transportní zpoždění ne výše než 300 ms (zpoždění mezi vstupem od pilota a viditelným výstupem ze simulátoru): bude diskutováno samostatně
- Simulace námrazy draku a motorů (pouze pro FNPT): ve školním simulátoru funguje.
- Zápisník letů: bylo by nutné doplnit.
- Vizualní systém s rozsahem 45° horizontálního úhlu pohledu a 30° vertikálního úhlu pohledu: ve školním simulátoru je k dispozici. Pro BITD není vizualní systém vůbec vyžadován.
- **Prostředek pro záznam odezvy vizuálního systému** (pouze pro FNPT): ve školním simulátoru není k dispozici.
- **Vizualizační systém bez optických nespojitostí** (pouze pro FNPT): ve školním simulátoru jsou dva předěly mezi plátny, bylo by nutné postavit spojitou projekční plochu.
- Zvukový systém s význačnými zvuky z kokpitu (pro BITD stačí zvuky motorů): ve školním simulátoru je k dispozici.

### 9.3 Výsledek analýzy technických požadavků

V současném stavu simulátor nesplňuje požadavky ani pro BITD ani pro FNPT II MCC. Doplnění simulátoru tak, aby jej bylo možné certifikovat jako FNPT II MCC se zdá být tak rozsáhlá, že by šlo prakticky o kompletní přestavbu simulátoru, ze kterého by zůstala zachována kabina, palubní deska bez přístrojů, displej EICAS a ovládací panely na středovém pultu. Doplnění pro požadavky BITD se jeví jako méně náročné a vhodnější s ohledem na to, aby nebylo nutné zlikvidovat většinu doposud postaveného simulátoru.

Pro certifikaci jako BITD by bylo nutné doplnit nebo změnit (jen seznam významných změn): přesnější navigační přístroje a doladit mechaniku pružinových sil v řízení.

Pro certifikaci jako FNPT II MCC by bylo nutné navíc oproti BITD doplnit nebo změnit (jen seznam významných změn): model turbovrtulového pohonu, systém přetlakování, systém detekce a hašení požáru, kyslíkové masky s interkomem, umělý horizont pro každého z pilotů s flight directorem a HSI, jističe, dynamické síly v řízení, prostředek pro záznam odezvy vizuálního systému, spojitou projekční plochu.

### 9.4 Transportní zpoždění

Jedním z požadavků CS-FSTD(A) je transportní zpoždění ne vyšší než 300 milisekund. Je požadováno měření od vstupu vyvolaného pilotem, až po výstup, který pilot může pozorovat. Kdyby bylo využito reálné avioniky, je možné přirozené zpoždění těchto přístrojů odečíst.



Pro ověření transportního zpoždění v současném simulátoru byl vybrán indikátor VOR. V tomto přístroji je snímána poloha OBS, která je přes USB (emulovaný sériový port) přenesena do počítače, kde je vyhodnocena a podle aktuální polohy vůči naladěnému majáku je do přístroje vyslán signál pro pohyb CDI.

Jako jednoduché a levné měření bylo využito snímání videa s rychlostí 30 snímků za sekundu. Toto video bude následně vyhodnoceno, a zaznamenán počet snímků, které uplynou mezi pozorovatelnou akcí pilota (rychlé otočení OBS) a pohybem CDI. Video bylo přehráváno pomocí přehrávače VLC, kde v pozastaveném stavu bylo klávesovou zkratkou „následující snímek“ video posouváno tak, aby bylo možné snímky počítat. Následující tabulka znázorňuje provedená měření v rámci jednoho videa. Jeden snímek tedy odpovídá 0,033 s, a požadavek předpisu je, aby zpoždění nebylo více než 0,3 sekundy.

Číslo měření	Počet snímků mezi pohybem OBS (pilot) a pohybem CDI (přístroj)	Vypočítané transportní zpoždění (s)
1	7	0,23
2	6	0,2
3	8	0,27
4	6	0,2

Z výsledků měření vyplývá, že současný stav simulátoru splňuje požadavek na transportní zpoždění, a princip připojování přístrojů přes USB je možné využívat i při stavbě certifikovaného zařízení.

## 9.5 Návrh řešení úprav simulátoru

### 9.5.1 Palubní přístroje

Současné přístroje od společnosti Simkits jsou, jak se provozem ukázalo, nepřesné a nespolehlivé. Jejich přestavbami, které byly na Fakultě dopravní realizovány, lze řešit nevhodné softwarové a elektronické řešení od výrobce, ale nikoliv vlastní nevhodnou plastovou konstrukci, která do přístrojů značnou část nespolehlivosti vnáší.

Jedním z řešení by bylo zakoupení jiných přístrojů. Přímou konkurencí produktové řady společnosti Simkits jsou přístroje společnosti Flight Illusion. Společnost Flight Illusion vyrábí taktéž plastové přístroje, avšak k jejich pohonu používá kvalitnější elektromechanické díly, prověřené aplikací v automobilovém průmyslu pro pohyb indikátorů otáčkoměru, tachometru, a dalších analogových zobrazovačů. Přibližné náklady na výměnu všech současných přístrojů

za přístroje společnosti Flight Illusion jsou 100 000 Kč (jedná se o zakoupení 19 přístrojů a 1 řadiče). Tato výměna by pravděpodobně zajistila splnění požadavků pro BITD certifikaci.

Bohužel pro účely FNPT II MCC certifikace nejsou v nabídce společnosti Flight Illusion k dispozici přístroje představující umělý horizont s Flight Directorem, a HSI. Tyto přístroje nejsou k dostání ani od jiné firmy jako hotové produkty k připojení k Microsoft Flight Simulatoru. Pravděpodobně jediným řešením by bylo zakoupení skutečných přístrojů a jejich zakázková přestavba pro ovládání hodnotami ze simulátoru. Přibližná cena jednoho HSI je při nákupu bazarového přístroje od 10 000 Kč výše (březen 2017; ebay.com), při nákupu nového přístroje pak 330 000 Kč (březen 2017, beidixking.com, indikátor KI 525A). Cena bazarového umělého horizontu s Flight Directorem je od 8 000 Kč výše (březen 2017, ebay.com), při nákupu nového přístroje 630 000 Kč (březen 2017, bendixking.com, indikátor KI 256). Od každého z těchto přístrojů by bylo nutno zakoupit 2 kusy. Cena stavby interface modulu pro připojení těchto přístrojů by se pohybovala pravděpodobně řádově v desítkách tisíc (dle předchozích zkušeností se stavbou řadičů pro přestavěné přístroje Simkits).

