



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Michal Freigang

**PSYCHOFYZIOLOGICKÝ STAV ŽÁKŮ BĚHEM VÝCVIKU NA POZICI ŘÍDÍCÍ LETOVÉHO  
PROVOZU**

Diplomová práce

**2021**



**K621** ..... **Ústav letecké dopravy**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Michal Freigang**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

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

Název tématu (česky): **Psychofyzilogický stav žáků během výcviku na pozici řídicí letového provozu**

Název tématu (anglicky): Psychophysiological Condition of Student Air Traffic Controllers during Training

**Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem diplomové práce je vytvoření dynamických zátěžových scénářů pro řídicí letového provozu ve výcviku formou simulovaných cvičení.
- Popište stanoviště ATC, pozici pseudopilota a kvalifikace.
- Proved'te analýzu současného stavu výcviku řídicích letového provozu.
- Návrhněte simulovaná cvičení se zvýšenou zátěží pro řídicí letového provozu ve výcviku.
- Realizujte navržená cvičení na vzorku řídicích letového provozu ve výcviku.
- Zhodnot'te psychofyzilogický stav žáků v průběhu realizovaných cvičení.



- 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: Mühlhausen, Thorsten, et al. "Research Design to Access the Mental Workload of Air Traffic Controllers." 2018.  
Cañas, José Juan, et al. "Mental Workload in the Explanation of Automation Effects on ATC Performance." 2018

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Bc. Vladimír Socha, Ph.D.**  
**Ing. Lenka Hanáková**

Datum zadání diplomové práce: **17. července 2019**  
(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: **17. května 2021**  
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. Jakub Kraus, Ph.D.  
vedoucí  
Ústavu letecké dopravy



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Michal Freigang  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 2. prosince 2020

## Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucím mé diplomové práce panu doc. Ing. Bc. Vladimíru Sochovi, Ph.D. a Ing. Lence Hanákové za odborné vedení práce a cenné rady při konzultacích, které mi pomohly při zpracování. Mnohokrát také děkuji Ing. Terezii Pilmannové za pomoc při zpracování diplomové práce a domluvení simulátoru v prostorech školy. Velké poděkování patří i mé rodině a blízkým přátelům za podporu, kterou mi po celou dobu studií poskytovali. Děkuji také subjektům a spoluorganizátorům (především Ing. Stanislav Schmidt a Martin Sliška) měření, bez kterých by se nemohl experiment realizovat.

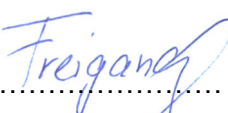
## Prohlášení

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

Prohlašuji, že jsem předloženou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem č.1/2009 „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 autorském právu, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 9. 8. 2021

  
.....  
Podpis

## Abstrakt

Předmětem této diplomové práce je posouzení vlivu zvýšeného EKG na chybovost subjektu. Toho je docíleno postupnou zvyšující se zátěží během cvičení na radarovém simulátoru. V první části této práce jsou do detailu popsány teoretické poznatky, které jsou později využity pro zpracování dat z experimentu.

## Abstract

The aim of this Diploma thesis is to assess the impact of increased values of ECG on the outcome of failures and mistakes made by the subject. It is achieved by continuous increasing difficulty of the exercises on the radar simulator. The first part of this thesis focuses on theoretical knowledge, which is later used for the results analysis of the experiment.

## Klíčová slova:

Psychofyzilogické, testování, stres, chybovost, psychická zátěž, výkonnost, řídicí letového provozu

## Key Words:

Psychophysiological, Testing, Stress, Error rate, Psychological load, Performance, Air Traffic Controller

## Seznam zkratek

Zkratka	Anglicky	Česky
<b>ALT</b>	Altitude	Výška
<b>ACC</b>	Area Control Service	Oblastní služba řízení
<b>APP</b>	Approach Control Service	Přibližovací služba řízení
<b>ATC</b>	Air Traffic Control	Řízení letového provozu
<b>ATIS</b>	Automatic Terminal Information Service	Automatická informační služba v koncové řízené oblasti
<b>CEFR</b>	Common European Framework of Reference	Společný evropský referenční rámec pro jazyky
<b>CTR</b>	Control zone	Řízený okrsek
<b>DART</b>	Dynamic ATC Radar Test	Neaplikuje se překlad
<b>EASA</b>	European Aviation Safety Agency	Evropská agentura pro bezpečnost letectví
<b>EC</b>	Executive Controller	Výkonný řídící
<b>EEG</b>	Electroencefalogram	Elektroencefalogram
<b>EKG</b>	Electrocardiogram	Elektrokardiogram
<b>DME</b>	Distance Measuring Equipment	Zařízení pro měření vzdálenosti
<b>FAF</b>	Final Approach Fix	Fix konečného přiblížení
<b>FAP</b>	Final Approach Point	Bod konečného přiblížení
<b>FD</b>	Faculty of Transportation Czech	Fakulta dopravní Českého vysokého
<b>ČVUT</b>	Technical University in Prague	učení technického
<b>FEAST</b>	The First European Air Traffic Controller Selection Test	Neaplikuje se překlad
<b>FIR</b>	Flight Information Region	Letová informační oblast
<b>FL</b>	Flight level	Letová hladina
<b>FRMS</b>	Fatigue Risk Management System	Systém pro řízení rizik únavy
<b>HRV</b>	Heart Rate Variability	Variabilita srdeční frekvence
<b>HRVAS</b>	Heart Rate Variability Analysis Software	Software pro analýzy variability srdeční frekvence
<b>IAF</b>	Initial Approach fix	Fix počátečního přiblížení
<b>IATCC</b>	Integrated Air Traffic Control Centre	Národní integrované středisko řízení letového provozu
<b>ICAO</b>	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
<b>IFR</b>	Instrument flight rules	Let podle přístrojů



<b>ILS</b>	Instrument Landing System	Systém pro přesné přístrojové přiblížení
<b>IMC</b>	Instrument meteorological conditions	Meteorologické podmínky pro let dle přístrojů
<b>LT</b>	Local Time	Místní čas
<b>MTOW</b>	Maximum Take Off Weight	Maximální vzletová hmotnost
<b>NTLx</b>	NASA Task Load Index	NASA Task Load Index
<b>OJTI</b>	On Job Training Instructor Course	Neaplikuje se překlad
<b>PC</b>	Planning controller	Plánovací řídící
<b>RNAV</b>	Area Navigation	Prostorová navigace
<b>RVSM</b>	Reduced Vertical Separation Minima	Neaplikuje se překlad
<b>ŘLP</b>	Air Navigation Services	Řízení letového provozu
<b>TMA</b>	Terminal Maneuvering Area	Koncová řízená oblast
<b>TWR</b>	Tower Control Service	Letištní věž (služba)
<b>ÚLZ</b>	The Institute of Aviation Medicine	Ústav leteckého zdravotnictví
<b>VATSIM</b>	Virtual Air Traffic Simulation Network	Neaplikuje se překlad
<b>VFR</b>	Visual Flight Rules	Pravidla pro let za viditelnosti
<b>VOR</b>	VHF Omnidirectional Range	Neaplikuje se překlad

## Obsah

1	Úvod .....	9
2	Teoretické základy práce.....	10
2.1	Výběrové řízení řídicích letového provozu .....	10
2.2	Výcvik řídicích letového provozu a simulátory .....	15
2.3	Pseudopilot.....	15
2.4	Elektrokardiografie .....	16
2.5	Vegetativní nervová soustava .....	18
2.5.1	Sympatický nervový systém .....	19
2.5.1	Parasympatický nervový systém.....	19
2.6	Vzdušný prostor .....	19
2.7	Rozstupy .....	20
2.7.1	Horizontální a vertikální rozstupy .....	20
2.7.2	Rozstupy dle kategorie turbulence v úplavu .....	21
3	Návrh metodiky experimentu.....	23
3.1	Popis experimentu.....	24
3.2	Zpracování naměřených dat.....	33
3.3	NASA Task Load Index (NASA-TLX).....	34
4	Analýza výsledků.....	37
	Klasifikace chyb .....	38
4.1	Analýza u subjektu 1 .....	42
4.2	Analýza u subjektu 2 .....	43
4.3	Analýza u subjektu 3 .....	45
4.4	Analýza u subjektu 4 .....	46
4.5	Analýza u subjektu 5 .....	48
4.6	Analýza u subjektu 6 .....	49
4.7	Analýza u subjektu 7 .....	51
4.8	Analýza u subjektu 8 .....	52
4.9	Analýza u subjektu 9 .....	54



4.10	Analýza u subjektu 10 .....	55
4.11	Analýza u subjektu 11 .....	57
4.12	Analýza u subjektu 12 .....	58
4.13	Analýza u subjektu 13 .....	60
4.14	Analýza u subjektu 14 .....	61
5	Diskuze.....	63
6	Závěr .....	65
7	Seznam použitých zdrojů .....	67
	Seznam použitých obrázků.....	70
	Seznam použitých tabulek.....	71
	Seznam použitých rovnic.....	71
	Seznam použitých grafů .....	71
	Seznam příloh.....	73

# 1 Úvod

Ke zvolení tématu této diplomové práce velmi přispělo mé zaměstnání na Řízení letového provozu, kde pracuji jako pseudopilot na částečný úvazek. Jako pseudopilot jsem v každodenním kontaktu s budoucími řídícími letového provozu. Rád bych také touto prací navázal na mou bakalářskou práci, která se zaměřovala na únavu pilotů a byl proveden 24 hodinový výkonnostní a psychologický test. Můj zájem také ovlivnila moje současná práce ve společnosti Time Air, kde pracuji jako komerční pilot. Je zajímavá podívat se na letectví z druhé strany.

Výcvik na pozici řídícího letového provozu trvá asi 2 roky, záleží na konkrétní kvalifikaci. Vybrání takového uchazeče je velmi zodpovědný úkol, protože musí plnit jisté předpoklady a specifika pro tuto práci.

Účelem této práce je popsat řízení letového provozu jak z pozice pseudopilota, tak z pozice řídícího letového provozu, konkrétně žáka, který se na řídícího teprve cvičí. Pokusím se popsat i stanoviště reálného řídícího letového provozu a detailně přiblížit jednotlivá stanoviště.

Dále se pokusím přiblížit současný stav výcviku žáků na pozici řídícího letového provozu.

Vlastním přínosem této práce je návrh cvičení a jeho realizace, které bude jakousi simulovanou zátěží pro žáky na pozici řídící letového provozu. Cvičení budou koncipována tak, aby každý testovaný subjekt chápal, co se po něm vyžaduje a aby se dostal do několika stresových a psychicky náročných situací. Během celého cvičení bude subjekt připojen na EKG, které bude později vyhodnoceno. Úkolem je najít souvislost mezi zvýšenými hodnotami EKG a chybami subjektu a tyto chyby kategorizovat. Pro zlepšení kvality této práce byl přizván reálný řídící, který řídí Přiblížovací službu řízení pro letiště Praha.

## 2 Teoretické základy práce

V teoretických základech práce bude zmíněno, jak probíhá výběrové řízení na pozici řídicího letového provozu, jak probíhá výcvik, co je náplní práce, popis pozice pseudopilota a základy elektrokardiografie včetně popisu vegetativní nervové soustavy a autonomního nervového systému. Pro princip chápání experimentu bude stručně vysvětlena i letecká tematika, např. klasifikace vzdušného prostoru či minimální rozstupy mezi letadly.

### 2.1 Výběrové řízení řídicích letového provozu

Výběrové řízení na pozici řídicí letového provozu probíhá dle potřeb státního podniku, zpravidla několikrát ročně. Výběrové řízení je více kolové a pro úspěšné zařazení žáka do výcviku je nutné úspěšně projít všemi koly. Do výběrového řízení se přihlašují stovky až tisíce uchazečů, jejich úspěšnost ve výběrovém řízení se pohybuje okolo 6 %. Cílem výběrového řízení je naplnit kurz o přibližně 20 studentech. [1]

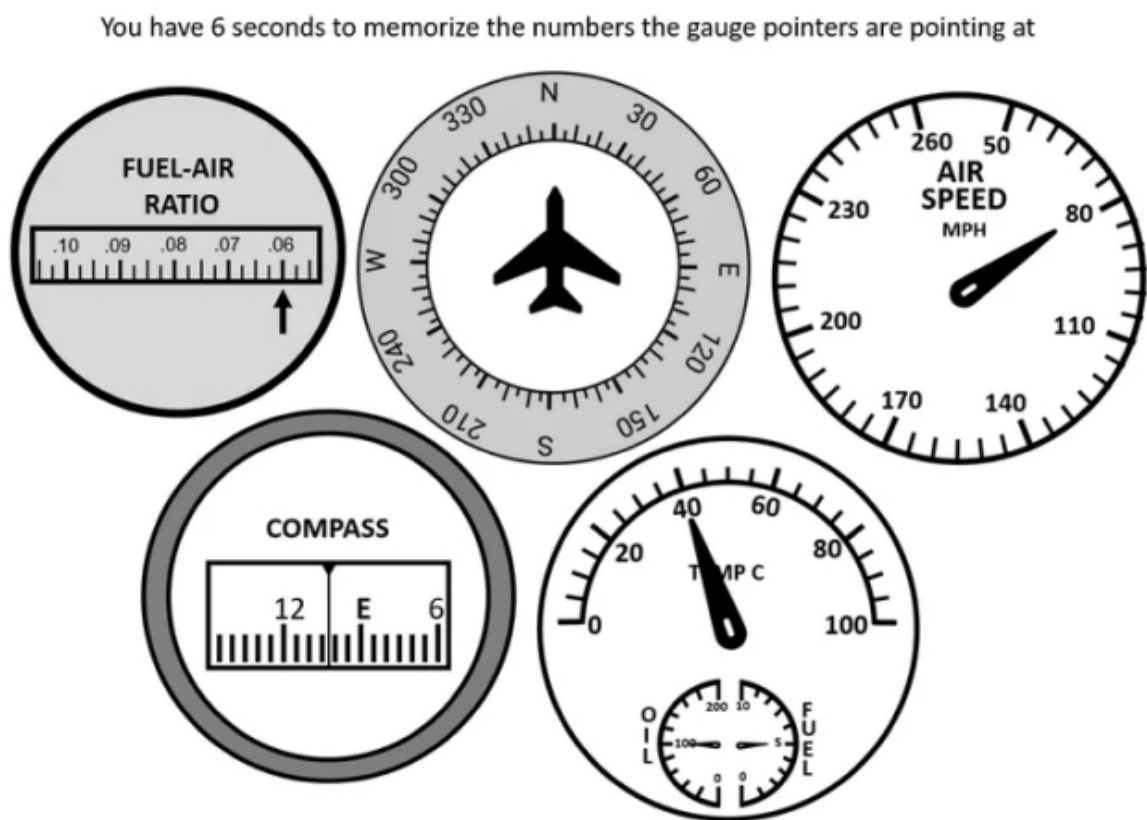
První z fází výběrového řízení je nazvaná předvýběr. Účelem této fáze je vyloučit uchazeče, kteří nesplňují minimální stanovené požadavky. Prověřuje se i motivovanost uchazečů. Mezi minimálními požadavky patří středoškolské vzdělání ukončené maturitní zkouškou a maturitní zkouška z českého jazyka, případně státem uznaný certifikát o minimální úrovni znalosti českého jazyka na stupni B2 dle CEFR. Požadavkem je také trestní bezúhonnost. Cílem předvýběru je určení uchazečů, kteří mají reálnou představu o jejich budoucím povolání a splňují minimální kritéria pro přijetí do výcviku. [2]

V další fázi je potřeba ověřit jazykovou znalost, konkrétně znalost anglického jazyka. ŘLP si v tomto směru své uchazeče testuje sama, minimální požadavky jsou stanoveny v nařízení Komise EU č. 340/2015. Z šesti možných úrovní od jedné do šesti zde stanovuje úroveň 4 jako minimální (příčemž hodnota 1 stanovuje minimální znalost, 6 znalost na úrovni rodilého mluvčího) úroveň pro radiotelefonní komunikaci. Pro účely výběrového řízení je požadována angličtina na úrovni B2 dle CEFR. Součástí testu je i poslech a krátké porozumění a následně rozhovor v anglickém jazyce. Celé testování probíhá v prostorách Letecké školy a netrvá déle než 3 hodiny. [1, 3]

Další částí je test FEAST (First European Air Traffic Controller Selection Test). Jedná se o test navržený organizací Eurocontrol. Testy FEAST jsou využívány v mnoha státech Evropy, USA i jinde po světě, celkově však ve více než 30 státech. Test byl poprvé nasazen v roce 2004 a jeho výsledky jsou přenosné mezi všemi státy, které tyto testy uznávají. Forma testování může být různá, některé státy si dokonce ještě přidávají další cvičení, pro zvýšení relevantnosti výsledků. Celkově testování má tři části, s přestávkami trvá přibližně 8 hodin a probíhá v IATCC Jeneč. Výkon uchazeče je poté převeden na body, aby bylo možné mezi uchazeči

provést srovnání. Test FEAST probíhá v elektronické formě a je v anglickém jazyce. Testy FEAST patří pro uchazeče k jednomu z nejobtížnějších kroků. Příprava na tyto testy se všeobecně nedoporučuje, protože může existovat možnost špatného návyků či špatně pochopeného zadání. I přesto je dostupných spousta informací o těchto testech na internetu, jsou dostupné i mobilní aplikace. Test lze absolvovat pouze jednou, protože při opakovaných pokusech se člověk učí a výsledky celého testu již nejsou objektivní. Uchazečům se nadále doporučuje dostatečný spánek a být v dobré fyzické i psychické kondici. [2, 4]

Test FEAST se skládá ze dvou částí, uchazeč vždy vybírá jednu z několika správných odpovědí. V testech se zkoumá prostorová orientace, racionální myšlení pod časovým tlakem, udržení pozornosti i porozumění anglickému jazyku. V první části se uchazeč setká například s reakčním a poslechovým testem, testem na prostorovou představivost, odhadem vzdáleností mezi letadly a určením pořadí letadel na přistání. V druhé části se zkoumá schopnost zvládnutí více věcí najednou, multitaskingu. Od roku 2012 se využívá test DART (Dynamic ATC Radar Test). Jedná se o test, simulaci provozu, kde je úkolem uchazeče vést skrze fiktivní prostor bezpečně a efektivně několik letadel podle předem daných pravidel. V některých státech se vyskytuje ještě třetí část – osobnostní dotazník – ŘLP ale nevyužívá. [2, 4] Příklad testu FEAST lze nalézt na obrázku 1. [5]



Obrázek 1 – Praktická ukázka testu FEAST [5]

Nedílnou součástí výběrového řízení je i ověření zdravotní způsobilosti, to probíhá v akreditovaném pracovišti Ministerstvem dopravy ČR, v Ústavu leteckého zdravotnictví v Praze. Vyšetření trvá 2 dny a je velmi podobné vstupní prohlídce 1. třídy pro piloty, zkoumá se zde kompletní somatický a psychický stav jedince, při kterém prochází uchazeč přes několik specializovaných oddělení.

Příjemnou částí je návštěva IATCC Jeneč, kde se uchazeči seznámí se svým budoucím pracovištěm a mají možnost přijít do kontaktu s reálnými řídícími. Níže je zobrazeno pár obrázků (viz obrázky 2 až 5) ze simulátorů a z reálných stanovišť. [6]



Obrázek 2 - Stanoviště APP Praha – IATCC Jeneč [6]



Obrázek 3 – 3D Věžní simulátor – Letecká škola [6]



Obrázek 4 – Záznam z radaru APP – IATCC Jeneč [6]





Obrázek 5 – Stanoviště LKPR TWR [6]

Poslední částí výběrového řízení je modelová hra a pohovor. První částí je modelová hra, ta probíhá v budově Letecké školy. Modelová hra probíhá na simulátoru ROSE, více informací bude o něm zmíněno později. Několik kandidátů je rozděleno postupně do dvojic, uchazeči se postupně střídají na různých pozicích. Úkolem je společně řešit úkoly, jakými jsou určit, zda letadla jsou konfliktní (tj. zda letadla ztratí předepsaný rozstup), určit pořadí na daném bodě či říct, zda se letadla stihnou prostoupat, proklesat. Celkem každý uchazeč absolvuje 8 cvičení, 4 v pozici EC (executive controller) a 4 v pozici PC (planning controller). Hodnotí se jak správnost výsledků, tak schopnost spolupráce, u cvičení je přítomen instruktor i psycholog. Cvičení mají vzestupnou tendenci obtížnosti, v závěru téměř není možné všechny úkoly zvládnout. Uchazeči se pak navzájem hodnotí v dotazníku, jak se jim s kým pracovalo a jaký mají z modelové hry pocit. Modelová hra trvá přibližně 2 - 3 hodiny. [2]

Pohovor je poslední částí výběrového řízení. Samotný pohovor trvá asi 30 minut. Cílem je vybrat několik nejvhodnějších kandidátů, zhruba okolo dvaceti do jednoho kurzu. Přítomna je asi patnáctičlenná komise, mají k dispozici všechny dosavadní výsledky. Komise se ptá uchazeče na jeho preferenci ohledně stanoviště, které se snaží vyhovět.

Po úspěšném absolvování je uchazeč zařazen do výcviku pro danou službu řízení. Momentálně se rozlišují tyto kategorie, APP – přiblížovací služba řízení, ACC – oblastní služba řízení, TWR – řízení pohybů na letišti, popř. TERMINAL – služba řízení provozu na regionálních letištích a přilehlém vzdušném prostoru. [1, 2]



## 2.2 Výcvik řídicích letového provozu a simulátory

Výcvik budoucích řídicích se dá rozdělit na dvě části – vstupní a místní výcvik. Během vstupního výcviku si žák osvojí základní postupy, ovládání simulátoru a nezbytnou frazeologii na fiktivním, většinou zjednodušeném vzdušném prostoru. Celý vstupní výcvik probíhá v budově Letecké školy a délka trvání je závislá na prostoru, který bude řídit.

V budově Letecké školy se nacházejí simulátory CANI SIM, simulátory ROSE, 3D TWR + PTT TWR a simulátory PAR. Všechny simulátory dnes již vypadají jako reálná stanoviště řídicích, až na drobné detaily. Dá se definovat vlastní vzdušný prostor, obtížnost od jednoduché až po mezisektorové řízení mezi několika stanovišti. Lze navolit i několik zakázaných prostorů, simulovat počasí, nouzové situace – včetně výpadku radaru. Celá cvičení v rozsahu 20 – 60 minut lze nahrát, přehrávat zpětně, přehrávat i vyšší rychlosti.

Simulátory CANI od firmy CS Soft, a.s. jsou nejvyužívanějšími simulátory v budově Letecké školy a lze na nich nasimulovat jakékoli cvičení pro oblastní i přibližovací řízení – teoreticky i Tower, která se nevyužívá. V současnosti se využívají ke vstupnímu výcviku pro terminální a přibližovací službu řízení, výcviky OJTI (udržovací simulátor pro současné řídicí) i výcviku zahraničních klientů.

Simulátor ROSE je primárně určen k výcviku ACC – oblastní řízení, ale je možné ho využít i na přibližovací nebo terminální řízení. Jedná se o moderní simulátor, hardwarově nenáročný, pracuje na OS Windows.

Na simulátorech CANI a ROSE je nakonfigurováno několik vzdušných prostorů, mezi nejelementárnější patří FIR ROSE – jedná se v podstatě o růžici a žáci se zde učí vektorování, základní návyky a ovládání simulátoru. Mezi další známé se řadí FIR Simcity – jedná se o zjednodušené TMA Prahy, ve kterém se žáci učí přibližovací řízení. Výcvik pro APP/TERMINAL zde probíhá několik měsíců. FIR MONA je z posledních z předdefinovaných vzdušných prostorů, slouží k oblastnímu řízení a v tomto prostoru a na obvodu je několik prostorů TMA, cílem žáka je splnit i koordinační dohody s těmito TMA.

## 2.3 Pseudopilot

Pseudopilot, někdy zvaný též jako ghostpilot, je osoba, která ovládá všechna letadla ve cvičení, zadává instrukce simulovaným cílům tak, aby plnily příkazy řídicího. Během celého cvičení komunikuje standardní frazeologií, která musí u pseudopilotů být na vysoké úrovni, neboť žák je ve výcviku a potřebuje frazeologii, se kterou se dosud nesešel, procvičovat co nejvíce. Důraz je kladen na reálné chování letadel, jeho provozní limitace. Pokud si řídicí ale splete světové strany, pseudopilot po dohodě s instruktorem může na místě otočit letadlo klidně i o 360° právě kvůli chybě řídicího, je velká pravděpodobnost, že se mu příště vydání

špatné instrukce již nestane – i když by se tak v reálu na 99 % nestalo. Pseudopilot pracuje standardně v oddělené místnosti, má před sebou jeden monitor a instrukce zadává pomocí klávesnice do simulátoru. Prostředí řídicího je odlišné od prostředí pseudopilota, i přesto, že se na první pohled může zdát stejné. Na složitější cvičení je běžnou praxí, že na jedno cvičení jsou obsazeni dva pseudopiloti. [7]

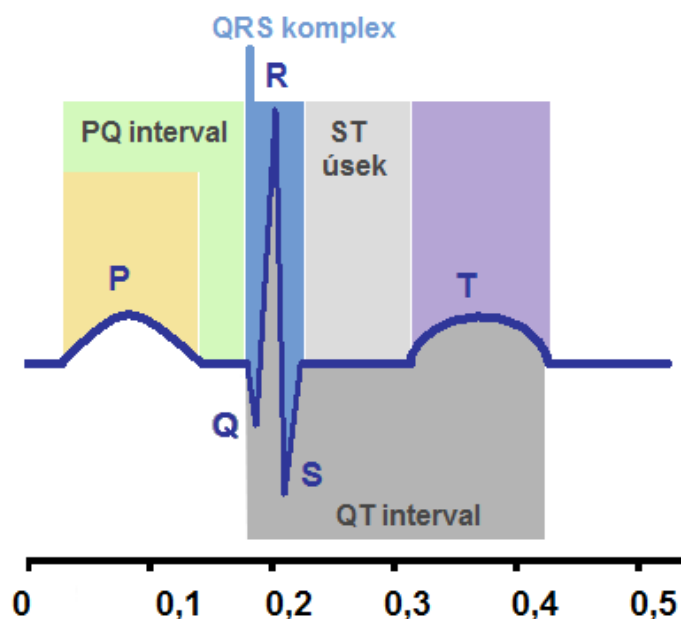
Výcvik na pozici pseudopilota trvá zhruba 2 – 3 měsíce. Během výcviku je potřeba složit několik teoretických testů z výkonnosti letadel, volacích znaků, destinací, legislativy i praktických leteckých otázek. K výcviku pseudopilota je zapotřebí instruktor, který má na starosti ohlídat dodržení základních pravidel, koordinace a předávání letadel mezi stanovišti, vykonání činností a úkonů pod časovým tlakem včetně správné frazeologie. [7]

## **2.4 Elektrokardiografie**

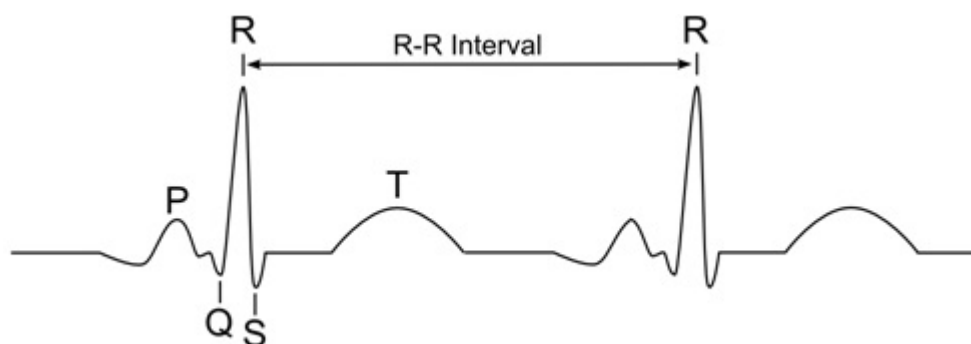
Elektrokardiografie slouží k vyšetření a diagnostice srdeční tepové frekvence a její stability. Výsledkem elektrografie je elektrokardiogram, což je křivka umožňující sledovat průběh a rytmy frekvence ve spojitém čase. [8]

Normální EKG křivka je znázorněna na obrázku 6. Součástí EKG křivky je několik vln, při P vlně dochází k depolarizaci síní, v PQ intervalu k převodu vzruchu ze síní na komory, pak následuje tzv. QRS komplex, který nás v našem měření bude zajímat nejvíce. Kmity v rámci QRS komplexu se skládají z negativního Q kmitu předcházejícího každý pozitivní kmit a následující S kmitu, který je definován, jako negativní kmit následující za pozitivním kmitem R. Následně nastává ST úsek, během kterého se žádné elektrické proudy myokardem nešíří. Po tomto úseku přichází vlna T, při které dochází k repolarizaci komor. [9]

## Normální EKG



Obrázek 6 – EKG křivka rozfázovaná [9]



Obrázek 7 – EKG křivka, RR interval [8]

Vzdálenost mezi dvěma pozitivními R kmity je definována jako R-R interval (viz obrázek 7). Tento R-R interval definuje variabilitu srdeční frekvence (HRV). Právě tato variabilita srdeční frekvence se mění v souvislosti se zátěží a stresem. Změny v tepové frekvenci odpovídají změnám tonu sympatiku a parasympatiku. Velikost HRV ukazuje, jak moc jsou srdce a kardiovaskulární systém schopny reagovat na změny vnitřního prostředí organismu. [10]

K potřebám měření je ale zapotřebí pouze QRS komplex, zbytek z EKG křivky není třeba vyhodnocovat. Jelikož filtrace takového záznamu ručně by trvala několik desítek hodin, existuje metoda Pan Tompkins, díky které lze detekovat R-peak velmi jednoduše. Tato metoda

využívá analýzu šikmosti, amplitud a šířky QRS komplexu. Tyto algoritmy se skládají z těchto filtrů a metod: horní propust, dolní propust, umocnění, derivace, integrace, adaptivní prahová procedura a procedura hledání. [13, 26]

Existuje několik matematických postupů, jak vyhodnotit HRV. Jedny z nejpoužívanějších a nejznámějších jsou časová a frekvenční metoda a časově-frekvenční metoda. Časová metoda je založena na srovnání délky R-R intervalů v určitém časovém úseku. Sleduje se především rozdílnost v délce intervalů. Zjišťované proměnné jsou jednak standardními odchylkami v měření, ale také mohou být diferencemi mezi proměnnými, které odrážejí krátkodobé změny v srdeční frekvenci, čímž vypovídají o změnách v parasympatickém systému. Metoda frekvenční, jinak nazývaná také spektrální analýza variability srdečního systému dokáže určit hodnotu v sympatiku i parasympatiku, pro výpočet polohy a síly spekter je využívána rychlá Fourierova transformace (FFT) a autoregresivní metoda. [10, 11]



Obrázek 8 – Prostředí programu PP Scope [12]

## 2.5 Vegetativní nervová soustava

Vegetativní nervový systém je systém, jehož činnost nemůžeme ovládat, probíhá samovolně. Je součástí periferního nervového systému. Vegetativní nervová soustava zajišťuje převod vzruchů mezi centrálním nervovým systémem a tkáněmi nezávislými na naší vůli. Motorická část vegetativního nervového systému se skládá ze dvou systémů, sympatiku a parasympatiku. Tyto dva systémy za normálních okolností fungují v rovnováze, tzv. homeostáze. [28]

### **2.5.1 Sympatický nervový systém**

Sympatikus je zodpovědný za nastartování organismu v případě nebezpečí. Jedná se o okamžitou reakci, kterou nemůžeme ovlivnit. Zpomaluje proces trávení a připravuje zásoby energie. V těle ale zodpovídá i za elán, nadšení, motivaci. Účastní se také tzv. poplachové fáze, která je v našem těle řízena automaticky. Jejím úkolem je připravit tělo na boj nebo útěk. Během této fáze dochází k nabuzení organismu, stažení svalů, zvýšení tepové frekvence, stoupaní krevního tlaku, rozšiřování zorniček, blednutí kůže, mobilizaci bílých krvinek, rozšíření cév svalů a zpomalení trávicího traktu.

Sympatikus se spouští při poplachu v organismu, nejčastěji při stresu či při zaznamenání nějakého nebezpečí. Právě stres je významnou reakcí na duševní nebo fyzickou zátěž, probíhá při něm přemístění veškerých sil organismu. Kromě stresu lze sympatikus aktivovat též užíváním některých léků či vyvoláním silných emocí, případně hypoglykemií. [29]

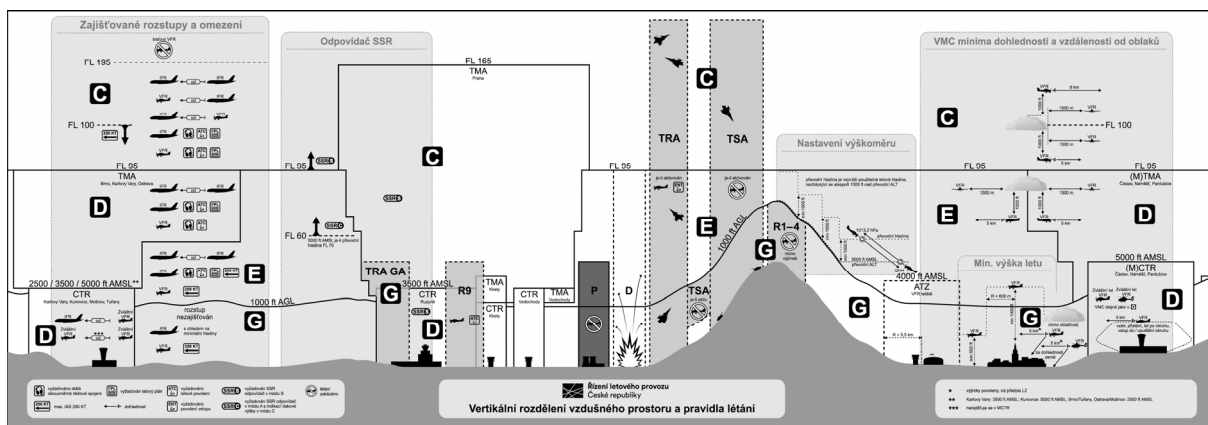
### **2.5.1 Parasympatický nervový systém**

Parasympatikus je v těle zodpovědný za řízení metabolických funkcí, trávení a budování a opravy tkání. Jeho aktivita je především utlumení mnoha funkcí, nejaktivnější bývá v průběhu spánku. Pokud je organismus v klidu a bezpečí, je za to zodpovědný právě parasympatikus. Ten má ale na starosti i přechod sympatiku do klidové fáze. Mezi jeho projevy patří zužování průdušek, stimulace systému trávení, zmenšování zorniček, zpomalení srdeční frekvence a celkový útlum tělesných i psychických pochodů.

Jakmile sympatikus dosáhne maximální hodnoty v těle, automaticky zareaguje parasympatikus. Není však možné být ve vybuzené fázi věčně, jelikož to by náš organismus nezvládl a postupně by docházelo k problémům či selhání orgánů. Proto pokud trvá nebezpečí či stres příliš dlouho, dochází automaticky k přesunu do klidnější fáze, za kterou je zodpovědný parasympatikus. [29, 30]

## **2.6 Vzdušný prostor**

Všechna cvičení na simulátoru budou probíhat na smyšleném vzdušném prostoru. Jeho třídy a klasifikace nicméně bude odpovídat vzdušným třídám nacházejícím se v České republice. V České republice rozlišujeme 4 vzdušné třídy, C, D, E a G. V každé z těchto tříd se poskytují letadlu jiné služby. Třídy C, D a E se klasifikují jako řízený vzdušný prostor a třída G se klasifikuje jako neřízený vzdušný prostor, jelikož je letadlům poskytována pouze letová informační a pohotovostní služba. Na obrázku 9 lze nalézt znázornění vzdušných tříd na území České republiky. [14]



Obrázek 9 – Rozdělení vzdušného prostoru na území ČR [15]

## 2.7 Rozstupy

Úkolem řídicího letového provozu je především zajišťovat rozstupy od známého provozu a tím zabraňovat nebezpečným sblížením či přímo srážkám na zemi, ve vzduchu a při kritických částech letu, zejména při vzletu a přistání, kde se letadla shlukují. [17]

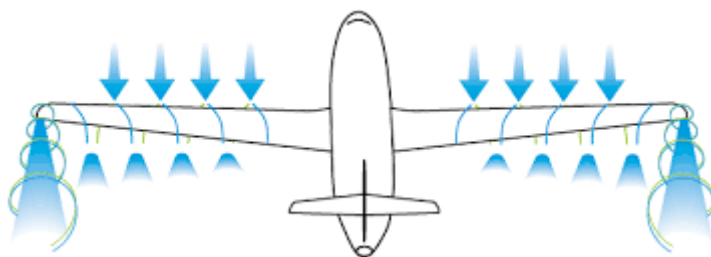
### 2.7.1 Horizontální a vertikální rozstupy

Rozstupy dělíme na horizontální a vertikální. Vertikální rozstup se standardně používá 1000 stop (necelých 305 metrů) a to až do letové hladiny 285. Od letové hladiny 285 je poté potřebná separace zvýšena na 2000 stop. Vzhledem k tomu, že kvůli efektivitě a ekonomice provozu většina letounů kvůli úspoře času a paliva létá právě mezi letovými hladinami 300 a 400, by nebyl provoz s vertikálními rozestupy 2000 stop možný. Proto byl ustanoven tzv. RVSM prostor (reduced vertical separation minima), kde je umožňuje letounům snížit tento rozstup na 1000 stop. Aby mohlo k tomuto snížení dojít, je zapotřebí, aby oba letouny měli certifikaci RVSM, vycvičené posádky a definované postupy společností certifikované úřadem. V případě, že jeden z letounů ji nemá nebo dojde k degradaci přímo za letu, musí být ihned uvědomen řídicí letového provozu, který zajistí větší vertikální nebo horizontální rozstup. RVSM prostor je definován od FL 285 do FL420. Poslední použitelná hladina v RVSM prostoru je FL410. Další použitelná hladina je tedy až FL430. Letová hladina 420 se nepoužívá. [18, 19]

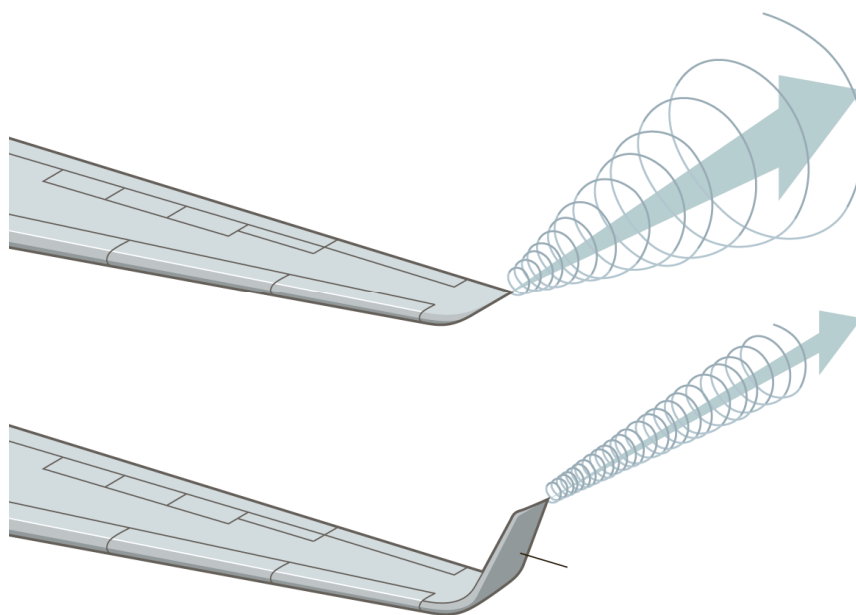
Základní horizontální radarový rozstup je 5 námořních mil (1 NM = 1852 metrů). Tento rozstup by měl být zajištěn letadlům v případě, že nemůže být zajištěn vertikální rozstup alespoň 1000, resp. 2000 stop nad FL285. V prostoru TMA může být tento rozstup snížen, pokud jsou splněny požadavky tohoto prostoru, kvalifikace řídicích a několik dalších. Pro potřeby cvičení na radarovém simulátoru jsme používali snížený rozstup 3 NM, pokud se letadlo pohybuje v TMA a je v kontaktu s řídicím. Ve skutečnosti by bylo potřeba splnit podmínek o mnoho více. [20]

## 2.7.2 Rozstupy dle kategorie turbulence v úplavu

Turbulence v úplavu (viz obrázek 10) je jev vyvolaný rotačním pohybem vzduchu v prostoru koncových částí křídel během letu. Účinek této turbulence na jiná letadla závisí na poměru hmotnosti letadel, rychlosti zdroje turbulence, na výškovém větru i teplotním zvrstvení. Indukovaný odpor generovaný na koncích křídel, a kvůli kterému tato turbulence vzniká, se dá snížit instalováním wingletů na konec křídel. Každý výrobce letadla vytváří trochu jiný typ, může mít i jiné pojmenování (např. sharklet), ale princip funkce je u každého letounu stejný. Na obrázku 11 je možné si prohlédnout rozdíl v množství generovaného indukovaného odporu na křídle bez wingletů a s wingletem. [21]



Obrázek 10 – Turbulence v úplavu [22]



Obrázek 11 – Porovnání generovaného indukovaného odporu na křídle [23] - upraveno

Dle váhy (maximální vzletové hmotnosti) rozlišujeme 4 druhy kategorie turbulence v úplavu. Kategorii Super má pouze letoun Airbus A380-800, kategorii Heavy letouny s MTOW vyšší než 136.000 kg, kategorii Medium letouny s maximální vzletovou hmotností mezi 7.000 kg a



136.000 kg a kategorii Light všechna se 7.000 kg či méně. Potřebné radarové rozestupy lze nalézt v tabulce 1. [24]

Super - Heavy	6 NM
Super - Medium	7 NM
Super - Light	8 NM
Heavy – Heavy	4 NM
Heavy – Medium	5 NM
Heavy – Light	6 NM
Medium – Light	5 NM

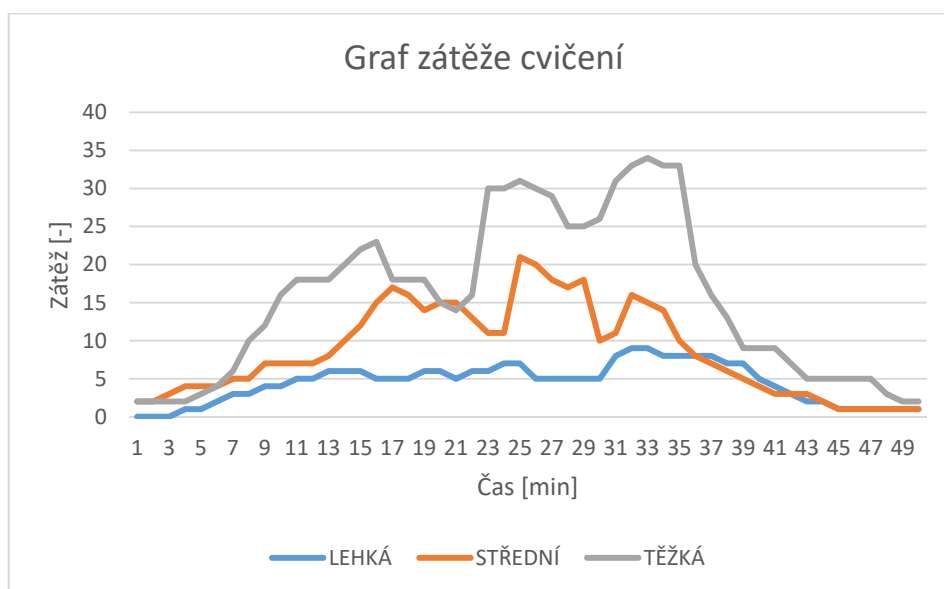
Tabulka 1 – Radarové rozestupy – kategorie turbulence v úplavu [24]

### 3 Návrh metodiky experimentu

Experiment se měl původně konat v prostorech Letecké školy na ŘLP. V rámci toho byla navržena 3 cvičení o délce asi 50 minut každé s postupně zvyšující se zátěží. Bylo navrženo lehké, středně těžké a obtížné včetně stavu nouze. Podle metodiky Eurocontrol byla stanovena obtížnost počty jednotlivých letadel – příletů, odletů, průletů.

Bohužel této možnosti nebylo vzhledem k úplně využito, ale byly vytvořeny zátěžové scénáře.

Grafy zátěže jednotlivých cvičení jsou znázorněny v grafu 1.



Graf 1 – Zátěž během cvičení na simulátoru Rose v prostorech ŘLP

V lehkém cvičení se jednalo o zvládnutí provozu, příletů a odletů. Objevil se jeden provoz se změnou pravidel letu. Žádné výjimečné situace, nouze, špatné počasí, technické problémy.

Ve středně obtížném cvičení začal provoz narůstat a bylo třeba uplatnit speed control, aby efektivně došlo ke zvládnutí provozu. Jedno letadlo mělo technický problém a potřebovalo se vrátit zpět a pár letadel potřebovalo obletět bouřku, která se vyskytovala na jejich příletové trati.

V obtížném cvičení šlo o uřízení provozu, hustý provoz, bouřky v okolí letiště. V momentě ustálení provozu mělo dojít k nouzovému stavu a okamžitému co nejrychlejšímu návratu na letiště. Cvičení bylo úmyslně koncipováno v takových vlnách, aby bylo dosaženo reálné a měřitelné stresové zátěže.

Následující odstavce se týkají již reálného a uskutečněného měření na simulátoru v prostorech FD ČVUT.