Zajímavou alternativou řešení umělého horizontu s Flight Directorem a HSI by byla instalace simulovaného zařízení Aspen Avionics – Evolution Flight Display. Ve skutečném letectví se jedná o zařízení společnosti Aspen Avionics, které je určeno především pro zástavbu do starších letounů jako náhrada umělého horizontu a HSI. Zařízení Evolution Flight Display je LCD displej zobrazující umělý horizont (případně syntetický terén) a digitální HSI. Pro účely letové simulace je k dispozici simulační software tohoto produktu od společnosti Flight1 (za cenu 850 Kč za licenci), a USB hardware od společnosti Ruscool (za cenu 15 000 Kč za kus, přičemž by bylo potřeba zakoupit dva kusy). Skutečná avionika Aspen je na následujícím obrázku.



Obrázek 11: Avionika Aspen (zdroj [www.aspenavionics.com/products/general-aviation/evolution-1000](http://www.aspenavionics.com/products/general-aviation/evolution-1000))

Další možností řešení palubních přístrojů by byla demontáž současných přístrojů Simkits a použití LCD monitoru umístěného za palubní deskou k zobrazování všech přístrojů, jako je tomu ve druhém simulátoru na Fakultě dopravní – v simulátoru Cessna 182 RG. Toto řešení je pro FNPT II MCC i pro BITD dle směrnice CS-FSTD(A) přípustné. Náklady na takovéto řešení by sestávaly ze zakoupení dvou LCD monitorů (typická cena za 27“ monitor je v březnu 2017 na serveru alza.cz přibližně 5000 Kč), a jedné licence na software Air Manager společnosti Sim Innovations za 800 Kč. V prostřední software Sim Innovations je možné vytvoření libovolného rozložení simulovaných palubních přístrojů z již připravených indikátorů, nebo programování vlastních. Odezva a přesnost vzniklého kokpitu již z principu zobrazování na LCD displeji vysoce převyšuje skutečné mechanické přístroje, a tudíž i požadavky CS-FSTD(A).

### 9.5.2 Primární řízení

Současné primární řízení principiálně funguje a odpovídá reálnému letadlu, ale jeho mechanické zpracování není dostatečně kvalitní a certifikací by neprošlo. Hlavním problémem je osa výškového kormidla. Nosná konstrukce je poddimenzovaná a pokud na berany vyvinou protisměrnou sílu oba piloti, berany ve směru osy výškového kormidla vzájemně pruží. Další problém je drhnutí osy výškového kormidla způsobené nevhodnou volnou kluzného ložiska za

palubní deskou, ve které tyče od beranů zadržávají. Důvodem je, že se tyče od beranů při změně výchyly výškového kormidla lehce naklání (což je způsobeno tím, že kloub, který je drží, opisuje trajektorii oblouku se středem na podlaze), avšak kluzná ložiska jsou upevněna trvale čistě vodorovně bez možnosti náklonu.

Pedály v současném simulátoru jsou propojené dvěma torzními tyčemi, které fungují, ale jejich sešroubování s vlastními pedály obsahuje vůle.

Pro certifikaci BITD stačí kvalitně udělané řízení s pružinami vytvářejícími odpovídající „aerodynamické“ síly. V případě BITD certifikace by tedy bylo pravděpodobně vhodné překonstruovat současné řízení tak, aby bylo tužší, nezasekávalo se, a doplnit o silnější pružiny, odpovídající silám v řízení skutečného letounu. Pedály by bylo vhodné doplnit novými torzními tyčemi s lepším mechanickým propojením na osy otáčení. Dle zkušeností s konstrukcí současného řízení se neočekává, že by náklady na takovouto úpravu přesáhly hranici 10 000 Kč.

V případě certifikace FNPT II MCC jsou vyžadovány dynamicky proměnné síly v řízení, namísto pružin. Zde se jako nejjednodušší a nejdostupnější řešení jeví zakoupení hotového produktu společnosti BRUNNER Elektronik AG. Společnost Brunner nabízí berany a pedály, každou jednotku jako samostatné zařízení s elektromotory vytvářejícími síly v řízení. Spojení mezi řízením pilota a kopilota je vytvořeno elektronicky digitálně, tedy v případě působení síly jednoho pilota na řízení se řízení druhého pilota pohybuje pomocí elektromotorů. Pedály společnosti Brunner stojí 47 000 Kč (bylo by potřeba zakoupit dvě sady), berany stojí 50 000 Kč (také by bylo potřeba zakoupit dvě sady). Obrázek zachycuje sadu pedálů a beranů pro jednoho pilota.



Obrázek 12: Berany a pedály od společnosti Brunner (zdroj: [www.brunner-innovation.swiss](http://www.brunner-innovation.swiss))

## 9.6 Vizualizace

V současné době je pro logiku letounu, aerodynamický model i vykreslování okolní scenerie použit program Microsoft Flight Simulator X, kvůli své jednoduchosti a cenové dostupnosti. Bohužel ale neumí naplno využívat výkonu hardware moderního počítače, takže dochází k občasnému poklesu počtu snímků za sekundu. Navíc, protože byl tento program vyvinut jako hra, a nikoliv jako výcvikový nástroj, nedisponuje způsobem měření a zobrazování odezvy – což je požadavek certifikační specifikace pro FNPT II MCC.

Na trhu jsou k dispozici dvě potenciálně vhodná řešení pro nový simulační software – Prepar3D od společnosti Lockheed Martin, a X-Plane od společnosti Laminar Research.

Program Prepar3D je vyvíjen jako pokračovatel platformy Microsoft ESP, což byl simulátor technologicky identický s Flight Simulator X, pouze určený pro profesionální komerční využití. Díky této návaznosti je architektura Prepar3D rámcově podobná Flight Simulatoru X, a je mezi těmito simulátory částečná kompatibilita. S největší pravděpodobností by tedy šel celý model Beechcraft Baron 58, který využívá školní simulátor, přesunout do Prepar3D včetně EICAS displeje. Bylo by nutné pouze zakoupit nový software pro Garmin GNS 530W, jelikož současná verze od společnosti RealityXP není s Prepar3D kompatibilní, avšak společnost Flight1tech dodává profesionální licenci adekvátního software pro Prepar3D. Hlavní nevýhoda Prepar3D je, že program jako takový, stejně jako Flight Simulator X, nedisponuje nástrojem pro měření odezvy vizualizačního systému, který by tedy bylo nutné vyvinout samostatně. Cena profesionální licence Prepar3D je 5000 Kč, a cena potřebné GNS od společnosti Flight1tech je 3800 Kč.