### **3.1 Popis experimentu**

Bylo vytvořeno cvičení na FD ČVUT na radarovém simulátoru pro řídící. Úkolem je během tohoto devadesátiminutového až dvouhodinového cvičení efektivně a především bezpečně a s co nejméně chybami odřídit provoz v TMA. Cvičení je koncipováno tak, aby bylo naddimenzováno a řídící se dostal pod tlak, do stresu a byl náchylnější k tomu udělat chyby. Jedná se o vysoce zátěžové cvičení.

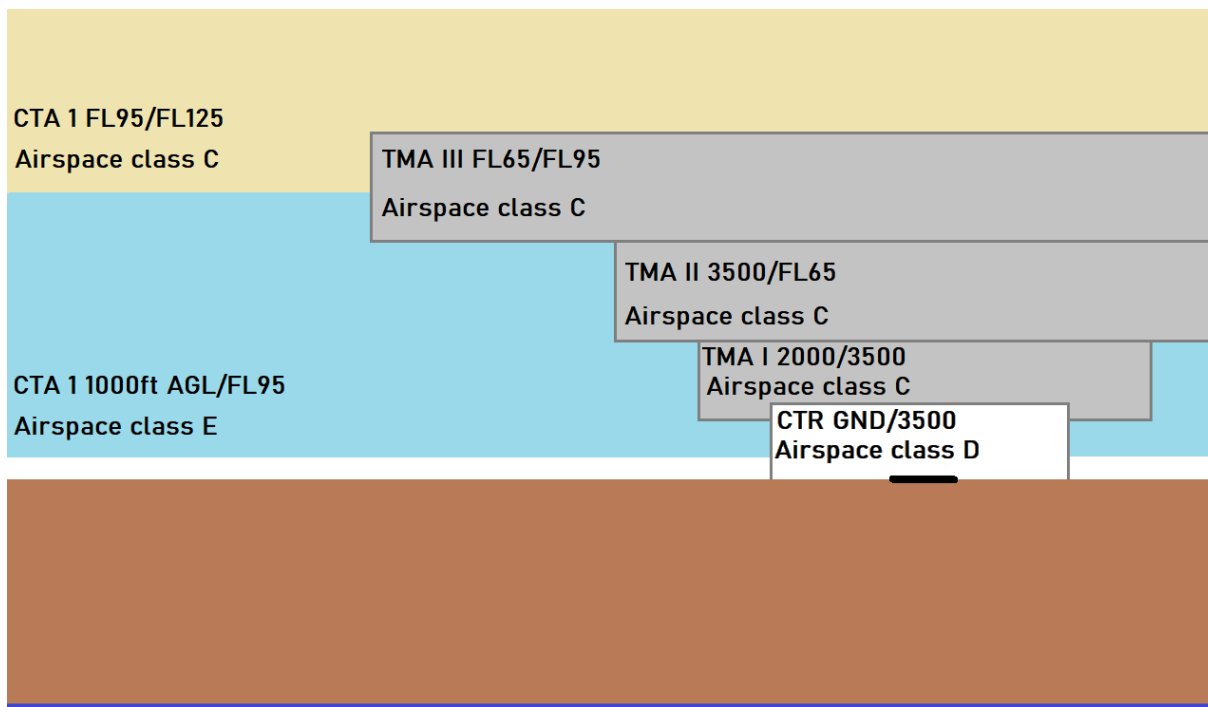
Cílem tohoto experimentu je stanovit si, do jaké míry je ovlivněno zvýšené EKG na chybovost subjektu a tyto chyby popsat, rozdělit a kategorizovat je, příp. stanovit limitace.

Pro zjednodušení práce a maximální efektivitu bylo vytvořeno zhruba hodinové video s řídicím pražské APP, ve kterém je popsána teorie řízení letového provozu v tomto prostoru, definovaný vzdušný prostor, letecká abeceda, čtení číslovek, instrukcí apod. Na jednom až dvou cvičeních byla možnost osahat si simulátor, funkce, ovládání a příkazy. Cvičení probíhala celý den a za jeden den se zvládnou naměřit tři až čtyři subjekty. Během dlouhého a zátěžového cvičení je řídící připojen k EKG a EEG, jehož data jsou předmětem dalšího zkoumání. Po ukončení cvičení je subjekt od EEG i EKG odpojen a vyplňuje subjektivní psychologický dotazník, který bude popsán níže.

#### **Popis vzdušného prostoru**

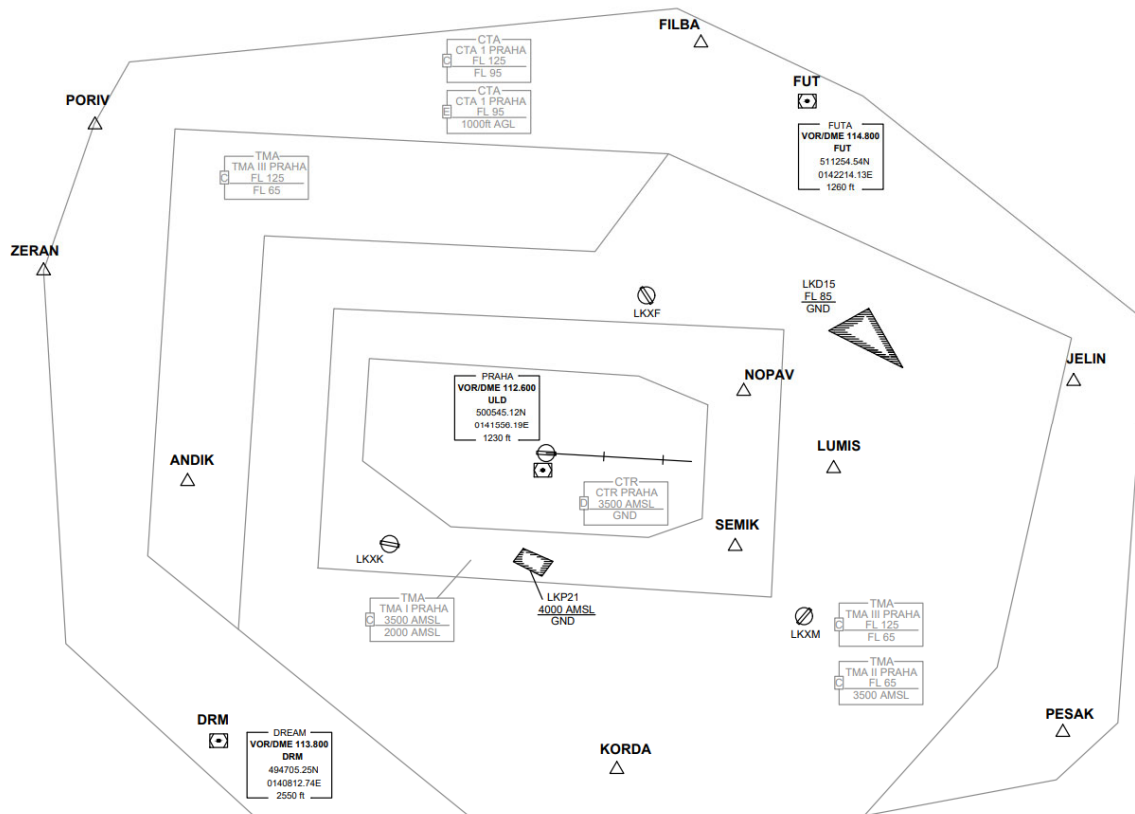
V simulátoru se vyskytne několik tříd a prostorů, ke kterým je třeba nějakého vysvětlení. Vzdušný prostor třídy C je ustanoven v celém vzdušném prostoru od FL95 až do FL660. My pro APP řízení (přibližovací letecké služby) se omezíme na řízení od země do FL125, kde je naše oblast kompetence řízení. Všechno nad FL125 již bude spadat do kompetence oblastního řízení, které bude simulovat pseudopilot. Poslední použitelná letová hladina bude tedy FL120. Řídící by tedy neměl vydat povolení bez koordinace, pokud se nachází mimo jeho oblast kompetence. Prostor, který se nachází pod FL95 a je klasifikován jako vzdušný prostor třídy C, se nazývá TMA, neboli Terminal Maneuvering Area a slouží přibližovací službě řízení k efektivnímu a bezpečnému rozstupu při příletech na řízená letiště. Tento prostor nikdy nesahá až k zemi, většinou se pod ním vyskytuje jedno nebo více řízených letišť, resp. řízených okrsků, které jsou definovány od země do určité výšky a zajišťují tím bezpečný rozstup letadel od sebe na vzletových a přistávacích drahách a zároveň při nejkritičtějších

částech letu. Rozdělení vzdušného prostoru na simulátoru je znázorněno na obrázku 12.



Obrázek 12 – Rozdělení vzdušného prostoru na našem simulátoru (vlastní zpracování)

Mapa vzdušného prostoru pro účely měření na simulátoru je smyšlená a je na obrázku 13.



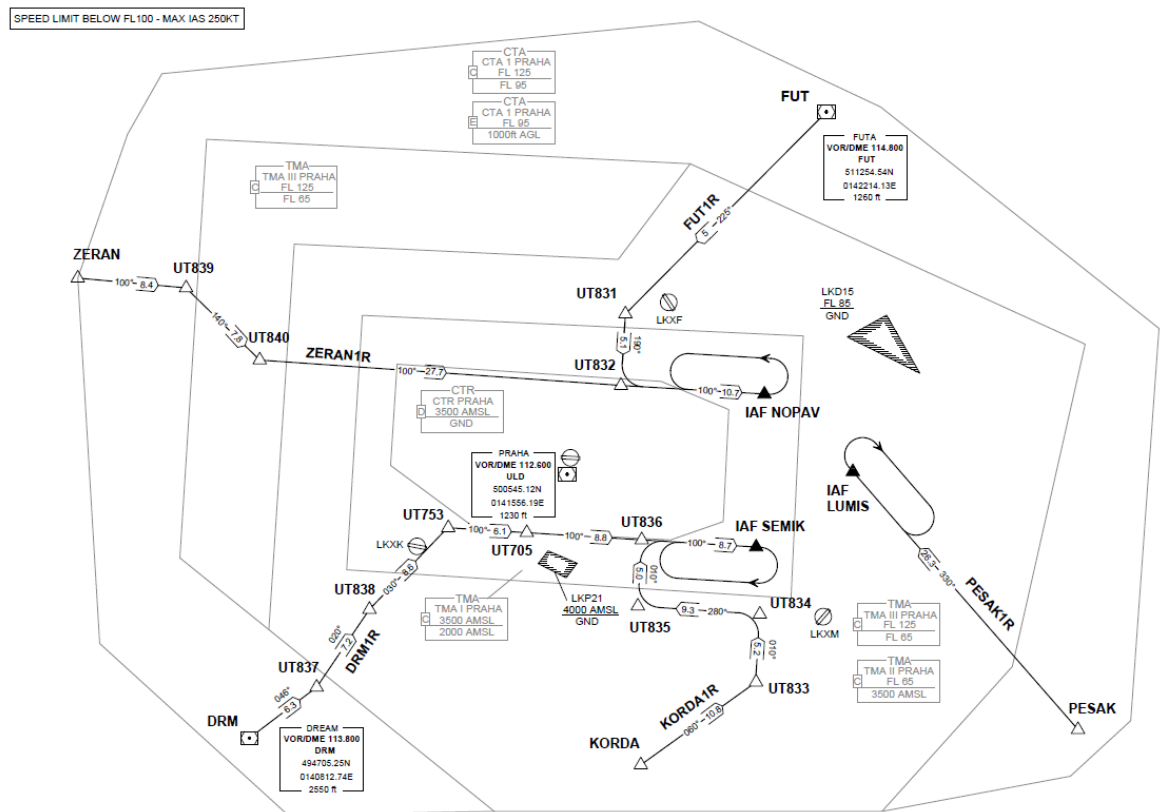
Obrázek 13 – Mapa smyšleného vzdušného prostoru [16]

V tomto vzdušném prostoru se nachází letiště Praha, v jehož blízkosti se nachází radionavigační zařízení VOR/DME ULD. Těsně v jeho blízkosti je od země do 3500 stop nad hladinou moře ustanoven prostor CTR (řízený okrsek), jedná se o vzdušný prostor třídy D. V něm a nad ním se nachází prostor třídy C, TMA Praha. Mimo těchto prostor je všude v okolí ustanoven prostor třídy E, kde se může pohybovat VFR provoz bez jakéhokoli omezení až do FL95. Nachází se zde také několik specifických prostorů. Prvním z nich LKD15 je umístěn severovýchodně od letiště, jedná se o nebezpečný prostor ustanovený od země do letové hladiny FL85. Řídicí by neměl bez předchozí koordinace známý provoz navedovat či zkrátit trať přes tuto definovanou oblast. Řídicí musí dodržet vertikální restrikce prostoru nebo nařídít obletění tohoto prostoru. Druhý LKP21 je zakázaný prostor s vertikálními hranicemi od země do 4000 stop nad střední hladinou moře. Reálně v průběhu cvičení nebude možné průlet těmito prostory zkoordinovat, resp. vždy to bude koordinací zamítnuto.

Pro účely cvičení je definováno pouze jedno přístrojové přiblížení, jedná se o ILS přiblížení dráhy 27. Pro zjednodušení práce řídicího je na mapě vyznačena prodloužená osa dráhy 27.

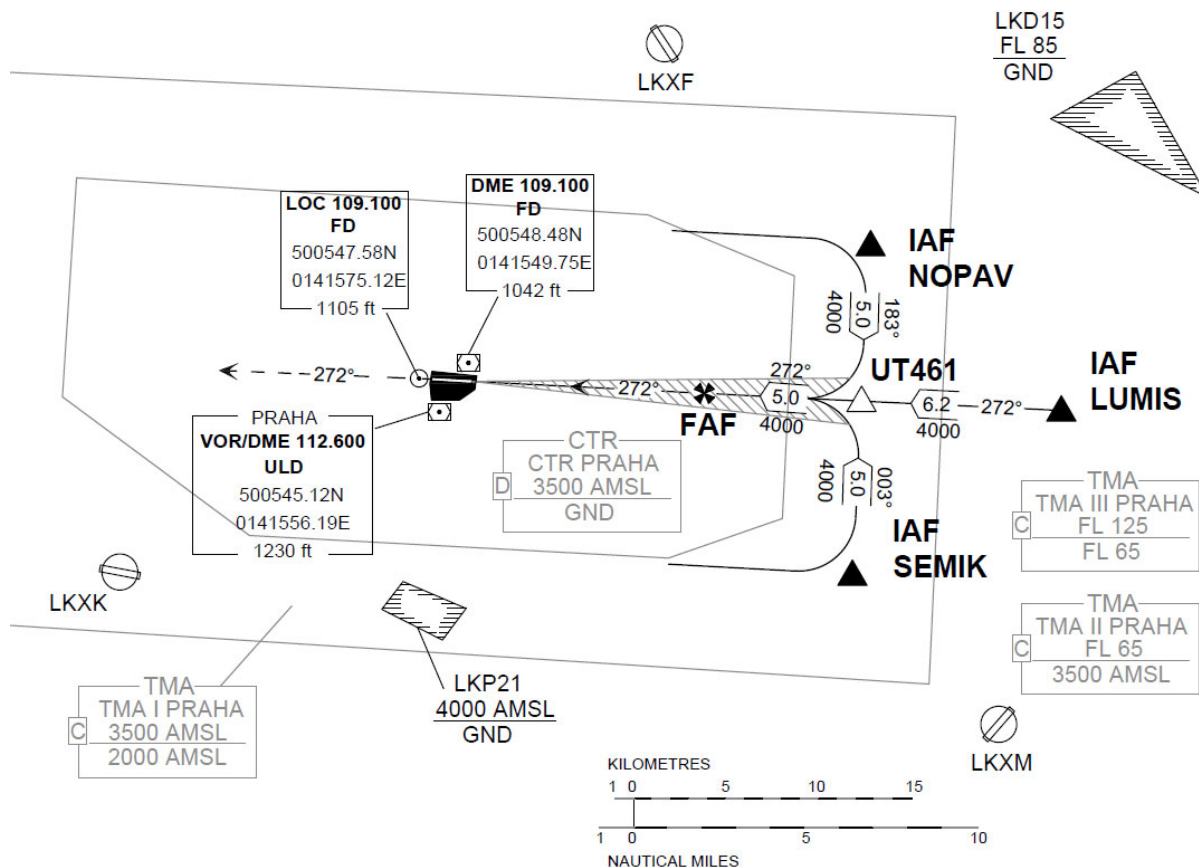
V okolí letiště i na okraji TMA Praha se nachází několik vstupních a výstupních RNAV bodů, které jsou tvořeny pěti písmeny. Všechny provoz ve cvičení bude nastaven tak, aby řídicí mohl v kterémkoli okamžiku poslat jakékoli letadlo přímo na libovolný RNAV bod, který je v jeho kompetenci. Na severozápadě se nachází body ZERAN a PORIV, západě bod ANDIK, na severu FILBA a VOR/DME FUT, na východě bod JELIN a při jižním okraji TMA pak body PESAK, KORDA a VOR/DME DRM.

V celém cvičení lze použít pouze ILS přiblížení dráhy 27. Pro toto přiblížení jsou ve cvičení definovány 3 IAF (initial approach fix), na kterých je definován holding. Jedná se o body SEMIK, NOPAV a LUMIS. Holding je vždy směrem od osy konečného přiblížení, jak lze vidět na obrázku 14. Těmito body končí příletová trať STAR (Standard Arrival Route), kterých je ve cvičení definováno celkem pět. Ze severozápadu vede trať ZERAN1R, ze severovýchodu FUT1R, z jihovýchodu PESAK1R. z jihu KORDA1R a z jihozápadu DRM1R.



Obrázek 14 – Příletové tratě STAR a holdingy [16]

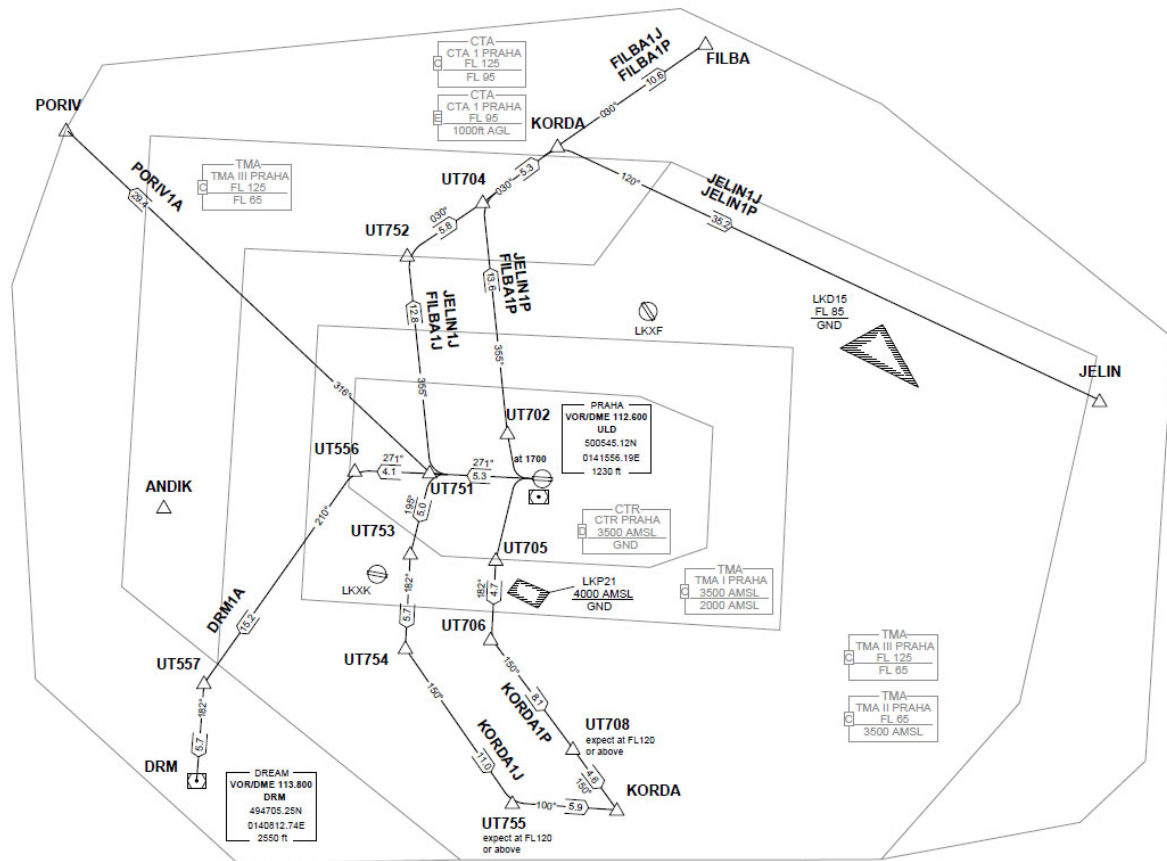
ILS přiblížení na dráhu 27 je definováno z IAFů NOPAV, SEMIK a LUMIS. V ose dráhy se pak nachází bod UT461, který je umístěn strategicky před bodem FAP (final approach point). FAF je umístěn 8,4 NM od dráhy ve výšce 4000 stop nad střední hladinou moře. Poté je definován 3° sestupovou rovinou do minim ILS přiblížení. Při nezdařeném přiblížení je instrukce pokračovat kurzem dráhy a stoupat do výšky 4000 stop s tím, že bude řídicím poskytnuto radarové vektorování. Nadmořská výška letiště je 1001 stop nad střední hladinou moře. Mapa konečného přiblížení je znázorněna na obrázku 15. [16]



Obrázek 15 – Mapa konečného přiblížení ILS 27 [16]

Odlety v rámci cvičení jsou definovány po standardních odletových tratích (viz obrázek 16), SID (Standard Instrument Departure). V simulovaném vzdušném prostoru se nachází odletové tratě na pět výstupních bodů. Na bod severozápad vede trať PORIV1A a na jihozápad DRM1A. Na výstupní body FILBA, JELIN a KORDA již vedou na každou dvě tratě, z nichž jedna je pro turbovrtulové letouny a druhá pro proudové letouny. FILBA1P, JELIN1P a KORDA1P jsou tratě pro turbovrtulové letouny, tratě FILBA1J, JELIN1J a KORDA1J jsou tratě pro proudové letouny.





Obrázek 16 – Mapa odletových tratí SID [16]

### Popis experimentu a subjektů

Experiment této diplomové práce je navržen tak, aby dostal řidičího do stresu, pod tlak a zároveň v něm vybudil výkonnost i tendenci k chybám. Experimentu se celkem zúčastní dvacet subjektů v rozmezí 18 – 28 let, někteří s menšími zkušenostmi v řízení letového provozu, někteří s většími, všichni pak pouze amatéři, nikdo nevykonává tuto činnost profesionálně. Pro účely měření bylo zapotřebí znát výborně leteckou abecedu, frazeologii i základy řízení letového provozu včetně vektorování. Pro měření bylo též důležité mít situační povědomí a znát možnosti a prostředky řídicího letového provozu, včetně základní legislativy a postupů, jako je rozdíl mezi převodní výškou a hladinou či co vyjadřuje tlak QNH. Celý experiment probíhal na simulátoru v prostorách Fakulty dopravní ČVUT na Ústavu letecké dopravy. Právě tam se totiž nachází Escape Simulator v Laboratoři ATM, který běžel na standardních počítačích se systémem Windows. Jednalo se o dvě stanoviště, jedno pro řidičího a druhé pro pseudopilota. I přesto, že celý experiment probíhal v jedné místnosti, měl řidičí i pseudopilot nasazena sluchátka, přes která komunikovali. Řízení letového provozu se konalo bez stripů (viz obrázek 17), tzn., že řidičí měl všechny potřebné informace přímo v labelu u letadla (viz obrázek 18).

ZERAN 1204		<i>Tyrol Ambulance</i> <b>TYW752 I</b> 1437 F370	SPD:	LVL:	HDG:	RMK: STS/HOSP
130	27	ASTR/L N0402 LFPO - LKAA				
PESAK		<b>OKGER Z</b> 1406 F110	SPD:	LVL:	HDG:	RMK:
110		DA62/L N0162 LKXK - LZIB				
KORDA 1214	KORDA1P 5000	<i>Meridian</i> <b>MEM3046 I</b> 3365 F170	SPD:	LVL:	HDG:	RMK:
120	27	AN12/M N0342 LKAA - LKMT				

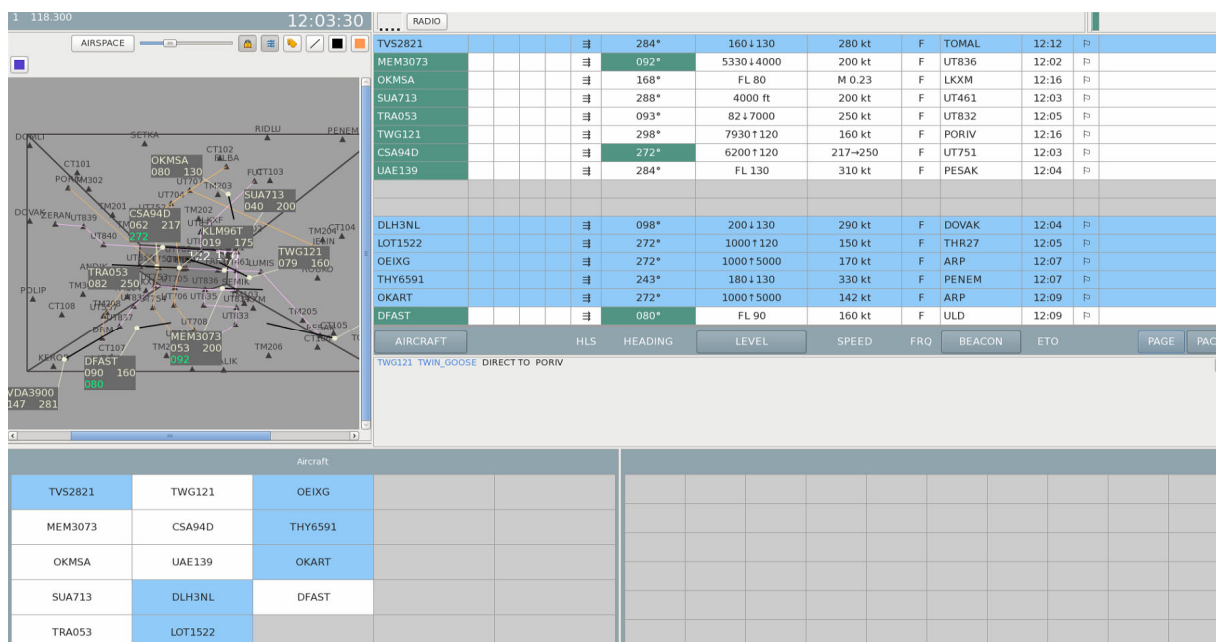
Obrázek 17 – Stripy na radarovém simulátoru (vlastní zpracování)

Tento label lze vidět na obrázku 18 a jsou na něm pro řídicího všechny potřebné informace. Na prvním řádku je vidět volací znak letadla, v našem případě „Skytravel 492 Papa“, značka CTR je jen označení simulátoru, pro řídicího nijak důležitá. V následujícím řádku lze vidět 055, jedná se o FL55, šipka nahoru znamená, že letadlo stoupá, 380 je žádaná letová hladina (podaná v letovém plánu), 26 udává ve stovkách stop vertikální rychlost letadla, v tomto případě 2600 ft/min. Ve třetím řádku A10 znamená altitude 1000 ft, tedy nadmořskou výšku letiště Praha v našem simulátoru (zaokrouhleno na stovky stop). B738 značí typ letounu, jedná se o Boeing 737-800 a M je označení kategorie turbulence v úplavu – Medium. Poslední řádek značí že PORIV je výstupní bod letadla z TMA a druhý PORIV značí, že letadlo dostalo od řídicího DCT PORIV. Bílá tečka značí aktuální polohu letounu, která se aktualizuje jednou za 5 sekund, podobně jako u reálného stanoviště ATC. Bílé tečky značí x sekundovou historii trajektorie letu, zatímco bílá čára před letounem značí jednominutový speed vector, tzn. kde se letadlo bude nacházet za jednu minutu při konstantní dopředné rychlosti.



Obrázek 18 – Label letounu – radarový simulátor (vlastní obrázek)

Ani pro pseudopilota není toto cvičení jednoduché. I on se dopouští zcela neúmyslných chyb, které je za úkol řídicího odstranit. Prostředí pseudopilota lze vidět na obrázku 19. Na jednom monitoru má ovládání, na druhém má zvětšený celý prostor, aby měl situační povědomí a věděl, co se kde děje, jelikož zmenšený obraz na obrázku v levém horním rohu je pro situační povědomí nedostačující.



Obrázek 19 – Prostředí pseudopilota na radarovém simulátoru (vlastní obrázek)

V experimentu se vyskytovalo několik úmyslných chyb či problémů tak, abychom sledovali pozornost řídicího a jeho situační povědomí včetně nestandardních situací.

Cvičení začalo v 0800z. Byla následující platnost ATIS informací:

ATIS K, 8:00-8:30, Q1002

ATIS L, 8:30-9:00, Q1001

ATIS M, 9:00-9:30, Q1002

ATIS N, 9:30-10:00, Q1001

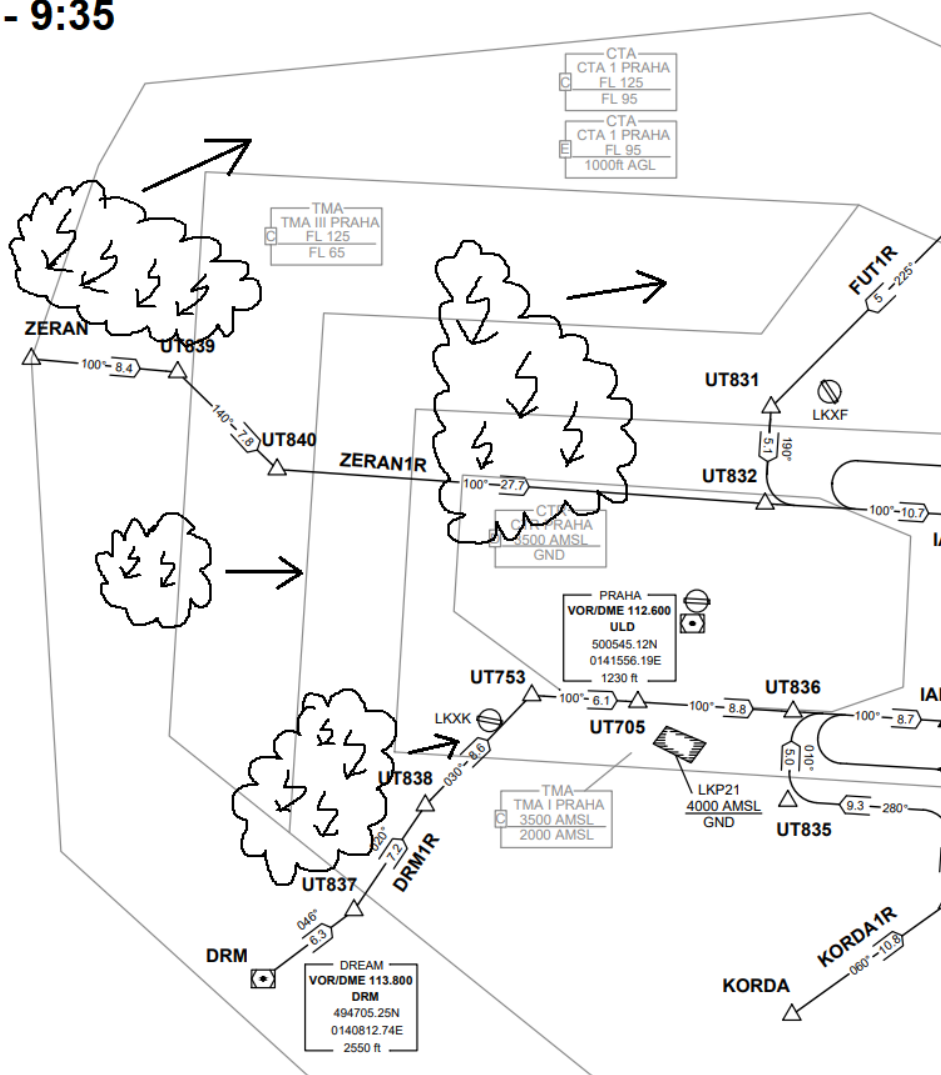
Ve cvičení se nacházel především IFR provoz, ale i VFR nebo kombinovaný provoz.

Přílohou této práce je i pilot a instructor log, kde jsou detailně popsány přesné instrukce a co se bude dít v které minutě cvičení.

Jedná se mimo jiné žádosti o zkrácení, neoznámení počáteční hladiny, žádosti o vyhnutí se počasí, kombinovaný český provoz, přeslechy typu 4000 ft a 5000 ft – povolení do jiné výšky. Instrukce daná jinému letadlu, př. ABP521 a TVS521, řídicí volá jedno letadlo, odpoví mu druhé a vykoná příkaz, pokud ho řídicí neopraví. Dále neoznámení QNH, potřebná

koordinace a především bouřky západně a severozápadně od letiště, jejichž schéma je znázorněno na obrázku 20.

**9:15 - 9:35**



Obrázek 20 – Bouřkový scénář na radarovém simulátoru [16]

Následně je ve cvičení provoz, který se bude chtít kvůli technickým problémům vrátit zpět na letiště, ale nebude žádat přednostní přistání ani nevyhlásí stav nouze.

Ve cvičení bude následně probíhat i údržba dráhy, přičemž bude nutné letiště na 10 minut zavřít. Toto bude oznámeno tak 10 minut předem a je důležité, aby řídící oznámil, které letadlo bude přistávat jako poslední, aby následně mohla být zavřena dráha. Poté následuje přímo smršť přilévajících letadel, přičemž řídící musí efektivně zpomalit a poté vektorovat ostatní letadla na přiblížení, aby postupně přistávala a nevznikl zmatek a chaos na třech bodech vyčkávání s 30 letadly. Letadla, která nebudou stabilizovaná (ať už kvůli chybě

řídícího nebo pilota), udělají Go Around (postup nezdařeného přiblížení) a řídící je bude muset vektorovat znovu na ILS přiblížení dráhy 27.

Z celého řízení byl pořízen video záznam, který je vyhodnocen ještě jednou a jsou zapsány všechny chyby a čas, ve kterém vznikly. To bude následně zpracováno spolu s EKG, aby bylo možné zvýšené EKG spárovat s případnými chybami.

### 3.2 Zpracování naměřených dat

Naměřená data byla uložena v textovém souboru. Z dat, která byla naměřena bylo třeba vyčíst R-R intervaly. Jelikož by nebylo jednoduché tato data zpracovávat ručně, byla použita krátkodobá Fourierova transformace v okně. Výhodou této transformace je, že funkci analyzuje po krátkých úsecích, ty jsou vybírány podle reálného symetrického okna. Toho bylo využito právě z toho důvodu, že u EKG křivky předpokládáme opakující se tendenci kmitů po nějakém čase. Tento předpoklad by mohl být narušen u nemocných lidí, trpících srdeční arytmií apod. Byly nastaveny parametry pro optimální zpracování dat, šířka okna 30 a overlap 15.

Data o variabilitě srdeční frekvence se dají zpracovávat několika způsoby, nabízí se časová analýza, frekvenční analýza, časově-frekvenční analýza i nelineární analýza naměřených dat. Časová analýza poskytuje právě IBI (interbeat) interval, frekvenční analýza nabízí díky použité Fourierově transformaci možnost oddělit jednotlivé komponenty variability srdečního rytmu (HRV). Tyto komponenty jsou ULF, VLF, LF a HF. Právě tyto komponenty jsou pro zpracování dat velmi důležité, protože zjednodušeně řečeno právě nižší frekvence LF (50 – 150 mHz) charakterizují hodnotu sympatiku, vyšší frekvence HF právě poukazují na hodnotu parasympatiku. Bohužel, pokud budou data zpracována pouze ve frekvenční oblasti, není možné získat žádné informace o vývoji v čase.

Zpracování této práce bylo potřeba provést v časově-frekvenční oblasti, jelikož je možné zpracovat data v časové i frekvenční oblasti. Tato analýza byla provedena přes krátkodobou Fourierovu transformaci v okně. Princip je velmi jednoduchý, dojde k rozdělení signálu na malé úseky, každý z těchto úseků je pak podroben Fourierově transformaci zvlášť.

Vzorec pro krátkodobou Fourierovu transformaci:

$$STFT\{x[n]\}(m, \omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n]w[n - m]e^{-j\omega n} \quad (1)$$

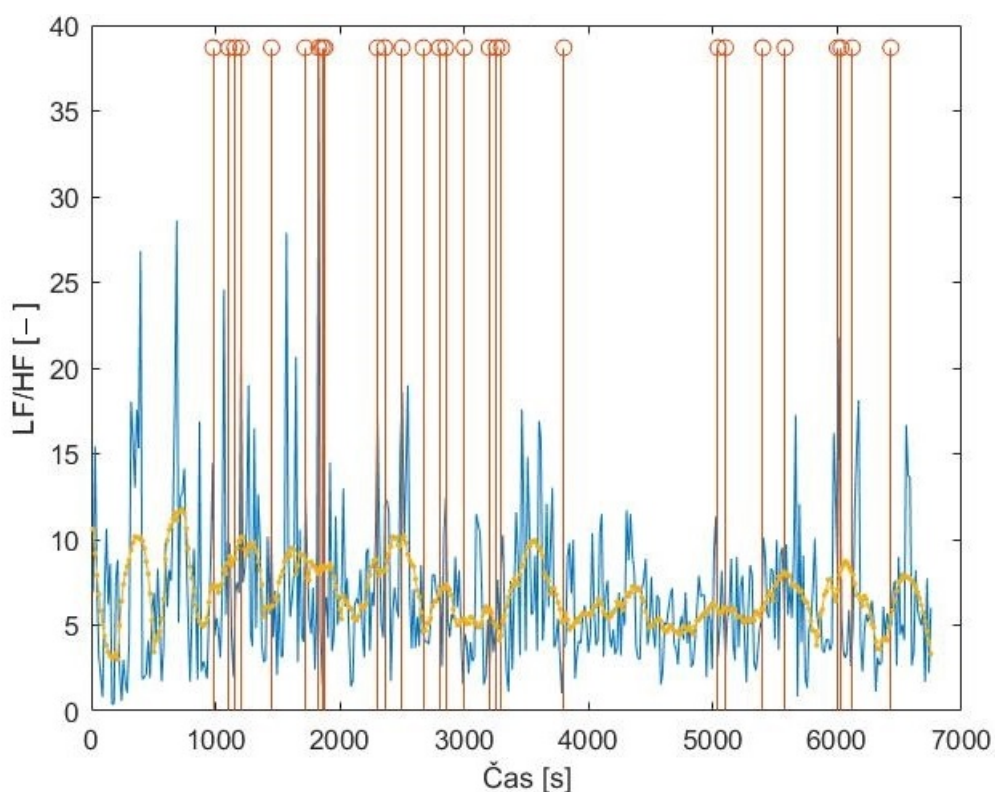
, kde  $x_n$  je poloha signálu v časové doméně,  $m$  představuje časový index,  $\omega$  je frekvence a  $w_n$  je sekvence tzv. window funkce. [32, 33]

Poté, co byla tato data zpracována, využily se hodnoty LF a HF v čase. To bylo provedeno jejich podílem LF/HF, což zobrazuje vyváženost sympatiku a parasympatiku v našem těle. Dá

se tedy usuzovat, že vyšší hodnoty tudíž znamenají vyšší množství stresu. Veličina LF/HF je bezrozměrná. [31]

K analýze a zpracování dat posloužil systém HRVAS (Heart Rate Variability Analysis Software). Tento software byl vyvinut v programovém prostředí Matlab a umožňuje zobrazit výsledky dat ve všech analýzách, dokonce i v několika možných zobrazeních. Grafy, které byly programem HRVAS vygenerovány, byly zpracovány spolu se souborem se seznamem chyb \*.xlsx opět v prostředí Matlab, aby bylo možné zobrazit křivku stresu a chyby v čase v jednom grafu.

Výslednou zátěž s chybami lze vidět na obrázku 21. Na ose x je zobrazen čas v sekundách. Na ose y je vyobrazen již zmíněný poměr LF/HF, který zobrazuje stres daného jedince. Samotná křivka stresu je pak vyobrazena modře. Žlutě jsou vyobrazena data po vyloučení extrémních hodnot (trend), aby křivka stresu byla smysluplná a mohly být vyloučeny případné nejistoty měření způsobené rychlým pohybem subjektu apod. Oranžově jsou v obrázku vyznačeny chyby subjektu. Kompletní zpracování výsledků všech subjektů lze nalézt v kapitole 4.



Obrázek 21 – Vzor analýzy výsledků

### 3.3 NASA Task Load Index (NASA-TLX)

Pro subjektivní hodnocení výkonnosti je standardně využíván tzv. NASA Task Load Index (NASA-TLX). Jelikož jsem ve své bakalářské práci již tento způsob využil a byla i vytvořena

softwarová implementace tohoto testu, licencována jako NASA Task Load Index Implementation (NTLx). [25]

Subjekt se po cvičení na simulátoru zúčastní tohoto dotazníku, kde je jeho úkolem posoudit na škále od jedné do dvaceti (viz obrázek 22), jak je řízení na ATC simulátoru vysilovalo v kategoriích psychická zátěž, fyzická zátěž, časový tlak, výkonnost, úsilí a frustrace.

Jednotlivé hodnocené kategorie jsou popsány níže.

Psychická zátěž – nakolik jedince zatěžovalo řízení a požadavky letadel, meteorologická situace, technické problémy z hlediska psychických úkonů – jak moc se musel soustředit, přemýšlet, propočítávat, mluvit, koordinovat, pracovat s labely letadel, vektorovat, vydávat instrukce, používat leteckou frazeologii. Od zcela jednoduché do extrémně náročné.

Fyzická zátěž – nakolik jedince vyčerpalo z hlediska fyzické zátěže řízení letového provozu. Je velká pravděpodobnost, že fyzická zátěž byla nepatrná vzhledem k tomu, že subjekt jen seděl před PC a pohyboval myší s klávesnicí. Nicméně byl připojen na EEG a EKG, což mu mohlo působit značný dyskomfort během řízení.

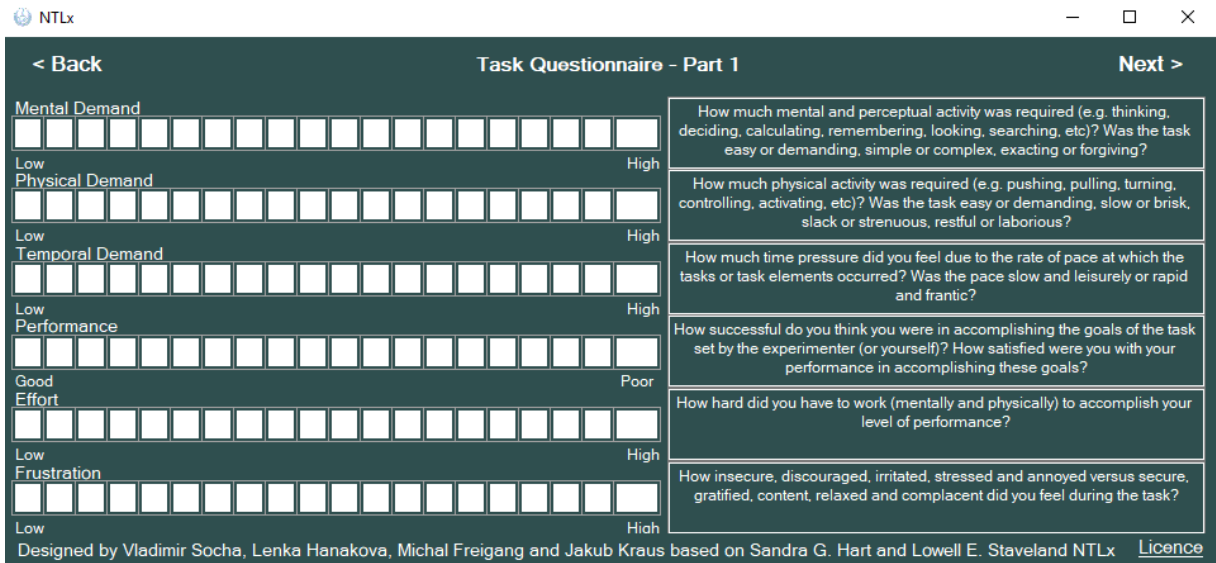
Časová zátěž – jak moc cítil jedinec časový tlak – přilétávala letadla příliš rychle a nestíhal vydávat pokyny, příkazy, bylo na frekvenci obsazeno a nestihl vydat potřebné pokyny včas, cítil nutnost zasáhnout okamžitě, aby nedošlo ke sblížení/srážce dvou letadel.

Výkonnost – zde se jedná o sebekritické hodnocení jedince – jak si myslí, že byl v řízení letového provozu úspěšný a jak byl celkově spokojený se svým podaným výkonem během řízení, průběhem komunikace, frazeologie, vektorování, použitím holdingů, koordinace, nařizování rychlostí, řešení nestandardních situací.

Úsilí – kolik práce dalo subjektu uspokojit požadovanou úroveň výkonnosti a zda ji zvládl po celou dobu udržet. Zda bylo udržení situačního povědomí a zajištění rozstupů mezi letadly jednoduché nebo složité, letadla se musela připomínat.