X-Plane je vyvíjen společností Laminar Research již v jedenácté verzi, a je zcela odlišný od Prepar3D. Hlavní výhodou je lepší využití moderního hardware, tudíž plynulejší běh při vyšším nastavení detailů grafiky, a pokročilejší letový model. Nevýhodou je nekompatibilita s čímkoliv, co bylo naprogramováno pro Flight Simulator X nebo Prepar3D, takže by bylo nutné znovu vytvořit displej EICAS (například ve výše zmiňovaném programu Air Manager, běžícím mimo samotné okno X-Plane. Dále by bylo potřeba zakoupit správnou verzi simulace Garmin GNS 530W pro X-Plane, kterou nabízí společnost Reality XP. Cena profesionální licence X-Plane je 19 000 Kč, a cena GNS 530 je 1300 Kč. X-Plane má vestavěný nástroj na měření odezvy vizualizačního systému, který je schválený FAA, a lze jej použít pro certifikační účely.

Dalším z požadavků je spojitá projekční plocha. Zde se jako nejjednodušší řešení zdá zakoupení zahnutého projekčního plátna od australské společnosti NatVIS, které lze zakoupit řádově za 120 000 Kč (konkrétní cena dle přesné specifikace zákazníka).

## 9.7 Další vybavení kokpitu

### 9.7.1 Jističe

Panel jističů by bylo možné vyrobit jako vstupní zařízení pro letový simulátor – tedy tak, aby bylo snímáno ruční rozpojení obvodu, nicméně není vyžadována možnost dálkového vypnutí jističe instruktorem.

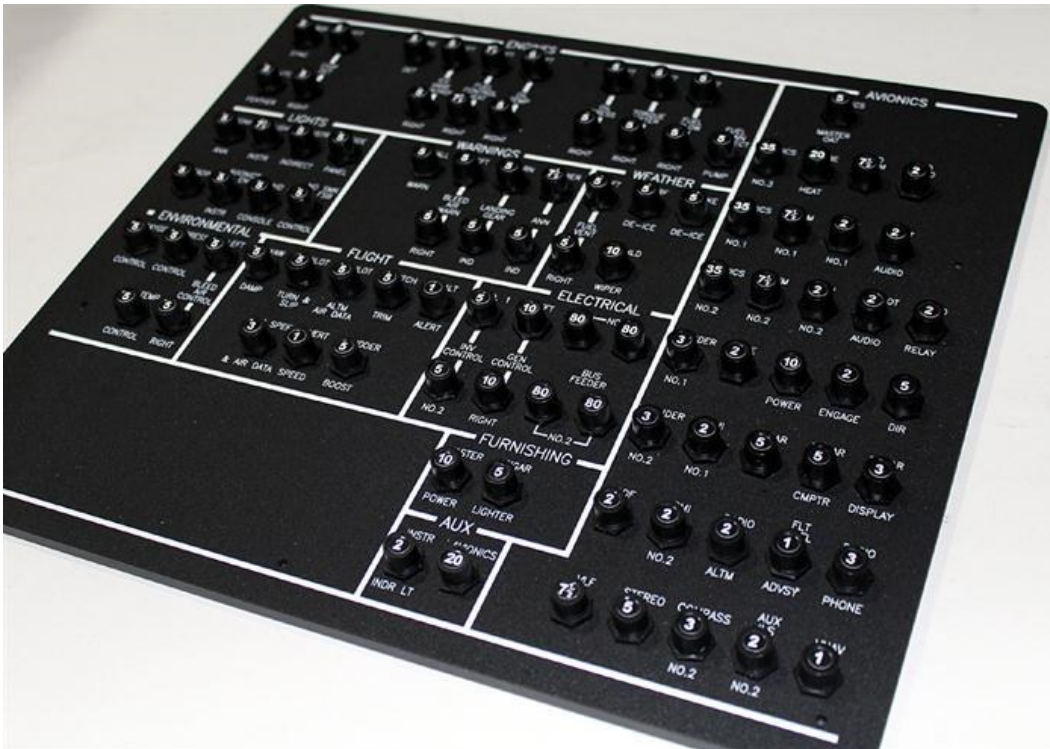
Jističový panel pro stavbu simulátoru nabízí společnost Ruscool, ve verzi pro Beechcraft King Air. Panel je rozdělen na dvě části – jističe palivového systému a ostatní jističe.

Panel jističů palivového systému stojí 3900 Kč. Panel ostatních jističů stojí 8900 Kč. Ceny jsou uvedeny pouze za panely a jističe, bez elektroniky pro připojení k počítači. Dále je nutné uvažovat cenu za elektronické komponenty pro připojení k simulátoru, řádově do 1000 Kč (dle zkušeností z předchozích prací na simulátoru). Obrázky znázorňují panely dodávané firmou Ruscool.



Obrázek 13: Panel jističů palivového systému (zdroj: [www.ruscool.co.nz/king\\_air\\_b200.html](http://www.ruscool.co.nz/king_air_b200.html))





Obrázek 14: Panel ostatních jističů (zdroj: [www.ruscool.co.nz/king\\_air\\_b200.html](http://www.ruscool.co.nz/king_air_b200.html))

### 9.7.2 Panel přetlakování a kyslíkové masky s interkomem

Letoun Beechcraft Baron není vybaven přetlakováním kabiny, tudíž by se jednalo o fiktivní instalaci ve školním simulátoru. Z logiky ovládání přetlakování kabiny je potřeba alespoň ovládání kabinové výšky, indikace kabinové výšky a indikace rychlosti stoupání/klesání kabiny. Vhodné komponenty nabízí také společnost Ruscool, konkrétně panel ovládání kabinové výšky za 1600 Kč, a panel s indikátorem kabinové výšky/rozdílového tlaku a kabinovým variometrem za 2300 Kč. Elektronika pro připojení k PC řádově do 500 Kč.



Obrázek 15: Panel nastavení kabinové výšky (zdroj: [www.ruscool.co.nz/king\\_air\\_b200.html](http://www.ruscool.co.nz/king_air_b200.html))



Obrázek 16: Indikátory přetlakování kabiny (zdroj: [www.ruscool.co.nz/king\\_air\\_b200.html](http://www.ruscool.co.nz/king_air_b200.html))

Kyslíkové masky s interkomem je jediná vhodná možnost zakoupit vyřazené ze skutečného letounu. Na serveru ebay.com jsou pravidelně k dispozici starší kyslíkové masky s mikrofonom, řádově za cenu 2000 Kč (+ 1000 Kč doprava z USA) – přibližně takové, jako na obrázku.





Obrázek 17: Kyslíková maska (zdroj [www.ebay.com](http://www.ebay.com))

Nejjednodušší moduly interkomu (tedy jen zprostředkování komunikace mezi dvěma členy posádky) jsou na serveru [ebay.com](http://www.ebay.com) k dispozici od 2000 Kč (jedná se o použité díly).

### 9.7.3 Požární systém

Posledním z požadavků pro FNPT II MCC simulátor je systém indikace a hašení požáru motorů. Indikace by šla doprogramovat do současného displeje EICAS, pouze by bylo vhodné přidat podsvícená tlačítka fire warning, jejichž stisknutím se ztiší akustická indikace požáru. Tato tlačítka je možné přímo připojit na již existující panel FSBUS, který je ve školním simulátoru využit pro systém autopilotu. Vhodná tlačítka (jsou potřeba 2 kusy) jsou k dispozici například na portálu [aviationmegastore.com](http://aviationmegastore.com) (na obrázku) za cenu 770 Kč/kus.



Obrázek 18: Indikátor požáru (zdroj [www.aviationmegastore.com](http://www.aviationmegastore.com))

Dále by bylo nutné vytvořit ovládací páky, táhla nebo tlačítka požárního systému, kterými se uzavře přívod paliva do hořícího motoru a aktivuje hasící přístroj. Vhodný panel ve stylu Beechcraft King Air nabízí společnost Ruscool za cenu 2700 Kč za sadu pro levý a pravý motor, viz obrázek.



Obrázek 19: Panely požárního systému (zdroj [www.ruscool.co.nz/king\\_air\\_b200.html](http://www.ruscool.co.nz/king_air_b200.html))

## 9.8 Postup při certifikaci FNPT II MCC

Následující popis vychází z informací od pana Ing. Jana Krámka, který pro ÚCL vykonává činnosti související s letovými simulátory. Dále je tento popis upřesněn o informace z dříve uvedené legislativy.

V případě simulátoru na Fakultě dopravní je fakulta zároveň výrobcem i provozovatelem simulátoru, tudíž se na ni vztahují všechny příslušné povinnosti. Po dokončení stavby trenažeru odpovídajícího CS-FSTD(A) by bylo nutné vypracovat dokument QTG.

QTG je dokument navržený k prokázání, že výkony a chování FSTD jsou v předepsaných limitech typu, nebo třídy letounu nebo vrtulníku, a že všechny vztahující se požadavky byly splněny. QTG obsahuje jak data typu nebo třídy letounu nebo vrtulníku, tak data FSTD použité pro potřeby certifikace. (2)

Pro potřeby QTG by byla navržena metodika provádění jednotlivých testů, které jsou popsány v části AMC3 FSTD(A) předpisu CS-FSTD(A). Vlastní volba metodiky je v odpovědnosti Fakulty dopravní, avšak musí být obhajitelná při ÚCL certifikaci. Výsledky testů, popis

metodiky testů a vysvětlení, jak bylo dosaženo shody s požadavky CS-FSTD(A) spolu vytváří Prohlášení o shodě, ze kterých se QTG skládá.

Způsoby průkazu (metodiky) splnění CS-FSTD(A) je povinnost předložit ÚCL ke schválení před zahájením jejich využívání pro potřeby testů.

Data naměřená v testech pro prvotní certifikaci FSTD jsou označena jako Master data. Při certifikaci provede ÚCL kontrolní přeměření přibližně jedné třetiny testů, které byly pro tvorbu QTG provozovatelem FSTD provedeny.

Dokument QTG by měl pro prvotní hodnocení, dle AMC k GM k Části ORA, obsahovat typ FSTD (školou vymyšlené označení) a označení úrovně FNPT II MCC, technickou specifikaci (například z této diplomové práce), datum uvedení do provozu, hostitelský počítač, popis vizuálního systému, typu instruktorské stanice, příručku letadla (klidně i sepsanou na míru pro fiktivní typ letadla), informace o plánovaných modifikacích a subjektivních přetrvávajících závadách, informaci o vizuální scéně letišť a stav jednotlivých zkoušek.

Pro opakované hodnocení by měl svazek obsahovat program hodnocení, stav položek zjištěných během posledního hodnocení a datum jejich uzavření (3), údaje o spolehlivosti při výcviku, seznam uživatelů a nalétaných hodin za posledních 12 měsíců, záznamy o poruchách, změny hardware a software a výsledky interních auditů.

První část žádosti o prvotní osvědčení FSTD se předkládá nejpozději 3 měsíce před certifikací. Objektívni zkoušky QTG se předkládají nejpozději 30 dní před certifikací (ačkoliv stačí nekompletní soubor zkoušek s tím, že lze uvést které testy ještě nebyly provedeny, nebo nevyšly a budou muset být dodělány). Tyto zbývající zkoušky lze dokončit až do 3 týdnů před certifikací. 7 dní před certifikací je nutné zaslat prohlášení týmu zkušebních pilotů, kteří se na testování FSTD podíleli, že je dané FSTD vhodné a funkční.

## 9.9 Zachování osvědčení způsobilosti FSTD

K zachování osvědčení způsobilosti FSTD musí držitel tohoto osvědčení vykonat postupně během období 12 měsíců kompletní soubor zkoušek, které jsou uvedeny v hlavní příručce pro osvědčující zkoušku (MQTG), a dále též soubor funkčních a subjektivních zkoušek. (1)

Zkoušky pro zachování osvědčení jsou porovnávány s Master daty, naměřenými při prvotní certifikaci a je sledováno, jestli odchylky od dat zkoušky pro zachování osvědčení se od Master dat neliší více, než jak je popsáno v CS-FSTD(A).

### 9.10 Požadavky na organizaci provozující FSTD

Požadavky na organizaci provozující FSTD jsou stanoveny v Nařízení (EU) č. 1178/2011, Části ORA, Hlava GEN. Vzhledem ke skutečnosti, že tyto požadavky na organizační strukturu jsou shodné jak pro provozovatele FSTD, tak pro Schválenou organizaci pro výcvik, kterou již Ústav letecké dopravy je (CZ / ATO – 010), bylo by možné již existující organizační strukturu využívat pro provoz FSTD. Stejně tak by se již existující organizační struktura Fakulty dopravní, respektive Ústavu letecké dopravy postarala o náležitosti Bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v laboratoři, kde je simulátor umístěn.

Ústav letecké dopravy by dále musel vytvořit Program sledování shody sledující provoz FSTD, jeho údržbu, technické normy a bezpečnostní prvky FSTD. Sám Ústav letecké dopravy by následně prováděl interní audity sledující provoz FSTD.