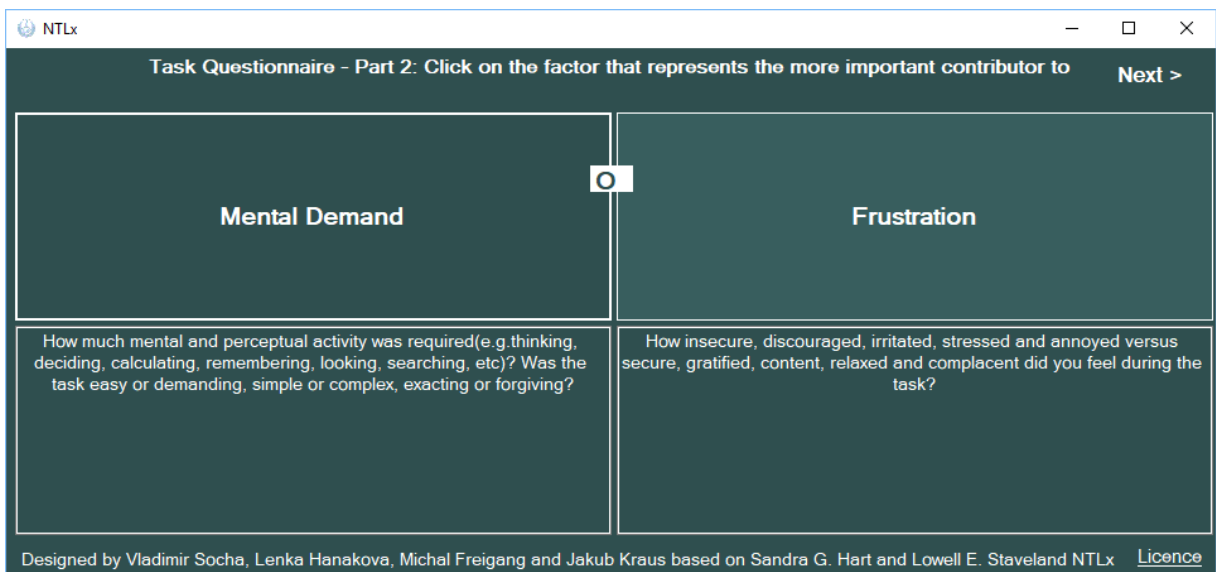
Frustrace – zde subjekt hodnotí, jak nejistý, demotivovaný, vystresovaný, rozčílený či rozhořčený z řízení letového provozu byl – ať už z důvodu nefunkčnosti simulátoru, neznalosti jeho ovládání, vlastních chyb, stresu, či že prostě nestíhal odbavit všechna přilétávající letadla.





Obrázek 22 – Ukázka programu NTLx (psychologický dotazník) [25]

Po vyplnění tohoto dotazníku a stisknutí tlačítka Next následuje část druhá. Jedná se o porovnávání těchto šesti kategorií navzájem. Porovnává se každá kategorie s každou, tudíž je možno dokázat, co subjekt ovlivňovalo nejvíce. Subjekt zaškrťává to pole, které na něj dle jeho dojmu působilo více – viz obrázek 23.



Obrázek 23 – Ukázka druhé části psychologického dotazníku NTLx [25]

Výsledek testu se objeví po kliknutí na poslední pole v prioritách. Je rozdělen do třech grafů a celkového skóre. První graf je pouhé převedení první části na procenta. Stupnice od jedné do dvaceti reprezentuje 5 – 100 % s krokováním po 5 %.

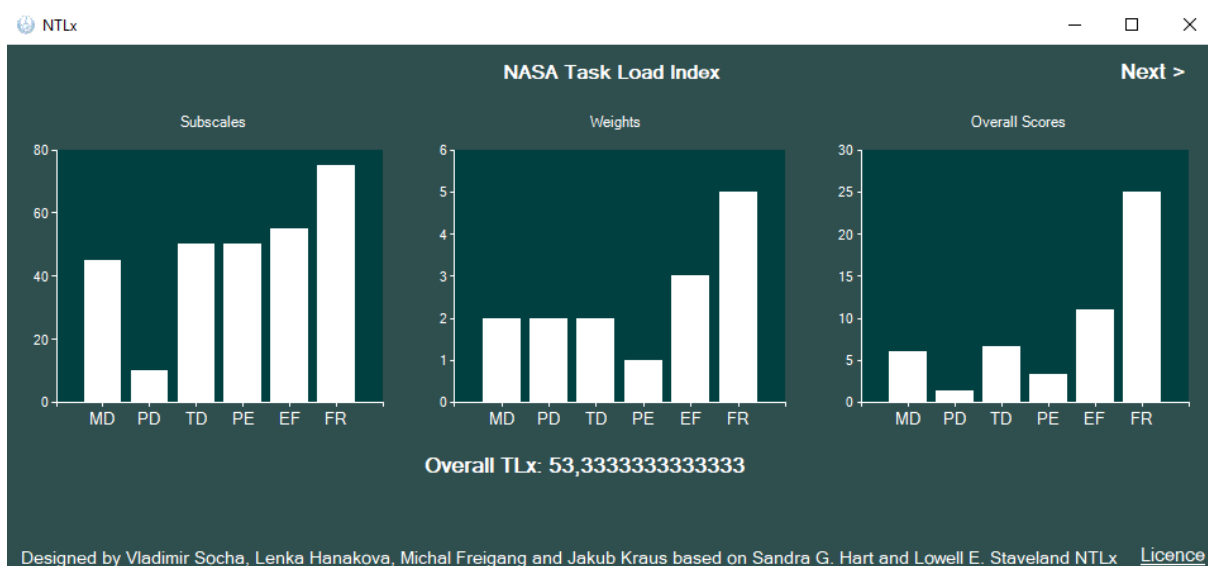
Druhý graf zobrazuje množství kliknutí na jednotlivou kategorii, resp. její upřednostnění před jinou kategorií. Z obrázku 24 je zřetelné, že největší roli hrála u subjektu frustrace, nejmenší výkonnost.

Ve třetím grafu jsou zobrazeny informace pouze na základě váženého průměru. To znamená, že se vezme hodnota kategorie v procentech (z prvního grafu), která se vynásobí váhou (z druhého grafu). Celkově se vybírá z šesti nad dvěma kombinací, to reprezentuje následující rovnice:

$$\binom{6}{2} = 15 \quad (1)$$

Počet výskytů se tedy vydělí 15, tím získáme váhu pro každou kategorii.

Pokud se tato váha pronásobí s procenty z prvního grafu, získá se skóre jednotlivých kategorií v procentech (třetí graf). Pokud se všechny tyto kategorie posčítají, lze získat Overall TLx – celkové skóre. Tato hodnota je sama o sobě nic neříkající, nedá se říci, že hodnota 30 je dobrá a hodnota 60 špatná. [27]



Obrázek 24 – Ukázka výsledků psychologického dotazníku NTLx [25]

## 4 Analýza výsledků

Než bude možno zhodnotit výsledky, je potřeba říci, jak bylo dosaženo alespoň minimální požadované úrovně. Všechny testované subjekty si měly pustit asi hodinu dlouhé výcvikové

video, kde jim byly vysvětleny požadavky na frazeologii, charakteristika daného vzdušného prostoru včetně odletových a příletových tratí i definovaných holdingů, správný postup pro přeladění letadel a koordinaci s ostatními stanovišti. Dále byly vysvětleny standardní postupy, jako změna tlaku z QNH na QNE (standardní tlak) a naopak. Bylo vysvětleno i základní ovládání simulátoru a co znamenají věci na labelu na monitoru – byla použita stripless verze.

V následujících odstavcích bude řečeno o zkušenostech jednotlivých subjektů. Většina subjektů měla zkušenosti z online prostředí VATSIM (Virtual Air Traffic Simulation Network), jedná se o online platformu, která simuluje reálný svět včetně letišť a řídicích stanovišť. V této platformě lze vystupovat jako pilot i jako řídící letového provozu – po získání určitých zkušeností a zkouškách podle daných pravidel. [31]

## **Klasifikace chyb**

Klasifikace chyb je v případě řízení letového provozu velmi obtížná. Nelze totiž jednoznačně určit, co je považováno za chybu a co ne. Proto byla stanovena pravidla pro řízení letového provozu na našem simulátoru tak, aby bylo jasně definováno, co je chyba a co ne.

Jednoznačná chyba je snížení rozestupu pod předepsané minimum, případně minima žádaná ostatními stanovišti (v našem případě simuloval pseudopilot). Minimální rozstupy jsou velmi častou chybou, a pokud k takové situaci dojde během výcviku pro budoucí řídící, cvičení je hodnoceno, jako Neuspěl. Je třeba klást důraz na minimálně 1000 stop vertikálně nebo 5 námořních mil horizontálně. V našem cvičení bylo minimální horizontální radarový rozstup 3 námořní míle.

Další chybou, kterou lze hodnotit, je identifikace letadla/cíle. Pokud řídící vidí cíl na obrazovce, má povinnost mu to oznámit. To se obvykle dělá slovním spojením Identified nebo Radar contact. Některé subjekty jsme na tuto chybu upozorňovali i v průběhu měření, protože by se opakovala u každého radarového cíle.

Další velmi častou chybou je nepotvrzení informace ATIS a QNH daného letiště. ATIS je informace, které má přilétávající letadlo oznámit při prvním spojení se stanovištěm přiblížovací služby řízení (APP). To obvykle dělá společně s QNH, tedy tlakem na letišti. V případě, že tuto informaci neřekne nebo již není platná, měl by řídící říci aktuální písmeno této informace. S tím souvisí i klesání pod převodní hladinu (TL), pokud řídící klesá cíl do altitude 5000 stop, má povinnost mu oznámit aktuální QNH. Pokud neoznámí, je to bráno jako chyba.

Žádosti o vyhnutí bouřek byly jevy, které se také vyskytovaly v průběhu cvičení. Bouřky představují pro letadlo okamžité nebezpečí, na které musí být ve většině případů odpověď ihned. Proto lze ignorování nebo odpověď čekat považovat za chybnou nebo minimálně dostatečně neprofesionální v našem cvičení. Nicméně zde bych rád připomněl, že pokud má

velitel letu obavu o bezpečnost letu, může úhybný manévr zahájit i bez potvrzení řídicího letového provozu.

Velmi těžce se hodnotí efektivita řízení letového provozu. V našem prostředí, na studentech a lidech, kteří letový provoz zpravidla nikdy neřídili a ani neovládají frazeologii a neměli několikaměsíční výcvik teorie, nelze toto efektivně hodnotit. Jako chybu šlo v našem prostředí hodnotit u odlétajícího letadla pokyn ke klesání, když bylo ve stoupání, protože k tomu by reálně nedošlo a jednalo se o velmi neefektivní způsob řízení letového provozu. Nicméně tento problém se objevil jen u subjektu 2, který je extrémní případ, který uměl jen abecedu a leteckou frazeologii se učil až během cvičení.

Nerespektování vzdušného prostoru ve vertikálních hranicích je častou a ne až tak dobře viditelnou chybou. Veškeré radarové obrazovky jsou uzpůsobeny ve 2D, což znamená, že vertikálně letadlo může být v našem prostoru, ale i mimo něj. Právě tato neznalost nebo nemožnost představit si letadlo ve 3D prostoru byla další častou chybou, klesání přes prostor jiného řídicího nebo nedodržení koordinačních dohod, tj. nedodržení předepsané letové hladiny na výstupním bodu z TMA.

Ověření módu C odpovídače je další z povinností řídicího. U odlétávajících radarových cílů je řídicí APP první možností, jak ověřit správné fungování módu C odpovídače. Tolerance je maximálně 300 stop. Pokud pseudopilot neřekne výšku u některého z letounů, je úkolem řídicího si výšku s pilotem cíle potvrdit a následně ji zkontrolovat s radarovými daty. Pokud identifikace výšky neproběhne nebo je chyba větší než 300 stop a řídicí to nezaznamená, jedná se o chybu.

Ztrátu situačního povědomí lze poznat, řídicí by neměl být za provozem. Dá se jen velmi obtížně hodnotit, zda se už jedná o chybu nebo zda je to ještě v mezích. O chybě se můžeme bavit v případě provozu letícího do TMA, který se neidentifikoval, příp. letadlo pokračující na kurzu i po přeletění jeho VFR letiště (destinace). Někdy se jednalo o chybu pseudopilota, jindy o chybu simulátoru. Další z chyb je včasné nepovolení ILS přiblížení nějakému z cílů. Jako chybu nebylo uvažováno při vektorování a přeletění pomyslné osy konečného přiblížení.

Vstup do nebezpečného nebo zakázaného prostoru se řídicímu stát nesmělo. Není možné v určitých výškách či hladinách prostorem proletět, a pokud provoz proletěl a byl ve spojení s řídicím, který ho řídil či vektoroval, jedná se o chybu. V našem cvičení byly dva tyto prostory, jeden s vertikální hranicí GND-4000 ft AMSL a druhý od GND – FL85.

Správná frazeologie a k tomu navíc efektivně využitá je klíčem k úspěchu řízení letového provozu bez zahlcené frekvence. Pokud nebyly splněny požadavky na správnou frazeologii při

změně pravidel letu či měl řídicí problémy s komunikací, byla počítána chyba špatné frazeologie.

Špatná odletová frekvence, případně neodchycení readbacku byla dalším z chyb. Pokud pilot nezopakoval frekvenci nebo jí zopakoval špatně, dá se mluvit o chybě. Ve skutečnosti ne tak závažné, protože pilot by se při nespojení s dalším řídicím vrátil na původní frekvenci a ověřil ji znovu, nicméně v našem případě bylo zkoumáno, jak moc řídicí poslouchá a vnímá provoz. K tomu se váže i jedna úmyslně vytvořená situace. Ve stejnou dobu jsou na frekvenci dva radarové cíle, jeden ABP521 (BAIR 521) a druhý LOT521 (LOT521). Ve cvičení byl úmyslně vytvořen scénář, že příkaz ke klesání zopakuje druhé letadlo a v případě, že to řídicí nezachytí, příkaz vykoná to letadlo, které příkaz zopakovalo. Tento chyták vedl v mnoha případech ke konfliktnímu sblížení dvou či více letadel.

Poslední chybou vyskytovanou u našich subjektů je tzv. přeladění do konfliktu. Jedná se o přeladění cíle do prostoru odpovědnosti jiného řídicího, který ale musí učinit okamžitou reakci, aby zabránil snížení rozstupu či přímo srážce. Tato věc se řeší koordinací s daným řídicím.

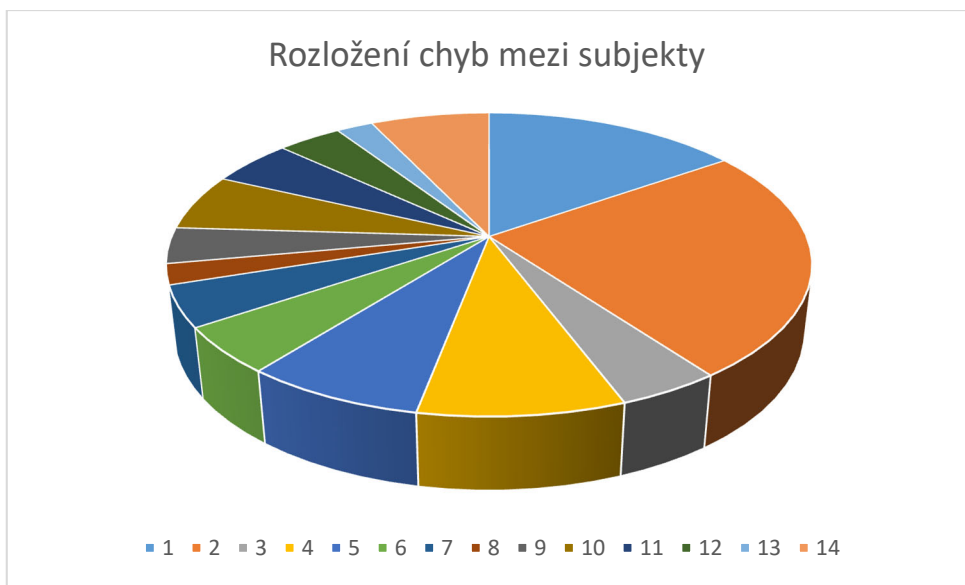
### **Analýza výsledků**

Nejnižší počet chyb u měřených subjektů byl čtyři a takto dobře to zvládli jen dva subjekty. Maximální počet chyb byl zjištěn u nezkušeného subjektu č. 2 a ten se dopustil celkem 45 chyb v řízení. Jedná se o opravdu extrémní případ, proto je třeba koukat na toto měření s rezervou. Průměrný počet chyb byl zjištěn na základě vzorce pro výpočet aritmetického průměru. Výpočtem bylo zjištěno, že průměrný počet chyb je asi 13,1.

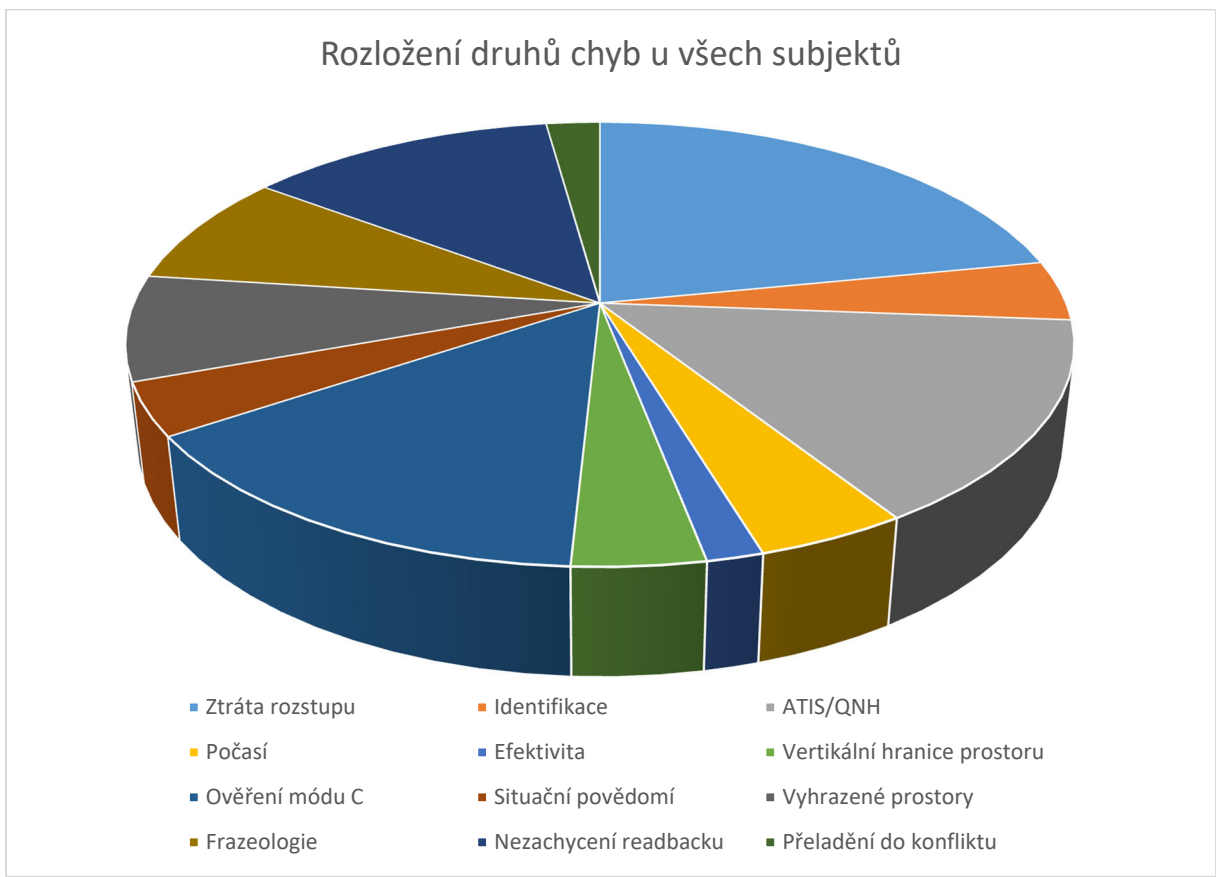
Medián počtu chyb se rovná přesně devíti.

V grafu 2A nalezneme rozložení chyb mezi jednotlivými subjekty. Je zde patrné, že téměř čtvrtinu chyb zavinil subjekt 2. Množství chyb se odvíjelo od zkušeností daného jedince s řízením letového provozu, ať už ze simulátorů, online prostředí či reálného leteckého prostředí.

V grafu 2B lze vidět poměr jednotlivých chyb mezi subjekty. Nejčastější chybou byla ztráta rozstupu mezi letadly.



Graf 2A – Rozložení chyb mezi subjekty

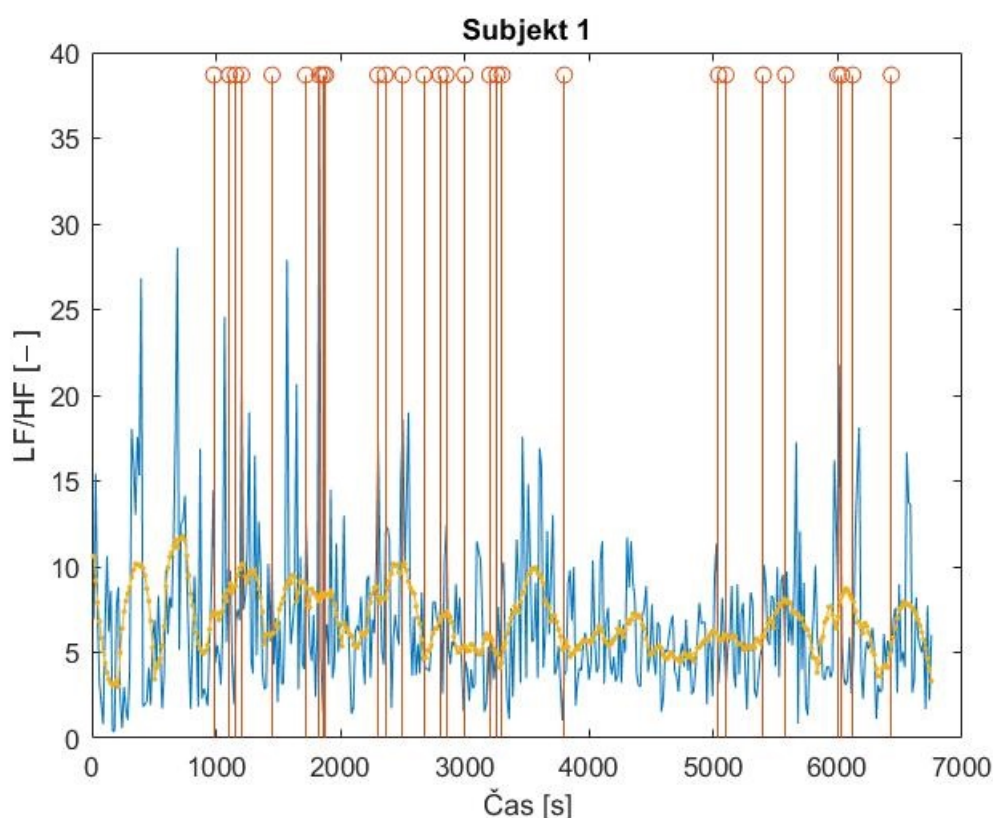


Graf 2B – Rozložení chyb u všech subjektů

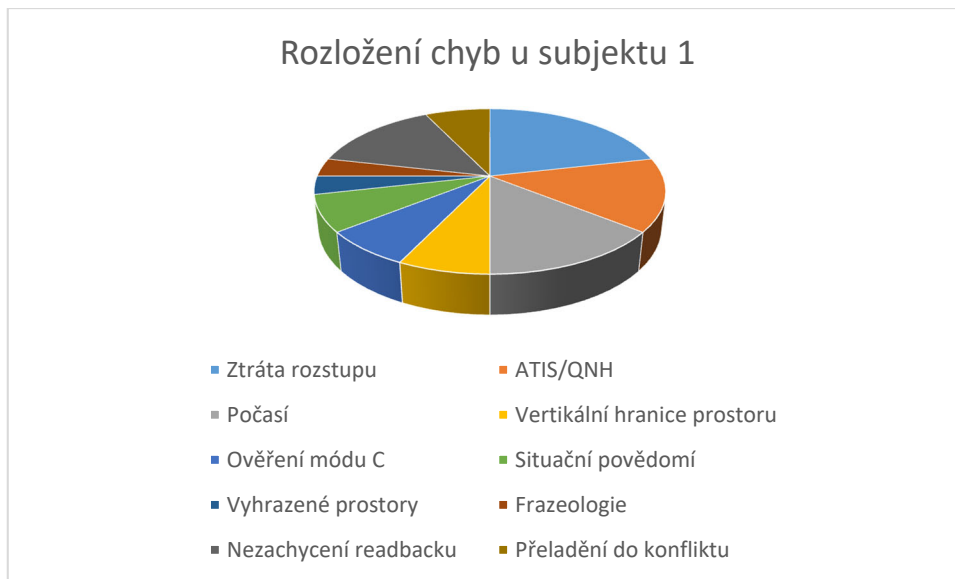
## 4.1 Analýza u subjektu 1

Subjektem 1 byl 23ti letý muž s malými zkušenostmi řídicího z online prostředí (VATSIM). Tento subjekt nemá zkušenosti z reálného provozu. Z grafu 3 je patrné, že křivka stresu byla velmi variabilní s průběhem cvičení. Subjekt se dopustil téměř tří desítek chyb, z čehož drtivá většina byla v době, kdy byl subjekt značně ve stresu. Objevila se ale i chyby zhruba po necelé hodině cvičení, po kterých šla křivka stresu výrazně do vyšších hodnot. Touto chybou byla ztráta separace mezi letadly, takže vyšší hodnota stresu po zaznamenané chybě zcela odpovídá realitě. Subjekt 1 se dopustil několika chyb téměř ve všech kategoriích, nejčastější chybou byla ztráta rozstupu mezi letadly, potvrzení informace ATIS, případně sdělení QNH a ignorování informací o počasí. Tyto chyby tvořily téměř polovinu chyb subjektu, viz graf 4.

Subjekt jedna v psychologickém dotazníku vyplnil, že byl velmi zatížen psychicky a cítil i velkou časovou zátěž, svou výkonnost ohodnotil jako zhruba průměrnou. Nejméně subjekt zatěžovala fyzická zátěž a z dotazníku plyne i nízký vliv frustrace.



Graf 3 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 1



Graf 4 – Rozložení chyb u subjektu 1

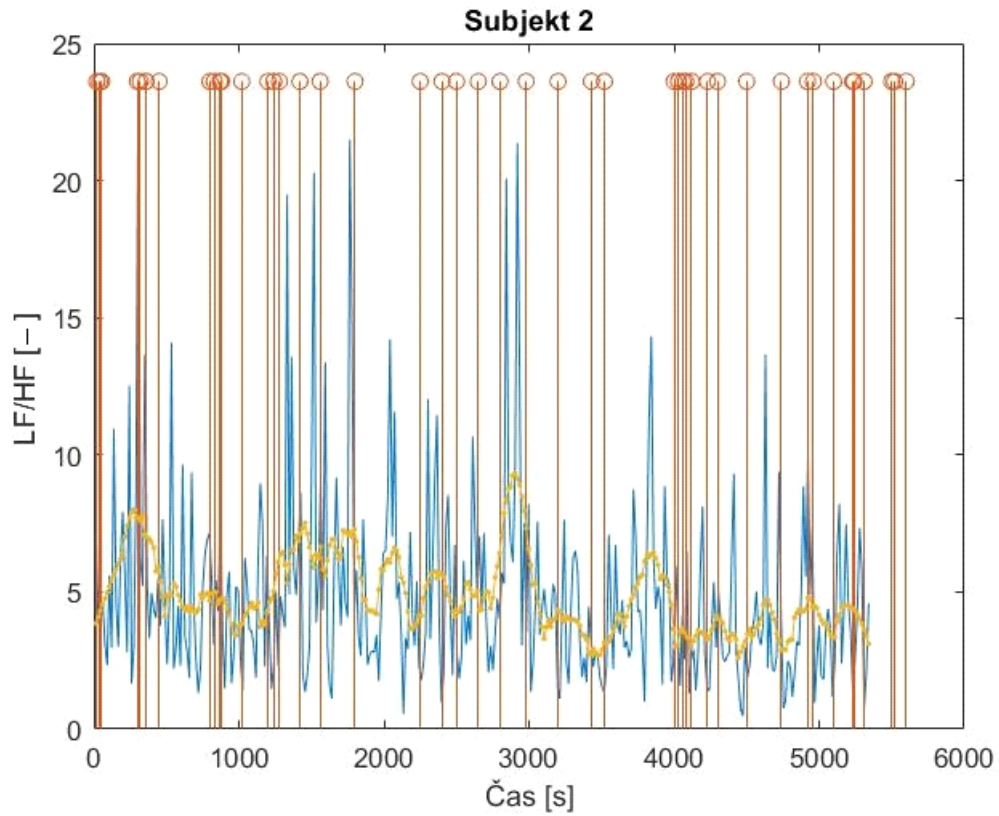
## 4.2 Analýza u subjektu 2

Subjekt 2 (muž, 22 let) byl v diplomové práci a v měření celkově zhodnocen jako exemplární znázornění, jak vypadá člověk úplně bez zkušeností. Tyto subjekty bez zkušeností jsme měli tři, dva byly z důvodu mnoha opakovaných chyb z vyhodnocení vyřazeny. Z grafu 5 lze již od počátku cvičení názorně vidět, že subjekt se dopouští několika chyb, v počátku v pouhé identifikaci, ale i v klesání mimo prostor TMA (nerespektování vertikálních hranic). Subjekt se během cvičení mnoho věcí naučil, což je znát v lehkém úbytku chyb, nicméně chyby jsou dělány během celého cvičení konstantně. Z křivky stresu lze vidět především stresový průběh s menšími poklesy, nicméně subjekt byl pod velkým tlakem i vzhledem k neznalosti procedur a frazeologie. Subjekt byl obeznámen prostřednictvím video manuálu o základech vzdušného prostoru, principy řízení i potřebě umět leteckou abecedu. I tak ale manuál nevnímám jako dostatečný, na kvalitní řízení srovnatelné s ostatními subjekty by bylo potřeba několik hodinových přednášek s názornými ukázkami.

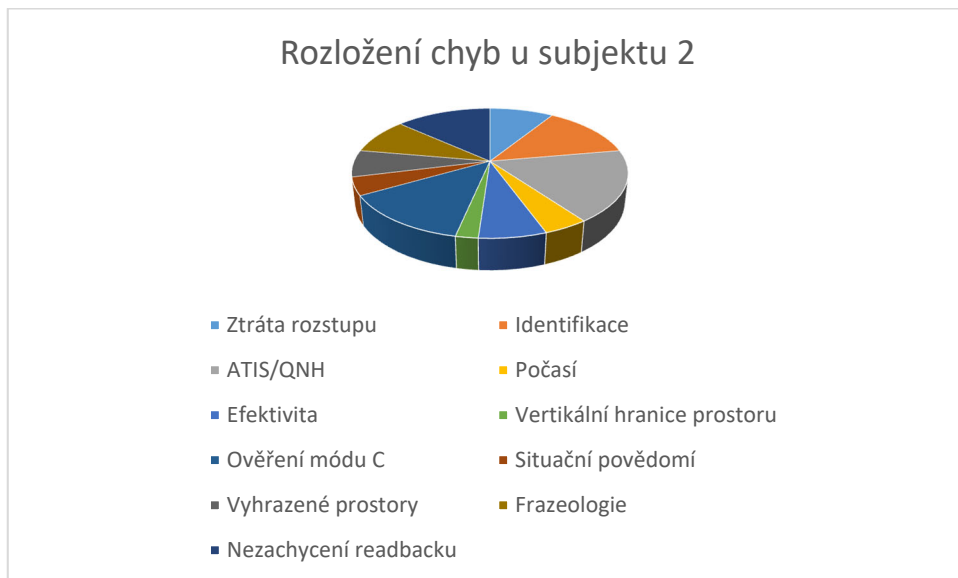
Z grafu 6 je patrné, že subjekt se dopustil téměř všech možných druhů chyb a byly zhruba rovnoměrně rozvržené. Subjekt se celkem dopustil 45 chyb.

Subjekt v psychologickém dotazníku vyplnil, že nejvíce ho ovlivňovala psychická zátěž, dále časový tlak a úsilí. Nezanedbatelná nebyla ani frustrace. Subjekt svou výkonnost ohodnotil jako velmi špatnou. Tento subjekt jsem do výsledků zařadil úmyslně, aby bylo možné ukázat a porovnat, jak velký rozdíl dělají zkušenosti a lidé, kteří s létáním nemají nic společného. Šlo o výkon s velkým množstvím chyb, a i přesto, že byl o chybách informován a bylo mu leccos vysvětleno, nebyl schopen množství chyb snížit. Pevně věřím, že případný druhý pokus by dopadl lépe.





Graf 5 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 2



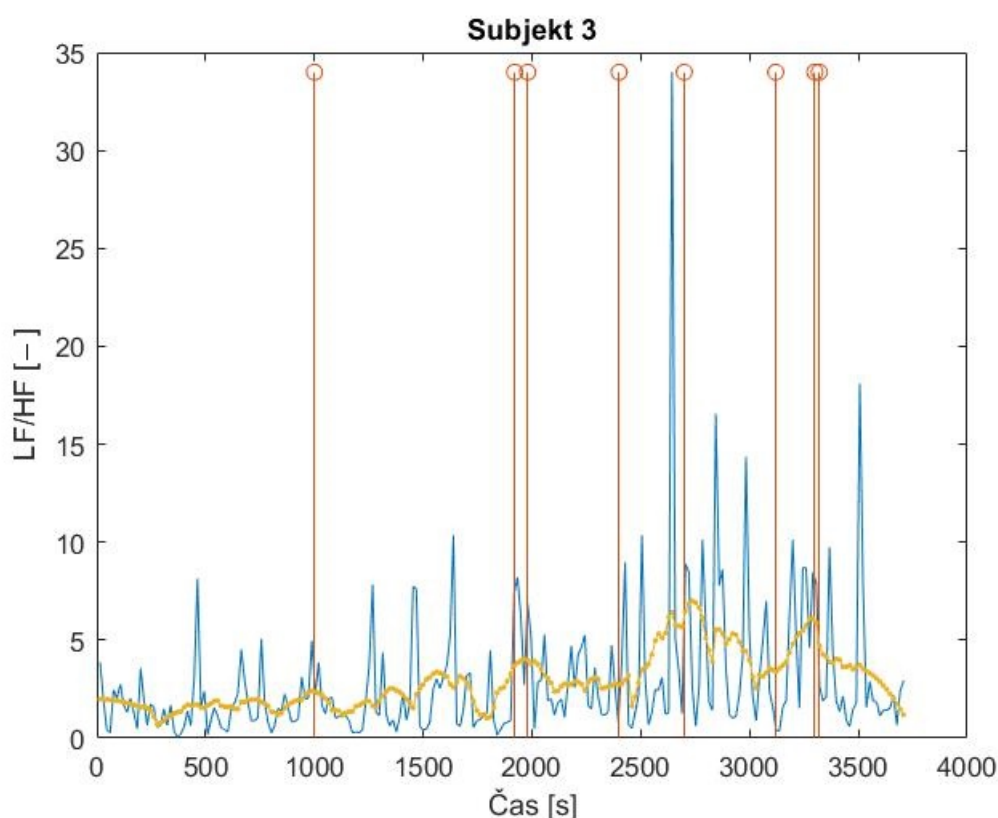
Graf 6 – Rozložení chyb u subjektu 2

### 4.3 Analýza u subjektu 3

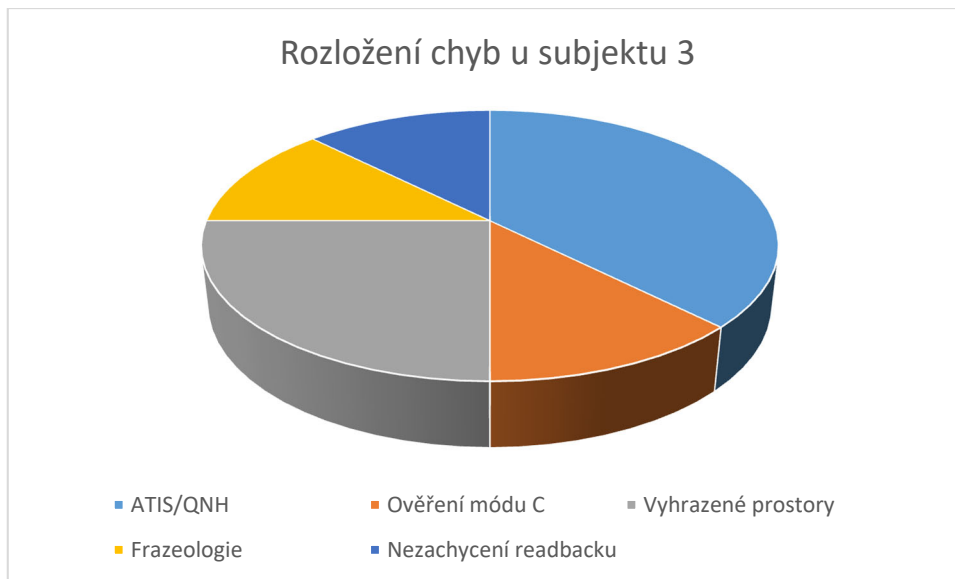
Subjektem 3 byla 24 letá slečna a vlastní licenci CPL(A) s teorií ATPL. Má reálné zkušenosti z provozu, zná leteckou abecedu, frazeologii a má velmi dobrou prostorovou představivost. Jako jedné z mála subjektů se nestalo, že by došlo ke ztrátě rozstupu neboli sblížení dvou a více letadel. Z grafu 7 je patrné, že slečna dělala chyby pouze ve stresových okamžicích, při nárůstu obtížnosti cvičení.

Nejčastější chybou bylo nepotvrzení informace ATIS, příp. QNH a ověření módu C odpovídače, viz graf 8. Zajímavé jsou i dva vstupy do nebezpečného prostoru, které tvořily čtvrtinu ze všech chyb. Celkový výkon na studentku ČVUT s pohledem pouze z druhé strany ale hodnotím jako výborný, jelikož je pro některé i velmi zkušené lidi z leteckého prostředí těžké se adaptovat do velmi náročné role řídicího letového provozu.

Z psychologického dotazníku je zřejmé, že nejvíce byla slečna ovlivněna psychickou zátěží a frustrací. Svůj výkon by ohodnotila jako nadprůměrný. Zhodnocením cvičení musím souhlasit, že šlo o nadprůměrně dobré cvičení a slečna předvedla velmi dobrý výkon.



Graf 7 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 3



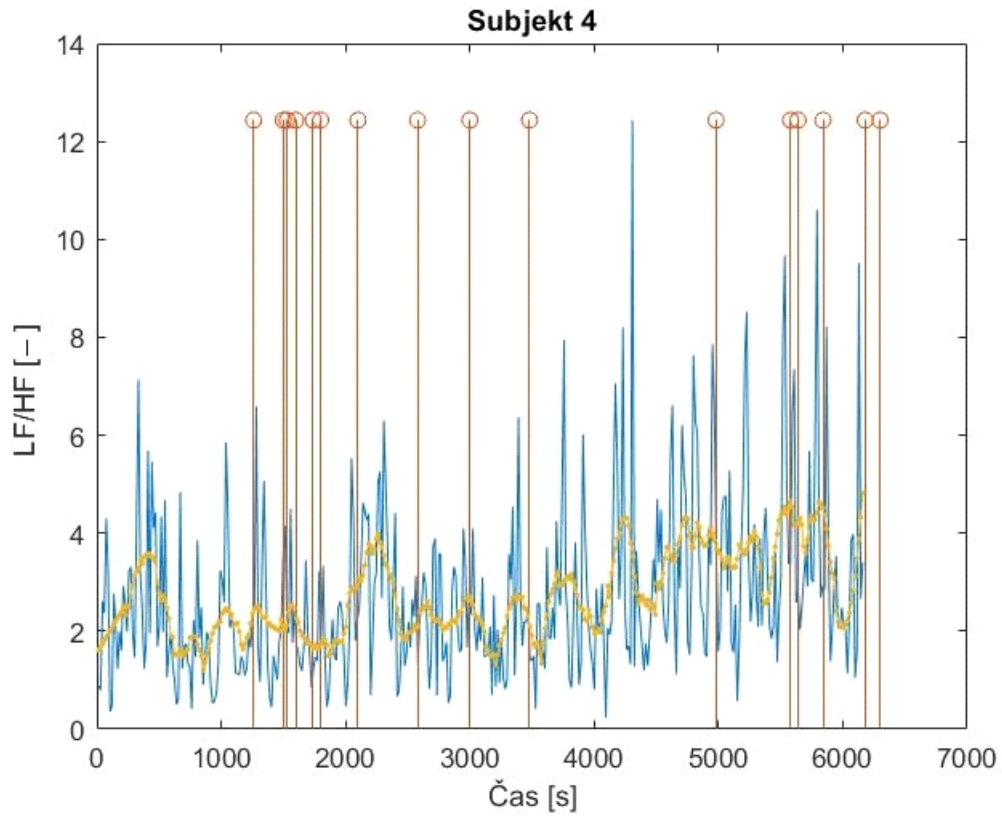
Graf 8 – Rozložení chyb u subjektu 3

#### 4.4 Analýza u subjektu 4

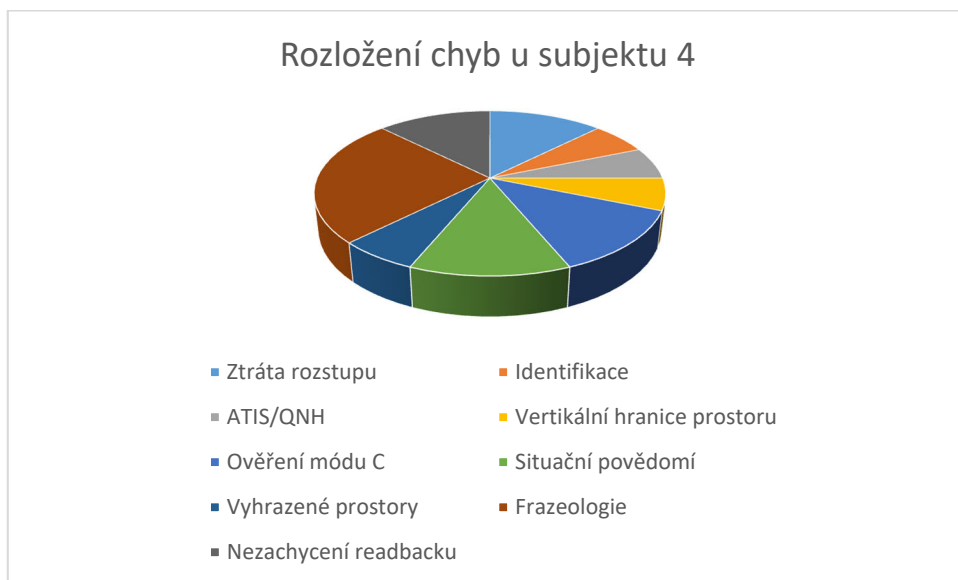
Subjektem 4 byl čtyřicetiletý muž, pilot soukromých letounů, momentálně ve výcviku ke komerčnímu létání. Z chyb v grafu 10 je patrná ztráta situačního povědomí, snížení rozstupu pod předepsané minimum a především, problémy s frazeologií. Subjekt si také nevšiml prohození volacího znaku ABP521 a LOT521, čímž došlo ke snížení rozstupu. Efektivita cvičení byla značně na hraně, jelikož letadla holdovala nad body IAF a řídící neměl kapacitu na to je povolovat do ILS přiblížení dráhy 27.

Z grafu 9 pak plyne, že chyby byly rozmístěny v průběhu celého cvičení, větší zátěž se dá zaznamenat od uplynutí zhruba hodiny od začátku cvičení. Zhruba hodině a půl došlo ke ztrátě separace mezi letadly, v ten okamžik křivka stresu dosahovala největších hodnot.

Z výsledků psychologického dotazníku vyplývá, že subjekt byl nejvíce zatížen psychicky a cítil se pod časovým tlakem. Nejmenší roli hrála frustrace, svůj výkon by ohodnotil jako průměrný, i přestože úsilí vyhodnotil jako velmi vysoké. Celkově cvičení hodnotím vzhledem ke zkušenostem jako průměrně dobré, chyb ale bylo v porovnání s ostatními subjekty nadprůměrně.