### 9.11 Modifikace FSTD

Provozovatel FSTD má povinnost informovat ÚCL o významných změnách ve FSTD. ÚCL následně rozhodne, jestli provede zhodnocení změny, nebo ne. Mezi významné změny (aktualizace) patří všechny změny ovlivňující QTG, nová simulovaná zařízení (palubní počítače, varovné systémy...), aktualizace aerodynamických dat a simulačního software. Nová certifikace se vyžaduje pouze tehdy, pokud dochází ke změně. kategorie FSTD.

### 9.12 Vedení záznamů

Po celou dobu životnosti je provozovatel FSTD nucen uchovávat základní QTG, osvědčení z prvního hodnocení a zprávu z prvního hodnocení. Po dobu 5 let pak opakovaná provedení QTG testů, zprávy z opakovaných hodnocení, zprávy o interních funkcích a subjektivním zkoušení, technický deník, zprávy CMS, plán auditů, program hodnocení, zprávy z hodnocení vedením a nahrazené postupy a formuláře (3).

## 10 Ekonomická analýza dostupných možností certifikace simulátoru

V této kapitole budou shrnuty očekávané náklady na doplnění současného simulátoru tak, aby jej bylo možné certifikovat jako BITD, a na přestavbu simulátoru na úroveň FNPT II MCC. Dále budou odhadnuty ceny komponentů, které v simulátoru nyní jsou a které by bylo potřeba odstranit. Jako alternativní řešení bude odhadnuta cena stavby nového FNPT II MCC.

Tam, kde bylo nalezeno několik alternativních řešení bylo vybráno to neekonomičtější, případně nejjednodušší.

### 10.1 Přestavba na BITD

Následující tabulka shrnuje ceny za potřebné komponenty pro přestavbu současného simulátoru na zařízení, které by pravděpodobně bylo možné certifikovat jako BITD. Ceny jsou přibližné a odpovídají směnnému kurzu eura a amerického dolaru v dubnu 2017.

Tabulka 1: Cena přestavby na BITD

Položka	Počet	Cena za kus (Kč)	Cena celkem (Kč)
LCD monitory pro přístroje	2	5000	10000
Licence SW Air Manager	1	800	800
Úprava mechaniky pružin v řízení	1	10000	10000
<b>Cena celkem</b>			<b>20800</b>

Další tabulka zahrnuje hodnoty komponentů, které by byly při přestavbě odstraněny – tedy odepsané již zaplacené náklady.

Tabulka 2: Cena odepsaných komponent při přestavbě na BITD

Položka	Počet	Hodnota za kus (Kč)	Hodnota celkem (Kč)
Rychloměr Simkits	2	4100	8200
Umělý horizont Simkits	2	6600	13200
Výškoměr Simkits	2	9040	18080
Zatáčkoměr Simkits	2	6600	13200
Gyrokompas Simkits	2	8400	16800
Variometr Simkits	2	4100	8200
VOR1 indikátor Simkits	2	9700	19400
VOR2 indikátor Simkits	2	8100	16200
ADF indikátor Simkits	2	7300	14600
Cena přestavby VOR přístrojů	1	15000	15000
Cena přestavby výškoměru	1	10000	10000
USB rozbočovač	2	500	1000
<b>Odepsáno celkem</b>			<b>153880</b>

Z výpočtu vyplývá, že v případě přestavby současného simulátoru tak, aby jej bylo možné certifikovat jako BITD by byly náklady 20 800 Kč, a bylo by odepsáno 153 880 Kč z již zaplacených nákladů.

## 10.2 Přestavba na FNPT II MCC

Následující tabulka shrnuje ceny za potřebné komponenty pro přestavbu současného simulátoru na zařízení, které by pravděpodobně bylo možné certifikovat jako FNPT II MCC. Ceny jsou přibližné a odpovídají směnnému kurzu eura a amerického dolaru v dubnu 2017.

Tabulka 3: Cena přestavby na FNPT II MCC

Položka	Počet	Cena za kus (Kč)	Cena celkem (Kč)
LCD monitory pro přístroje	2	5000	10000
Licence SW Air Manager	1	800	800
Berany	2	50000	100000
Pedály	2	47000	94000
Profesionální licence X-Plane	1	19900	19900
Licence GNS 530	1	1300	1300
Projekční plátno NatVis	1	120000	120000
Panely jističů	1	13800	13800
Panel přetlakování	1	4400	4400
Kyslíkové masky s mikrofony	2	2500	5000
Interkom	1	2000	2000
Požární systém	1	4240	4240
<b>Cena celkem</b>			<b>375440</b>

Další tabulka zahrnuje hodnoty komponentů, které by byly při přestavbě odstraněny – tedy odepsané již zaplacené náklady.



Tabulka 4: Cena odepsaných komponent při přestavbě na FNPT II MCC

Položka	Počet	Hodnota za kus (Kč)	Hodnota celkem (Kč)
Rychloměr Simkits	2	4100	8200
Umělý horizont Simkits	2	6600	13200
Výškoměr Simkits	2	9040	18080
Zatáčkoměr Simkits	2	6600	13200
Gyrokompas Simkits	2	8400	16800
Variometr Simkits	2	4100	8200
VOR1 indikátor Simkits	2	9700	19400
VOR2 indikátor Simkits	2	8100	16200
ADF indikátor Simkits	2	7300	14600
Cena přestavby VOR přístrojů	1	15000	15000
Cena přestavby výškoměru	1	10000	10000
Berany Simkits	2	13400	26800
Pedály Simkits	2	21500	43000
USB rozbočovač	2	500	1000
<b>Odepsáno celkem</b>			<b>223680</b>

Z výpočtu vyplývá, že v případě přestavby současného simulátoru tak, aby jej bylo možné certifikovat jako FNPT II MCC by byly náklady 375 440 Kč, a bylo by odepsáno 223 680 Kč z již zaplacených nákladů.

### 10.3 Stavba nového FNPT II MCC

V následujícím textu bude nastíněna možnost stavby nového školního simulátoru tak, aby byl od počátku navržen s ohledem na budoucí možnost certifikace jako FNPT II MCC.

#### 10.3.1 Výběr typu letounu

S ohledem na požadavek, aby simulátor představoval přetlakovaný vícemotorový letoun s turbínovým pohonem je vhodné simulátor od samého začátku koncipovat tak, aby byl založen na jednom typu letounu, který tyto požadavky splňuje. Pro výcvikové účely je ovšem vhodné snažit se vybrat co nejjednodušší typ letounu, který bude pro piloty ve výcviku pochopitelnější, nebude vyžadovat detailní znalost konkrétních systémů daného letounu a letovými vlastnostmi se bude blížit cvičným letounům pohonem pístovými motory, na kterých probíhá pilotní výcvik. Z tohoto důvodu je vhodné nevybírat jako předlohu velký dopravní letoun, ale snažit se vybrat co nejmenší letoun, který splňuje požadavky.

Dále je vhodné preferovat typ, který je dostatečně rozšířený a známý, a bude pro něj jednodušší sehnat kvalitní podklady (model do letového simulátoru, letová data pro účely

certifikace, letovou příručku) a díly (ať už z reálného letadla – většinou bazarové, nebo druhovýrobu přímo určenou pro stavbu simulátorů).

Z výše uvedených požadavků vyplývají následující vhodné typy letonů:

- Beechcraft King Air: dostupné modely pro simulátor Prepar3D i X-Plane, dostatek dokumentace online (například na [www.smartcockpit.com](http://www.smartcockpit.com)), díly pro stavbu simulátoru verze B200 vyrábí firma Ruscool, hardware odpovídající avioniky firma Flight Illusion.
- Beechcraft 1900: dostupné modely pro simulátor Prepar3D i X-Plane, dokumentaci lze online levně zakoupit (například [www.essoaircraft.com](http://www.essoaircraft.com)), díly pro stavbu simulátoru se nevyrábí a nepodařilo se je najít ani v bazaru ze skutečného letounu
- Royal Turbine Duke: dostupný velmi kvalitní model pro Prepar3D, dokumentace částečně dostupná online, díly pro stavbu simulátoru se nevyrábí
- Airbus A320 / Boeing B737 NG: dostupný excelentní simulační software (fungující samostatně, využívající Prepar3D nebo X-Plane pouze pro vykreslení okolní krajiny (balíčky firem [prosim-ar.com](http://prosim-ar.com) nebo [projectmagenta.com](http://projectmagenta.com)), kompletní dokumentaci (letovou, údržbovou, výcvikovou) lze najít online zdarma, velmi široká nabídka hardware pro stavbu simulátoru (ve velkém cenovém rozpětí podle požadované kvality), množství dílů z vyřazených letadel v nabídce v bazarech (především [ebay.com](http://ebay.com)). Nevýhodou je vysoká komplikovanost těchto typů letadel, a tudíž jejich nevhodnost pro základní IFR výcvik. Výhoda je v komplexnosti simulačního software, takže by u výsledného simulátoru bylo možné uvažovat o FTD certifikaci.

### 10.3.2 Projekt stavby simulátoru založeného na typu King Air

V případě stavby simulátoru svépomocí v prostředí univerzity se očekává, že by byly zakoupeny složitější díly a zařízení, ale vlastní kompletace by proběhla až v laboratoři. Pro stavbu simulátoru založeného na typu King Air doporučuji nechat vyrobit vlastní konstrukci simulátoru specializované firmě (podobně, jako tomu bylo u současného simulátoru) – jelikož tato konstrukce obnáší velký rozsah svařování a lakování, což jsou činnosti ve škole obtížně realizovatelné. Dle zkušeností z předchozích projektů odhaduji cenu za stavbu samotné konstrukce přibližně na 100 000 Kč.

Dále je potřeba postupovat od nejsložitějších k jednodušším částem simulátoru. Volil bych proto zakoupení primárního řízení od firmy Brunner (jedná se o stejné řízení, které je v této práci navrženo pro případ přestavby současného simulátoru na FNPT II MCC). Berany pro jednoho pilota stojí 50 000 Kč, pedály nožního řízení pro jednoho pilota pak 47 000 Kč. Řízení pro celý simulátor by tedy vyšlo na 194 000 Kč.



Pro účely vizualizace doporučuji projekční plátno NatVis za cenu 120 000 Kč a tři FullHD projektory (cena v dubnu 2017 na serveru alza.cz přibližně 15 000 Kč za kus, tedy 45 000 pro celý simulátor).

Počítače pro simulátor doporučuji dva – jeden pro běh simulátoru a vizualizace, a druhý pro běh avioniky. Pro vizualizaci se bude jednat o velmi výkonný počítač se dvěma grafickými kartami, zatímco pro avioniku stačí průměrný kancelářský počítač s výstupy pro tři monitory.

Jako vizualizační počítač doporučuji sestavu s procesorem Intel Core i7-7700K 4,2GHz, dvě grafické karty s čipem NVIDIA GeForce GTX1080 Ti, základní desku MSI Z270 se soketem 1151, operační paměť DDR4 3200 MHz (například Kingston HyperX), SSD disk SanDisk 960GB, napájecí zdroj 1500 W Corsair AX1500i a skříň Corasir 900D. Cena takového počítače je v dubnu 2017 podle serveru alza.cz 85 000 Kč bez DPH.

Počítač pro avioniku bude vyhovovat libovolný kancelářský nebo levnější herní, cenově přibližně za 20 000 Kč.

Monitory pro avioniku jsou potřeba tři běžné (5 000 Kč za kus, tedy 15 000 Kč celkem), a v případě používání dotykové navigace Garmin GTN 750 jeden 7 palcový dotykový monitor navíc. 7 palcový dotykový displej stojí na serveru ebay.com přibližně do 2 000 Kč.

Software pro simulátor by byl k zakoupení: X-Plane 11 profesionální licence (19 900 Kč), Air Manager (800 Kč) a RealityXP GTN 750 (1 300 Kč). Jako instruktorskou stanici doporučuji zakoupit iPad Air 2, na který lze zdarma stáhnout oficiální instruktorské rozhraní k X-Plane. Cena základního modelu iPad Air 2 je 11 400 Kč.

Vlastní interiér reprezentující kokpit King Air doporučuji zhotovit z kompletní nabídky maketových dílů společnosti Ruscool. Na rozdíl od výše uvedené možnosti přestavby současného simulátoru, kde jsem doporučoval zakoupit nejlevnější možné varianty této položek zde doporučuji zakoupit vše v maximální dostupné konfiguraci, jelikož to vzhledem k celkové novému FNPT II MCC dostatečně zhodnotí výslednou stavbu. K dispozici jsou následující položky:

- Panel spínačů levý 1, podsvícený, včetně součástek: 8 200 Kč
- Panel spínačů levý 2, podsvícený, včetně součástek: 14 280 Kč
- Panel spínačů pravý 1, podsvícený, včetně součástek: 8 200 Kč
- Panel spínačů pravý 2, podsvícený, včetně součástek: 5 600 Kč
- Konstrukční plány kokpitu B200: 542 Kč
- Panel nastavení přetlakování kabiny, podsvícený, včetně součástek: 2 400 Kč
- Panel jističů palivového systému, podsvícený, včetně součástek: 6 400 Kč

- Panel palivového systému, podsvícený, včetně součástek: 6 600 Kč
- Výstražné tablo, včetně součástek: 10 200 Kč
- Přídavné výstražné tablo, včetně součástek: 7 600 Kč
- Hlavní panel jističů: 8 800 Kč
- Panel indikace kabinové výšky, podsvícený, včetně součástek: 3 000 Kč
- Panel ovládání autopilota: 3 000 Kč
- Audio panel: 4 800 Kč
- EHSI panel: 3 100 Kč
- Panel nastavení altitudy (autopilot), USB plug-and-play: 9 000 Kč
- Panel záznamu komunikace v kabině, podsvícený, včetně součástek: 4 000 Kč
- Panel pedestalu, podsvícený, včetně součástek: 3 900 Kč
- Spodní část stropního panelu, podsvícená, včetně součástek: 4 400 Kč
- Horní část stropního panelu, podsvícená, včetně součástek: 11 000 Kč
- Motorizované ovládání vyvážení výškového kormidla: 36 000 Kč
- Stavebnice throttle quadrantu (ovládání motorů): 24 500 Kč

Celková cena za maketové doplňky interiéru je 185 022 Kč.