Graf 9 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 4

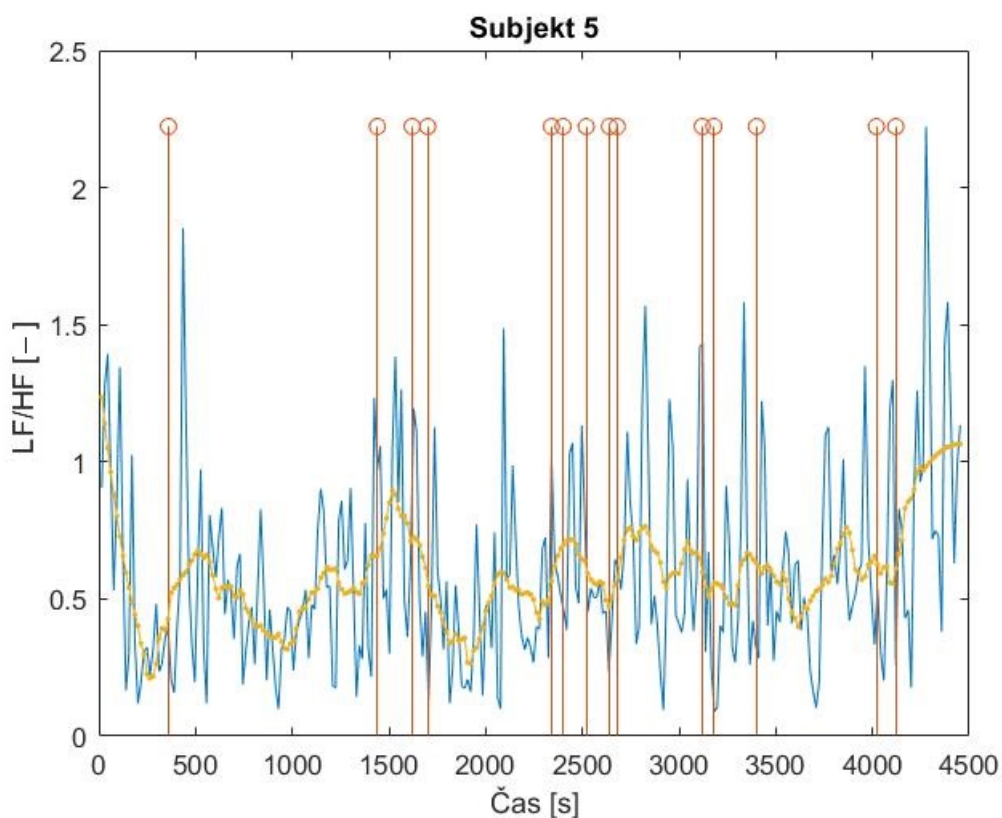


Graf 10 – Rozložení chyb u subjektu 4

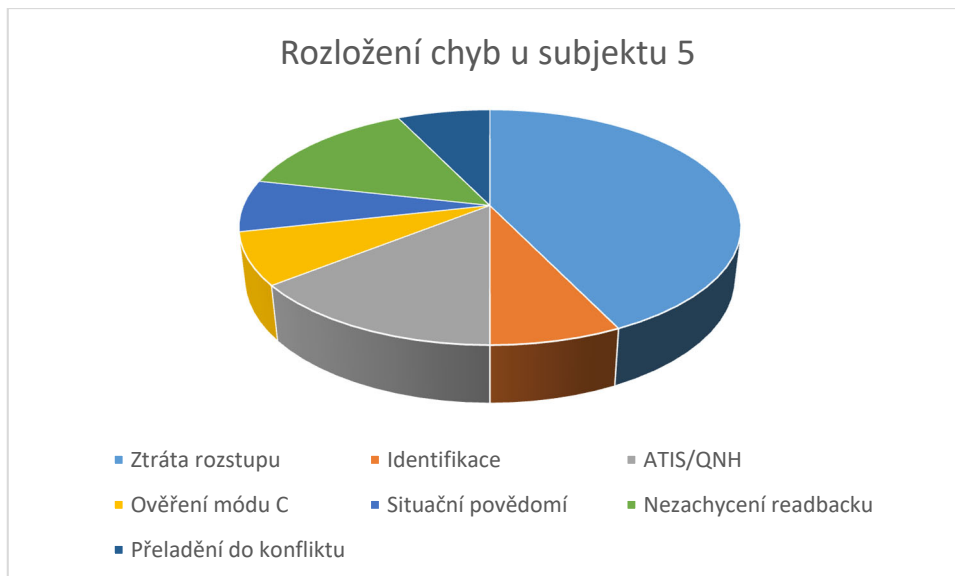
## 4.5 Analýza u subjektu 5

Subjektem 5 byl 28 letým mužem se zkušenostmi z platformy VATSIM. Z grafu 11 lze vyčíst, že křivka zátěže byla variabilní v průběhu cvičení a chyby se vyskytují kolem 40. minuty cvičení. Tyto chyby byly spojené se ztrátou rozstupu a nezachycením špatného readbacku v průběhu cvičení, viz obrázek 12. Objevovalo se ale i dost chyb spojených s identifikací, neověřením módu C, QNH či informací ATIS.

Z psychologického dotazníku plyne jako největší zátěž časová, pak psychická. Frustrace se u tohoto subjektu neprojevila. Úsilí bylo větší, nicméně svou výkonnost subjekt vyhodnotil jako lehce vyšší. Cvičení bylo celkově odřízeno velmi dobře s pár drobnými chybami. Došlo také ke ztrátě situačního povědomí, které bohužel vedlo ke ztrátě rozstupu.



Graf 11 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 5



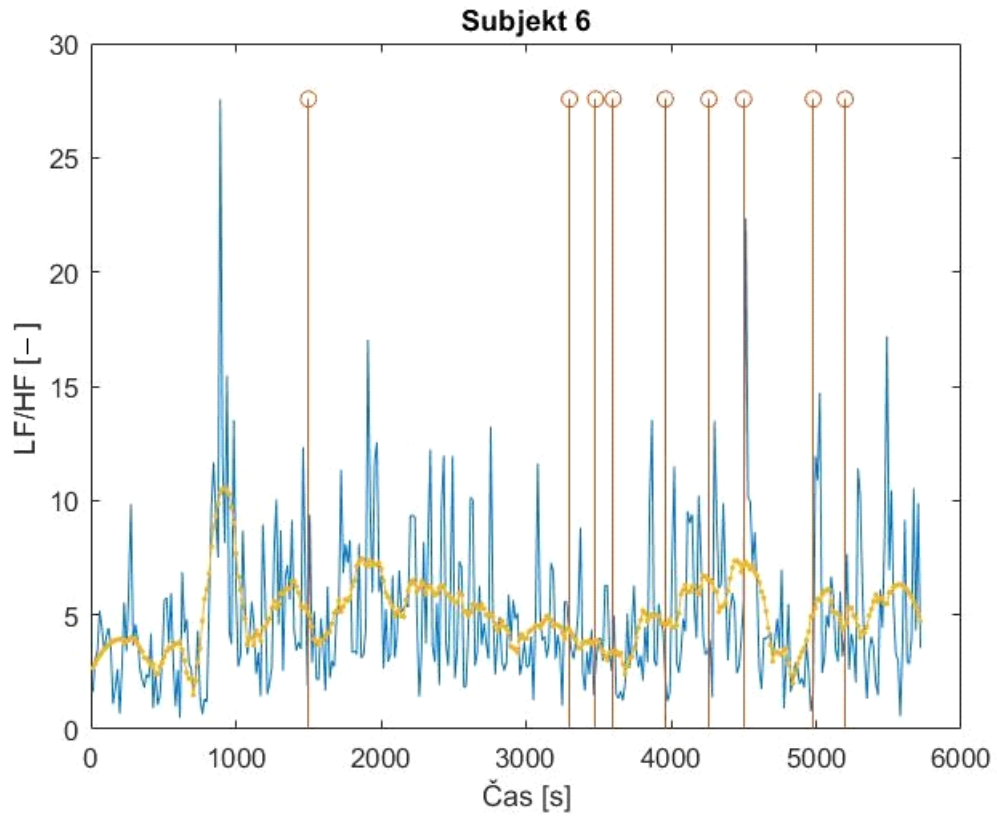
Graf 12 – Rozložení chyb u subjektu 5

#### 4.6 Analýza u subjektu 6

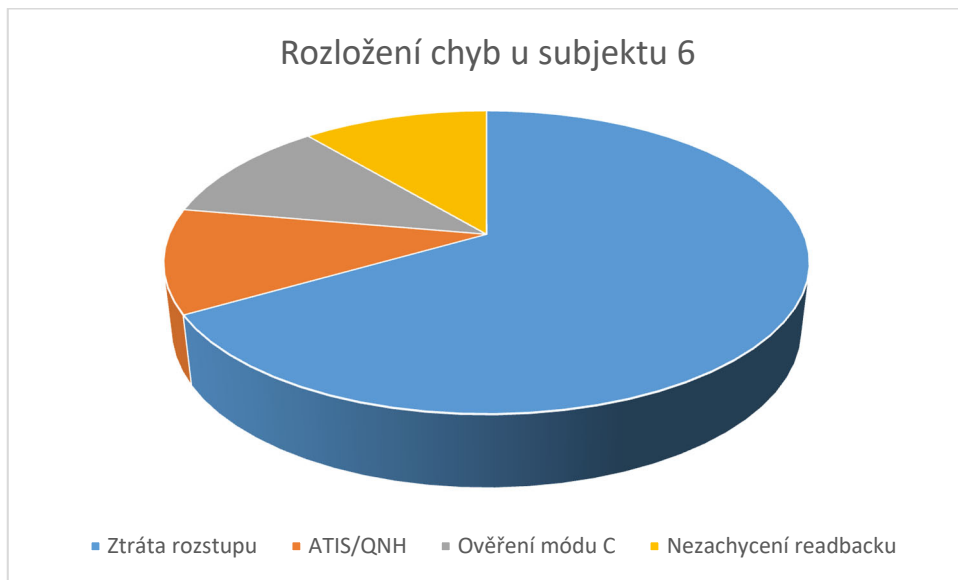
Subjektem 6 byl 18 letý muž s licenci PPL (soukromý pilot letounů) a středními zkušenostmi z online prostředí VATSIM. Má bohaté zkušenosti s frazeologií, leteckými postupy i představivostí vertikálního charakteru TMA. Jak je patrné z grafu 13, nejvíce chyb se odehrálo v druhé části cvičení, chyby se však vyskytovaly i v místech menšího stresu. Drtivá většina chyb se týkala ztráty minimálního rozstupu, objevily se i chyby nepotvrzení informace ATIS/QNH či ověření módu C.

Největší stres se u subjektu potvrdil kolem 14. minuty, což vzhledem k průběhu grafu vnímám spíše jako chybu měření. V momentě druhé nejvyšší úrovně stresu subjekt chyboval (viz graf 14), což potvrzuje teorii, že subjekt je při stresu náchylnější k chybám.

Psychologický dotazník zaznamenal jako u přechozích subjektů největší zátěž psychického charakteru, časové zátěže. Frustrace byla zhruba střední. Svou výkonnost subjekt ohodnotil jako lehce nadprůměrnou, úsilí však ohodnotil jako průměrné. Cvičení bych zhodnotil jako velmi dobré, škoda chyb týkajících se ztrát rozstupu.



Graf 13 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 6



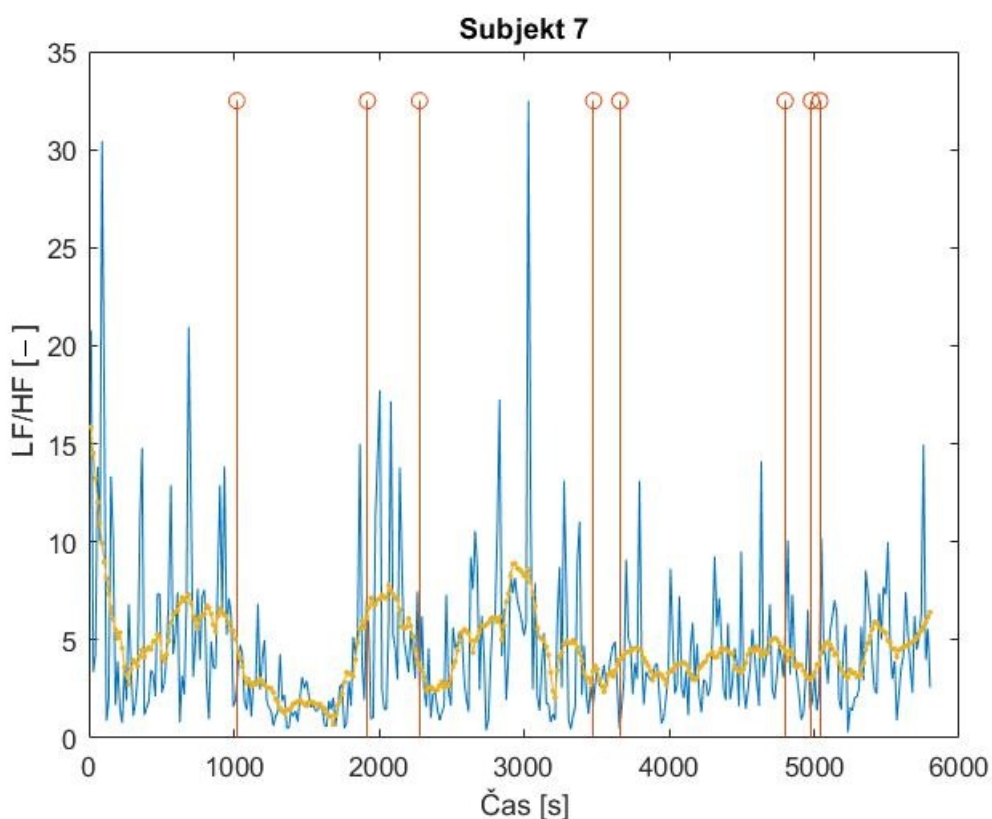
Graf 14 – Rozložení chyb u subjektu 6

## 4.7 Analýza u subjektu 7

Subjektem 7 byl 22 letý muž, bez zkušeností z reálného létání, létal na simulátoru a prostředí VATSIM. Frazologie však byla na vysoké úrovni. Z grafu 15 lze vyčíst, že nejvíce chyb se odehrálo v druhé části cvičení, toto bych spíše přičítal únavě než stresu. I ze záznamu je patrné, že subjekt je unavený a tudíž náchylnější k chybám.

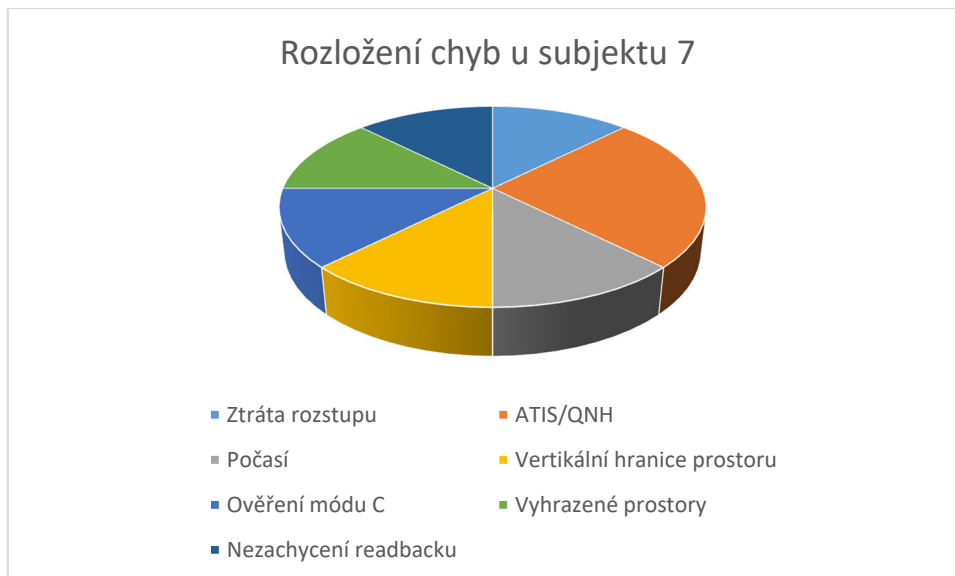
Chyby (viz graf 16) jsou rovnoměrné rozmístěné, mimo jiné celkem neobvyklé nerespektování vertikálních hranic TMA či nedodržení výstupní hladiny při výstupu z TMA, špatné přeladění na jinou frekvenci. Z chyb se ale objevilo i narušení nebezpečného prostoru či obligátní ATIS/QNH či neověření módu C odpovídače.

Z psychologického dotazníku vyplývá, že úsilí a psychická zátěž byly rozmístěny rovnoměrně, značnou část obsadila i frustrace. Úsilí subjekt vyhodnotil jako vysoké, výkonnost jako dobrou. Shrnutím cvičení se dá říci, že subjekt měl pravdu, cvičení hodnotím jako velmi dobré vzhledem ke zkušenostem.



Graf 15 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 7



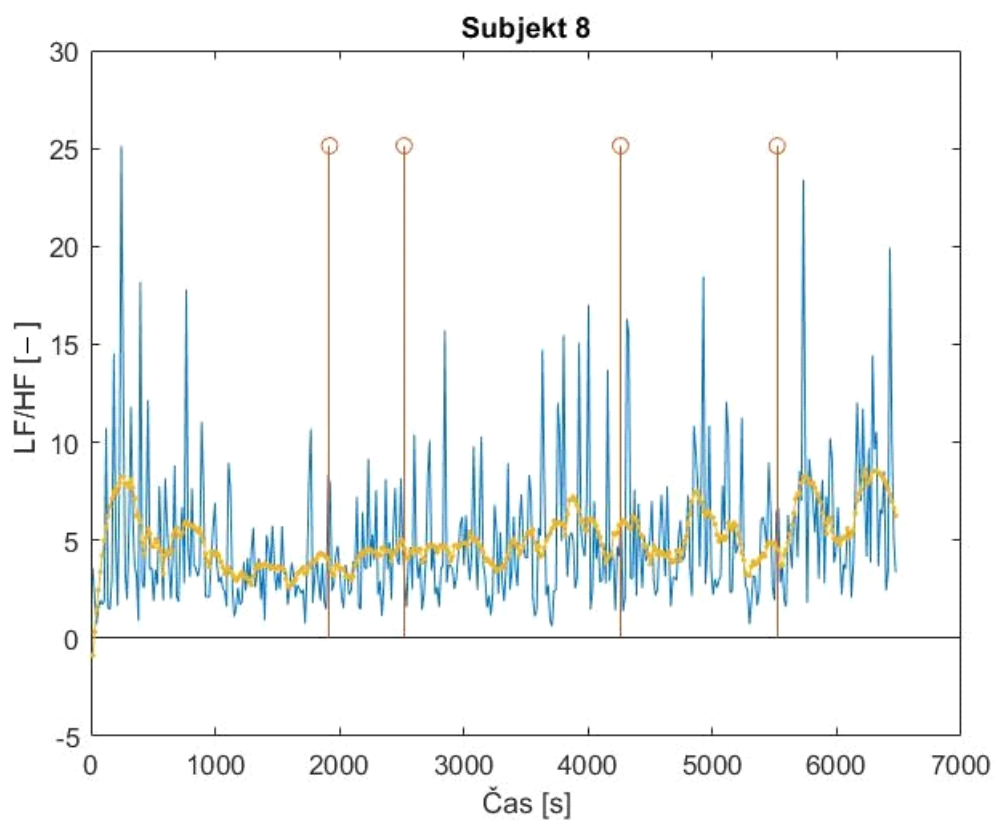


Graf 16 – Rozložení chyb u subjektu 7

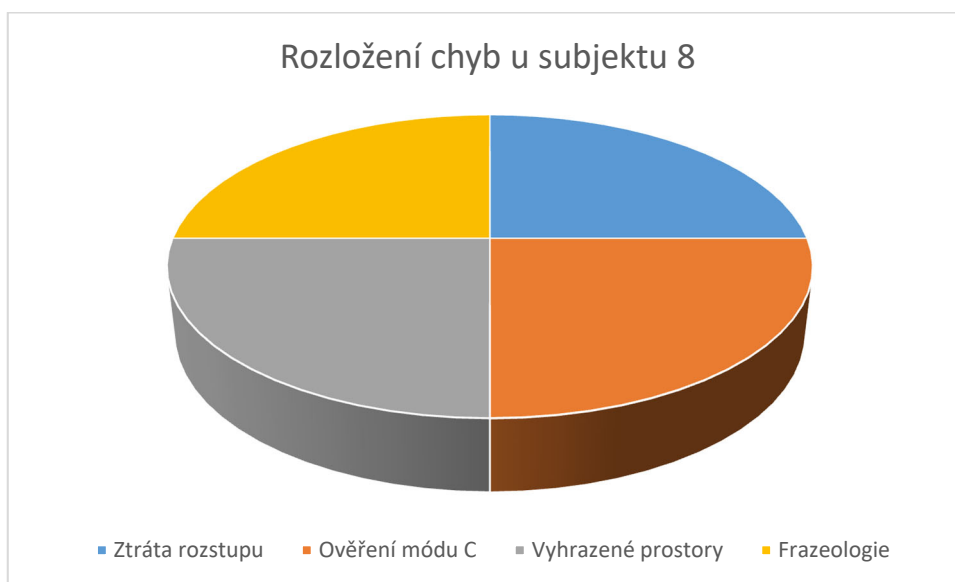
#### 4.8 Analýza u subjektu 8

Subjektem 8 byl dvacetiletý student FD ČVUT s velkým zájmem o práci řídicího letového provozu. Je v kontaktu s řídícími, pravidelně poslouchá ATC Live a získává zkušenosti i pomocí platformy VATSIM. Křivka stresu patrná z grafu 17 je víceméně konstantní s mírným nárůstem od druhé poloviny cvičení. Subjekt udělal nejméně chyb, pouze 4 chyby. Došlo k lehkým problémům s frazeologií, ztrátě rozstupu, neověření módu C odpovídače. Stalo se i narušení zakázaného prostoru (viz graf 18). Vzhledem k tomu, že křivka stresu je víceméně konstantní, nelze říci, že by se chyby objevily při nějaké vyšší stresové zátěži.

Subjekt v psychologickém dotazníku vyplnil, že psychická a časová zátěž ho zatěžovala průměrně. Musel však vynaložit veliké úsilí, aby dosáhl požadovaného výsledku. U subjektu se vůbec neprojevila frustrace. Svůj výkon ohodnotil jako průměrný. Cvičení bych zhodnotil jako velmi profesionální, efektivní řízení včetně pěkného vektorování mne zaujalo a poučil jsem se z něj. Celkově šlo o jedno z nejlepších cvičení, které bylo naměřeno. Škoda jen jedné ztráty rozstupu.