### 10.3.3 Přibližný rozpočet pro stavbu simulátoru založeného na typu King Air

Následující tabulka obsahuje odhad celkové ceny za stavbu FNPT II MCC založeného na typu King Air v režii školy. Cena práce, drobných součástek a spotřebního materiálu není zahrnuta do výpočtu.

Tabulka 5: Cena stavby nového FNPT II MCC

Položka	Počet	Hodnota za kus (Kč)	Hodnota celkem (Kč)
Konstrukce kokpitu (odhad)	1	100 000	100000
Berany Brunner	2	50000	100000
Pedály Brunner	2	47000	94000
Projekční plátno NatVis	1	120000	120000
Projektory	3	15000	45000
Počítač pro vizualizaci	1	85000	85000
Počítač pro avioniku	1	20000	20000
LCD monitory pro přístorje	3	5000	15000
Dotykový monitor pro GTN 750	1	2000	2000
X-Plane 11 profesionální licence	1	19900	19900
Licence Air Manager	1	800	800
Licence RealityXP GTN 750	1	1300	1300
iPad (instruktorská stanice)	1	11400	11400
Maketové vybavení kokpitu	1	185 022	185022
<b>Celková cena</b>			<b>799422</b>

## 10.4 Zakoupení hotového FNPT II MCC

Pro účely porovnání v této diplomové práci jsem zaslal žádost o sdělení přibližné ceny za FNPT II MCC založený na typu King Air 200 společností Mechtronix, ALSIM, Frasca International, SimHelp a ELITE Simulation Solutions.

Odpověď jsem obdržel od následujících společností:

- Frasca: cena 800 000 USD (přibližně 19,7 milionu Kč)
- SimHelp: jedná se pouze o zastoupení společnosti SoftekSim, cena 169 000 EUR (přibližně 4,5 milionu Kč)
- ELITE Simulation Solutions: přibližná cena 169 500 EUR (přibližně 4,6 milionu Kč)

Všechny tři společnosti nabízí FNPT II MCC připravený na certifikaci dle CS-FSTD(A), a připravený MQTG. Společnosti SoftekSim a ELITE Simulation Solutions jsou evropské, což by snížilo cenu dopravy, a umožnilo levnější vyzkoušení simulátoru před zakoupením. Společnost ELITE Simulation Solutions má navíc autorizované zastoupení v Praze.

## 10.5 Vyčíslení finančních úspor při využívání trenažerů při výcviku

Nařízení (EU) č. 1178/2011 stanovuje ve své Části FCL rozsah letových hodin, které lze v jednotlivých fázích výcviku pilota započítat po odlétání na FSTD. V této tabulce bude vypracován jejich přehled se zaměřením na BITD a FNPT II MCC tak, aby bylo možné odhadnout úspory, které využívání těchto trenažerů pilotům ve výcviku pilota letounů poskytuje.

Tabulka 6: Uznatelné letové doby při výcviku (BITD a FNPT II MCC)

Výcvik	Uznatelná letová doba na BITD	Uznatelná letová doba na FNPT II MCC
PPL kurz	5 hodin	5 hodin
CPL kurz		5 hodin
IR základní modul	5 hodin	5 hodin
IR modulový kurz (jednomotorové letouny)		35 hodin
IR modulový kurz (vícemotorové letouny)		40 hodin
IR – rozšíření na vícemotorové letouny		3 hodiny

MCC kurz		20 hodin (15 hodin při integrovaném výcviku)
ATPL kurz		40 hodin IR výcviku
ATPL – aktivace průkazu ze stavu „Frozen“		25 hodin

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že BITD je téměř nevyužitelný při ATPL výcviku – nejvýše 5 hodin pro PPL výcvik a 5 hodin pro základní modul IR výcviku.

Současná cena (duben 2017) za letovou hodinu na FNPT II MCC simulátoru je dle ceníku společnosti DSA a.s. 2287 Kč včetně DPH. Tato cena řádově odpovídá cenám i u jiných leteckých škol.

Za předpokladu, že se student Fakulty dopravní vydá cestou integrovaného ATPL výcviku, může si na FNPT II MCC odlétat typicky až 55 letových hodin (15 hodin při MCC a 40 hodin při IR). Při výše uvedené ceně za letovou hodinu tak student utratí za integrovaný ATPL výcvik 125 785 Kč za pronájem FNPT II MCC.

Pokud by byl тренаžér FNPT II MCC na Fakultě dopravní certifikován (ať už přestavbou současného, nebo stavbou nového) a poskytován studentům zdarma, jednalo by se o podstatnou úsporu pro každého ze studentů v ATPL výcviku. Aby mohly letecké školy spolupracující s Fakultou dopravní na ATPL výcviku využívat tento simulátor, bylo by nutné, aby si jej každá škola nechala doplnit na své osvědčení ATO. Doplnění provádí ÚCL po předložení smlouvy o pronájmu mezi provozovatelem a uživatelem FSTD.

## 11 Závěr

V mé diplomové práci jsem vytvořil příručku dokumentující aktuální konfiguraci školního simulátoru Beechcraft Baron. V první části práce je popis jednotlivých softwarových a hardwarových částí celého simulátoru. Dále je uveden postup řešení problémů, se kterými jsem se za dobu pěti let správy daného simulátoru setkal, nebo které očekávám, že by mohly nastat. Následnou péči o simulátor a další rozvoj je třeba provádět s vědomím, že se nejedná o komerční zařízení postavené profesionální firmou na klíč, ale o studentský projekt, tudíž se i přes nejlepší snahu mohou vyskytnout neošetřené problémy, které bude třeba řešit. Je nutno brát na vědomí, že předchozími studenty byly vybrány (pravděpodobně z důvodu relativně nízké ceny) komponenty určené pro hobby stavbu simulátorů pro osobní volnočasový provoz, nikoliv pro výuku a vysoké vytížení, které simulátor v prostředí školy zažívá. Díky tomu jsou jednotlivá zařízení (především ovládací prvky řízení a přístroje v palubních deskách) vysoce opotřebovávána a je nutná neustálá údržba.

Jelikož se jako další krok logicky nabízí poskytnutí certifikovaného výcvikového zařízení pro studenty, zpracoval jsem přehled legislativy a úvod do procesu certifikace takového zařízení. Vypracoval jsem několik variant – buď přestavby současného simulátoru tak, aby jej bylo možné certifikovat, nebo možnost stavby nového simulátoru. U každé z variant jsou uvedeny náklady na danou variantu a náklady, které by byly odepsány ve formě již nepotřebného vybavení, které by bylo ze současného simulátoru odebráno. Konkrétně se jedná o tyto možnosti:

- Přestavba současného simulátoru na BITD
  - Cena za přestavbu je přibližně **20 800 Kč**
  - Byl by odepsán již zakoupený materiál za **153 880 Kč**
  
- Přestavba současného simulátoru na FNPT II MCC
  - Cena za přestavbu je přibližně **375 440 Kč**
  - Byl by odepsán již zakoupený materiál za **223 680 Kč**
  
- Stavba kompletně nového FNPT II MCC
  - Cena za stavbu je přibližně **799 422 Kč**
  - Nebyl by odepsán žádný materiál, současný simulátor by zůstal zachován tak, jak je

Alternativou k přestavbě současného simulátoru nebo stavbě nového simulátoru je zakoupení komerčního produktu – FNPT II MCC na klíč. Zde je cena dvou neekonomičtějších produktů přibližně 4 500 000 Kč.

V tabulce v mé diplomové práci je vypracován přehled hodin, které si mohou piloti uplatnit létáním na FSTD v rámci výcviku.

Domnívám se, že pokud by bylo rozhodnuto o pořízení FNPT II MCC, je nejvhodnější řešení stavba nového zařízení svépomocí. Přestavba současného simulátoru na BITD by byla sice velmi levná, ale podle mého názoru je škoda odepsat hodnotný materiál jen pro získání BITD, na kterém je možné nalétat v rámci výcviku velmi málo hodin. Přestavba na FNPT II MCC vychází poměrně drahá vzhledem k tomu, že by výsledný produkt byl sice pravděpodobně certifikovatelný, ale vzhledem k omezením plynoucím ze současné konstrukce simulátoru by nedosahoval kvalit srovnatelných s profesionálními zařízeními. Zakoupení FNPT II MCC na klíč sice poskytuje jednoduché řešení a záruku úspěchu, ale podle mého názoru je cena příliš drahá pro pouhý výcvik studentů – aby takové zařízení dávalo smysl, bylo by vhodné uvažovat o komerčním výcviku pilotů mimo rámec vysokoškolského studia.

Závěrem bych rád poděkoval všem, kteří mi umožnili podílet se na zajímavé práci týkající se současného školního simulátoru po celou dobu mého studia. Doufám, že se i nadále bude dařit simulátor udržovat neustále provozuschopný a přístupný těm studentům, kteří o něj budou mít zájem.

## 12 Zdroje informací

1. **Evropská agentura pro bezpečnost letectví.** NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 1178/2011. *Konsolidované znění, Pracovní dokument ÚCL.* [PDF]. Praha : Úřad pro civilní letectví, 2011. Úř. věst. L 311, 25.11.2011, s. 1.
2. **European Aviation Safety Agency.** Certification Specifications for Aeroplane Flight Simulation. *CS-FSTD(A).* [PDF]. 2012. Annex to ED Decision 2012/010/R.
3. **Evropská agentura pro bezpečnost letectví.** Přijatelné způsoby průkazu (AMC) a poradní materiál (GM) k Části ORA. *Konsolidované znění.* [PDF]. [Praha] : Úřad pro civilní letectví, 2012.
4. **Royal Aeronautical Society.** Aeroplane Flight Simulator Evaluation Handbook. *International standards for the qualification of aeroplane flight simulators.* London : Colourtech, Ashford, Kent, 2005. ISBN 1 85768 154 1.
5. **International Civil Aviation Organization.** Doc 9625. *Manual of Criteria for the Qualification of Flight Simulators.* 2003.

## 13 Příloha 1 – sekvence automatického spuštění simulátoru v programu VistaTask

Step	Action	Command Text
1	Start	C:\Program Files (x86)\Microsoft Games\Microsoft Flight Simulator X\Modules\krok2.bat
2	Delay	
3	Start	C:\Program Files (x86)\FSBUSCDK\fsbus.exe
4	Delay	
5	Start	C:\Program Files (x86)\FsXPand 7.1\FsXPand.exe
6	Delay	
7	Start	C:\TRC Software\TRCUSBFsLink.exe
8	Wait for Window to Appear	TRC USB Link for Complex Gauges
9	Delay	
10	Activate	TRC USB Link for Complex Gauges
11	Delay	
12	Move to Window	TRC USB Link for Complex Gauges [WindowsForms10.Window.8.app.0.378734a]0
13	Delay	
14	Move Relative	(260, 485)
15	Delay	
16	Left Button Click	
17	Left Button Click	
18	Start	C:\Users\k621\Documents\FSHostClient 1.4\FSHostClient.exe
19	Start 'For' Loop	
20	Delay	
21	Move Instantly	(3067, 409)
22	Left Button Click	
23	Delay	
24	Move Instantly	(3072, 641)
25	Left Button Click	
26	Move Instantly	(2979, 825)
27	Left Button Click	
28	Delay	
29	NEXT LOOP	
30	Left Button Down & Hold	(5960, 18)
31	Move Relative	(-7680, -15)
32	Left Button Up	
33	Left Button Down & Hold	(5960, 18)
34	Move Relative	(0, -15)
35	Left Button Up	
36	Move	(347, 52)
37	Left Button Click	
38	Move	(100, 100)
39	Right Button Click	
40	Move Relative	(40, 280)
41	Left Button Click	
42	Delay	
43	Move Instantly	(100, 100)
44	Activate	Microsoft Flight Simulator X
45	Move Instantly	(3233, 345)
46	Left Button Click	
47	Start	C:\Users\k621\Desktop\w kom r\Altimeter.exe
48	Delay	
49	Start	C:\Users\k621\Desktop\VOR1 & VOR2 Application\SimulatorInstruments.exe
50	Delay	
51	Move Instantly	(2424, 487)
52	Left Button Click	