Graf 17 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 8



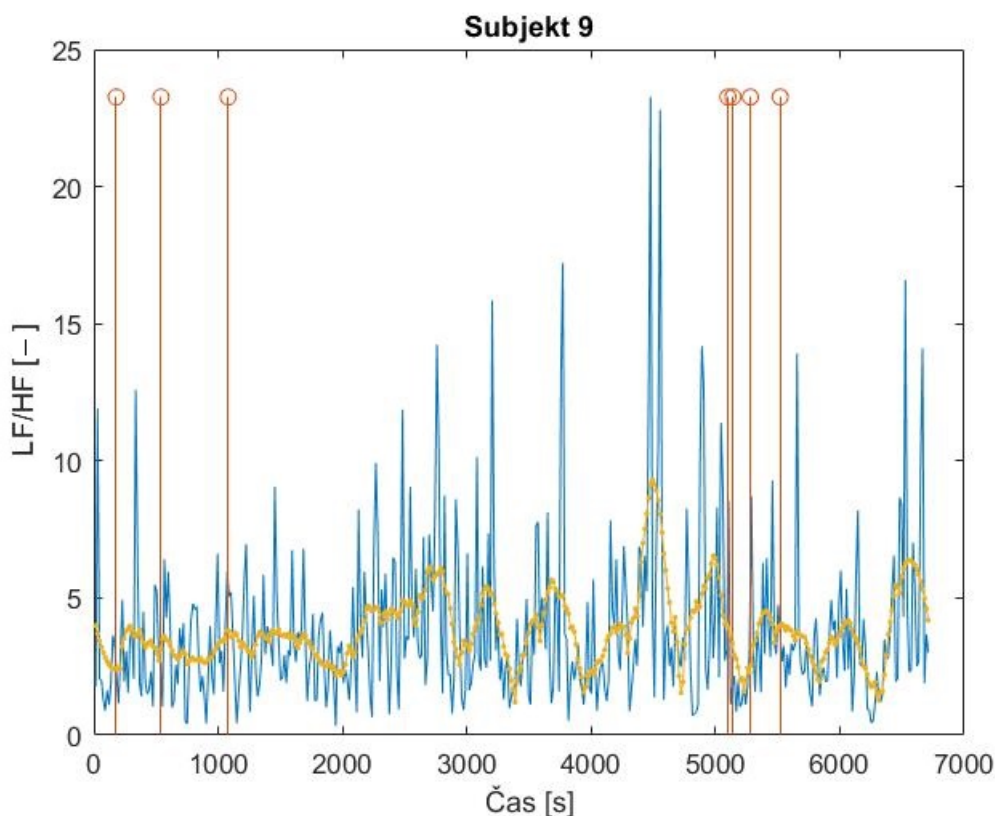
Graf 18 – Rozložení chyb u subjektu 8

## 4.9 Analýza u subjektu 9

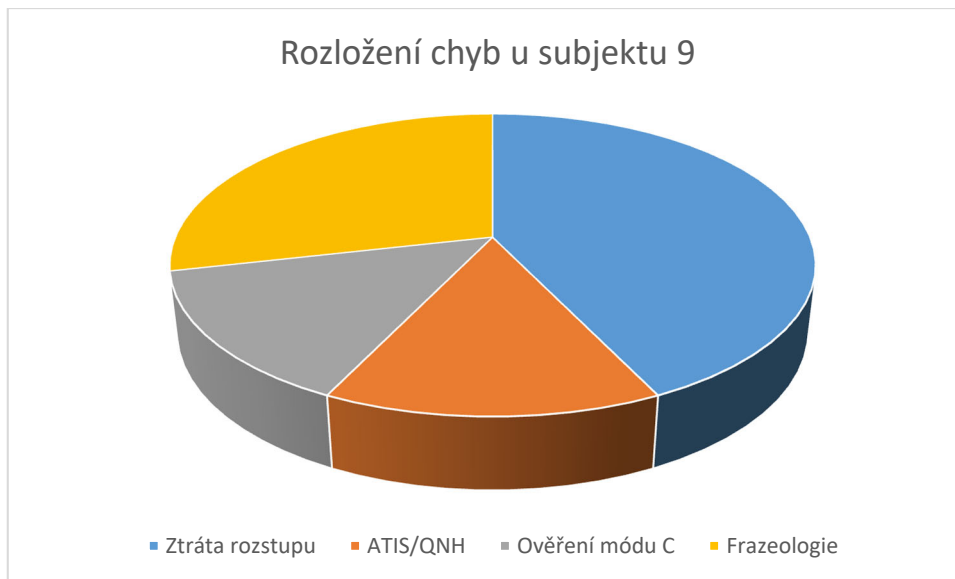
Subjektem 9 byl 22 letý muž, opět známý v online prostředí VATSIM. Zkušenosti s řízením letového provozu tedy již má, zkušenosti z reálného létání mi nejsou známy. Hned z počátku cvičení bylo několik chyb, které byly způsobeny spíše neznalostí, po upozornění se chyby již nevyskytovaly. Z grafu 19 je krásně patrný vzestup obtížnosti, který doprovází křivka stresu (asi 4500 s), nicméně tato nabuzená výkonnost ani tak nevedla k chybě, velmi dobře zvládnutá stresová situace. Po úpadku stresu ale zřejmě vlivem únavy došlo k poklesu výkonnosti a třem chybám včetně ztráty rozstupu. Na grafu 20 je vidět rozvržení chyb, problémem byla i pokročilejší frazeologie, obzvláště při změnách pravidel letu z VRF na IFR či naopak.

Z psychologického dotazníku vyplynulo, že subjekt se cítil pod velkým časovým i psychickým tlakem, nezanedbatelná v tomto případě nebyla ani frustrace. Subjekt vyplnil, že k získání potřebné úrovně musel vynaložit opravdu velké úsilí, svůj výkon ohodnotil jako nadprůměrný.

Pokud celé cvičení shrnu, čekal jsem větší výkon. V porovnání s ostatními kolegy subjekt mnohokrát ztratil rozstup mezi letadly, což vnímám jako jednu z nejzávažnějších chyb. Cvičení bych ohodnotil jako průměrné.



Graf 19 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 9



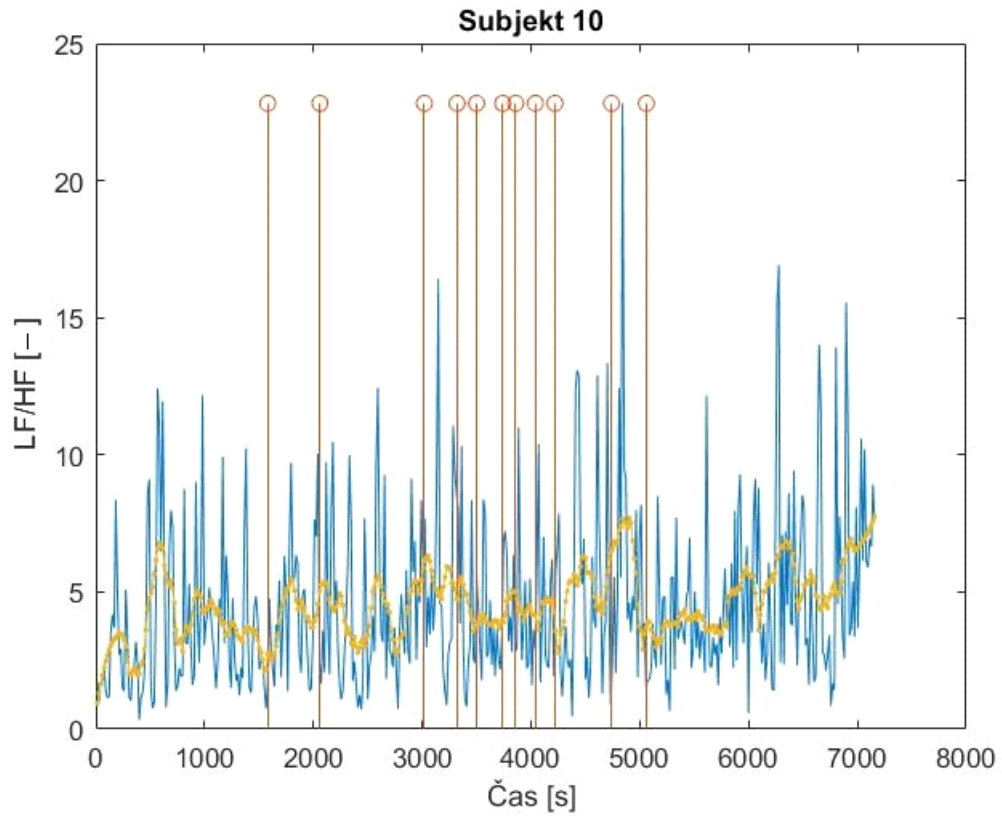
Graf 20 – Rozložení chyb u subjektu 9

#### 4.10 Analýza u subjektu 10

Subjekt 10 byl 24 letý muž s licenci soukromého pilota. Má lehké zkušenosti z prostředí VATSIM, jeho řízení však bylo nevýrazné, tiché a nejisté. Největší chybovost (viz graf 22) lze pozorovat v neověření módu C, z vyjadřování však plyne v průběhu celého cvičení velká nejistota a nervozita. Křivka stresu má postupně rostoucí tendenci. Nejvyšší stres byl zaznamenán kolem 4700. sekundy (78. minuta) – viz graf 21. Subjekt bohužel nezachytil špatný readbacku u dvou podobných volacích znaků, čímž došlo k ztrátě separace. Došlo také k narušení nebezpečného prostoru, nesplnění koordinačních dohod či neporozumění vertikálních hranic TMA.

Při analýze psychologického dotazníku vyplynulo, že subjekt se cítil pod velkým časovým tlakem, psychická zátěž byla rovněž velká. Subjekt vynaložil nadprůměrné úsilí a byl lehce frustrovaný. Jeho výkonnost ohodnotil jako podprůměrnou.

Vzhledem ke zkušenostem bych cvičení ohodnotil jako dobré, průměrné. Myslím si, že větší koncentrací a uklidněním nervozity by subjekt mohl udělat mnohem méně chyb.



Graf 21 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 10

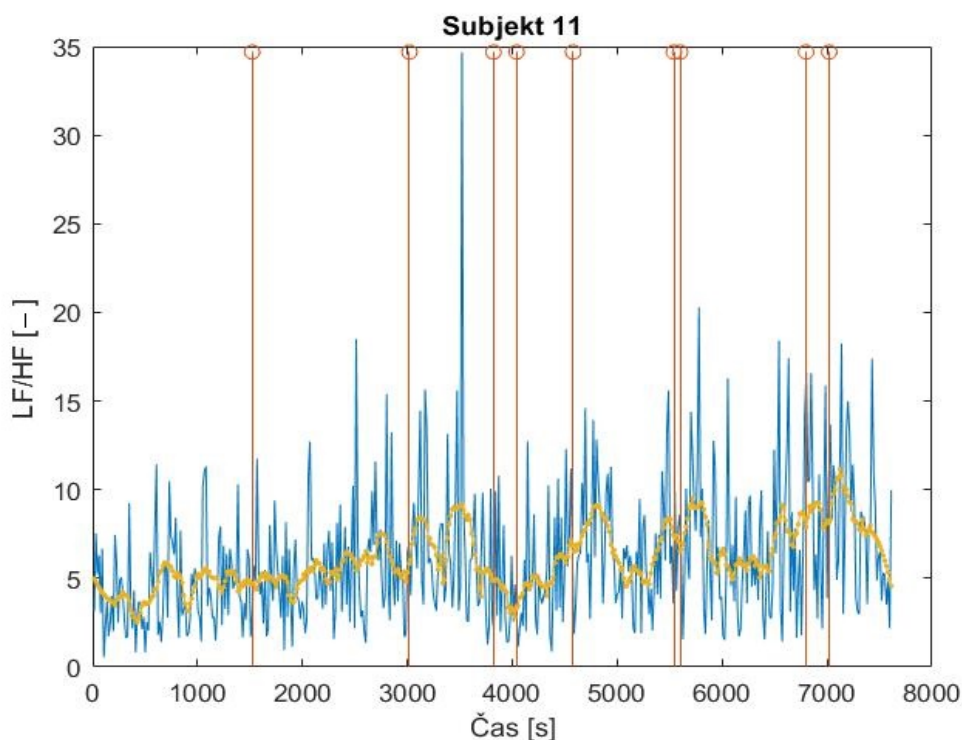


Graf 22 – Rozložení chyb u subjektu 10

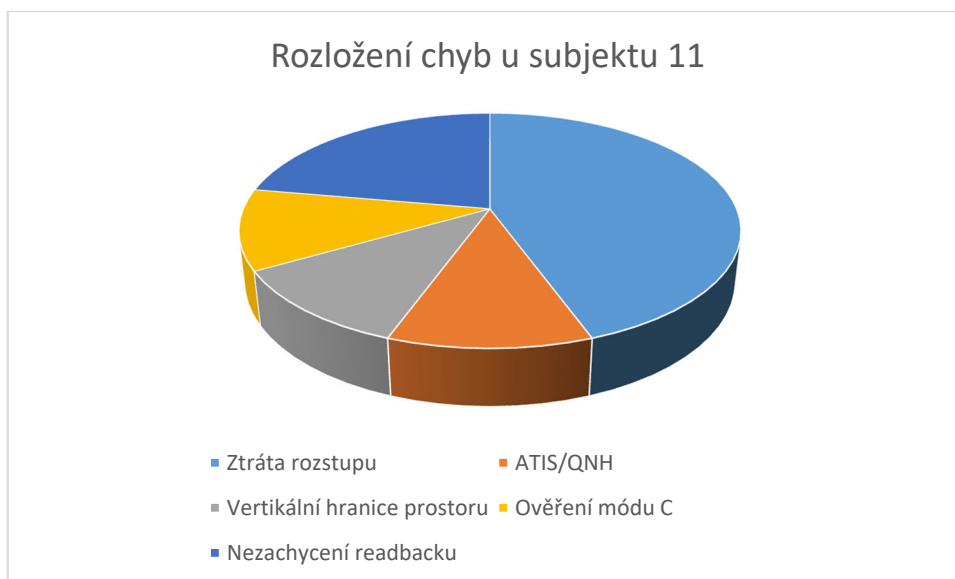
## 4.11 Analýza u subjektu 11

Subjektem 11 byl 28 letý muž, povoláním programátor se zájmem o letectví. Zkušenosti má především z platformy VATSIM. Jeho zkušenosti byly spíše menší v porovnání s ostatními subjekty, frazeologii však subjekt ovládal na výbornou. Měl problém s prostorovou představivostí, což vedlo k proklesání letounu prostorem mimo definované TMA. Nejčastější chybou, jak je patrné z grafu 24, byla ztráta separace. Je pravdou, že samo situační povědomí v tomto případě bylo slabší. V grafu 23 je vidět postupně rostoucí stresová zátěž na subjekt s výrazným poklesem kolem 4000. sekundy (kolem 66. minuty). To byla letadla v holdingu a zátěž se na nějakou dobu mírně snížila vzhledem k uzavření letiště na 10 minut. Poté je ale možné vidět opětovný rychlý nárůst stresu. Vyšších hodnot se všeobecně dosahovalo v druhé polovině cvičení. Ani tento subjekt nebyl schopen rozeznat dva podobné volací znaky, což bohužel bez okamžité reakce vedlo ke ztrátě rozstupu. Situace si žádala okamžitou instrukci, místo toho však řidič začal řešit ne tolik potřebné věci, z čehož od pseudopilota zaznělo od obou letadel TCAS RA (Resolution Advisory).

Vyplněný psychologický dotazník ukázal, že subjekt se cítil pod časovým a psychickým tlakem, frustrace se u subjektu neprojevila. Úsilí bylo vysoké a svou výkonnost ohodnotil jako lehce nadprůměrnou. Vzhledem ke zkušenostem subjektu a faktem, že jde o jeho koníček, se domnívám, že cvičení zvládl velmi dobře. Kladl bych důraz na soustředění pozornosti na okamžitý problém a rozvrhnutí priorit dle potřeby.



Graf 23 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 11



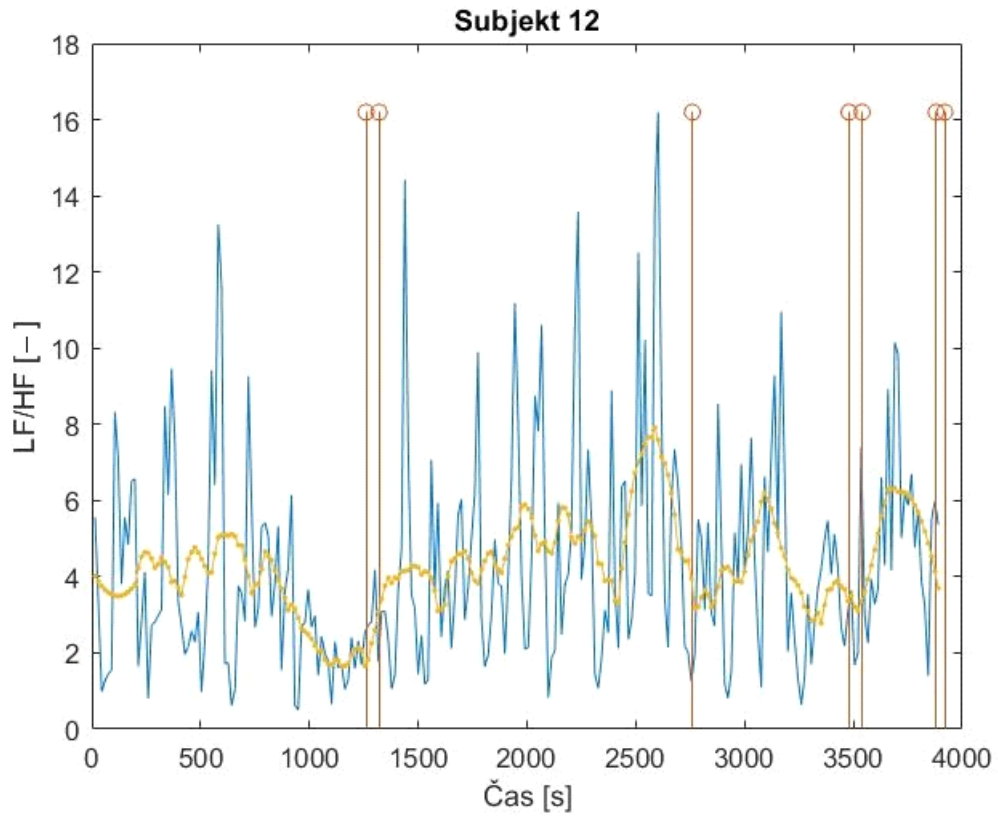
Graf 24 – Rozložení chyb u subjektu 11

#### 4.12 Analýza u subjektu 12

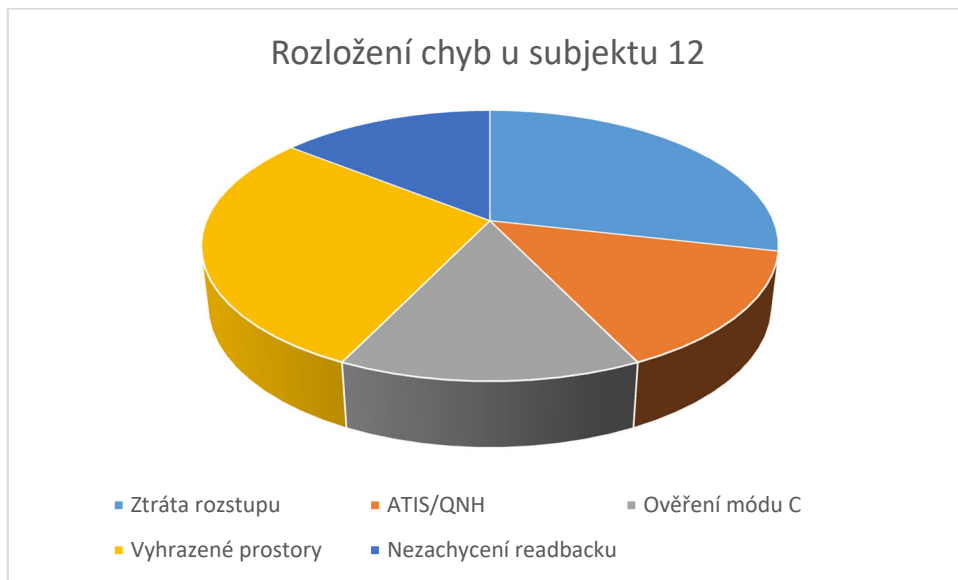
Subjektem 12 byl 19 letý subjekt. Má zkušenosti s lítáním na větroni a o letectví projevuje velký zájem. Patří mezi méně zkušené v prostředí VATSIM, nicméně i tam se pohybuje. Jeho řízení bylo znát menší dávkou nervozity, nicméně řízení bylo relativně dobré. Bohužel data z EKG se nahrála jen v první hodině a pár minutách, proto byly chyby vyhodnoceny jen za tento čas. Z grafu 25 lze vyčíst nervozita subjektu, obzvláště od 25. do 45. minuty. Nejvyšší naměřená hodnota stresu lze zaznamenat kolem 43. minuty, pak lze pozorovat menší úpadek.

Mezi chyby subjektu patří opět ztráta rozstupu, vstup do nebezpečného prostoru, ověření módu C odpovídače či nezachycení dvou podobných volacích znaků – viz graf 26.

Výsledky psychologického dotazníku ani tady nejsou nějak překvapivé. Opět psychická zátěž, poté i frustrace. Časovou zátěž subjekt tolik nezaznamenal. Subjekt vyvinul velké úsilí a výkonnost ohodnotil jako průměrnou. Cvičení bych ohodnotil jako průměrné. Vzhledem ke zkušenostem se nedal o moc lepší výsledek předpokládat.



Graf 25 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 12



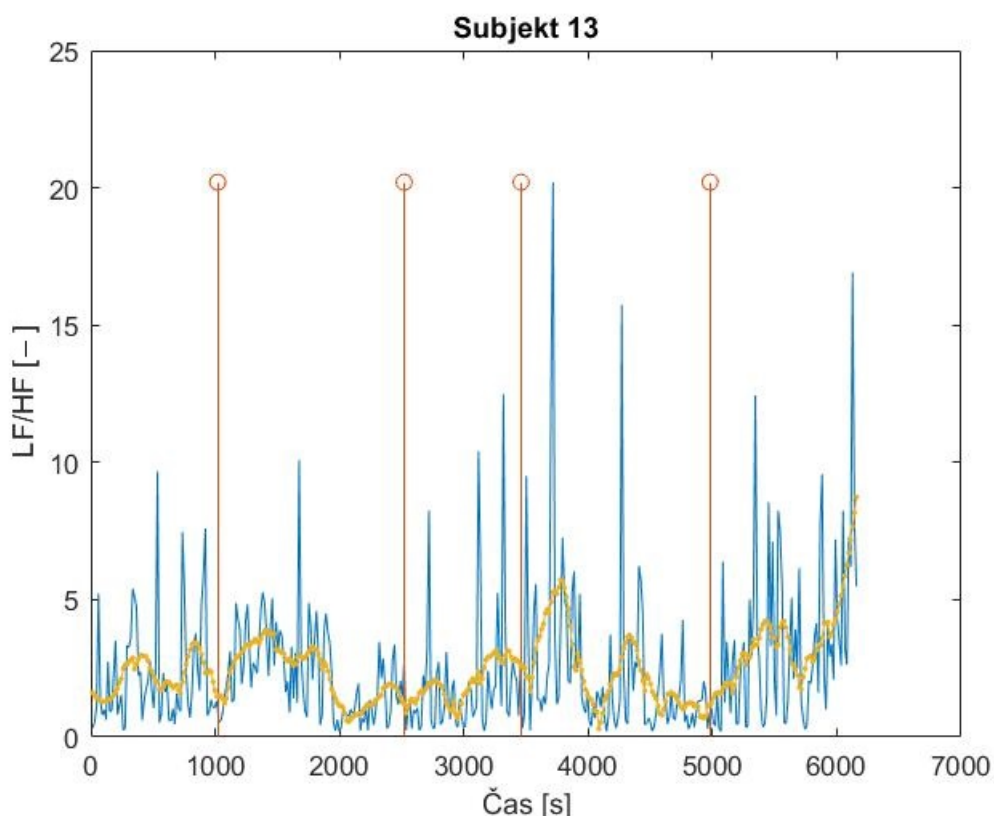
Graf 26 – Rozložení chyb u subjektu 12



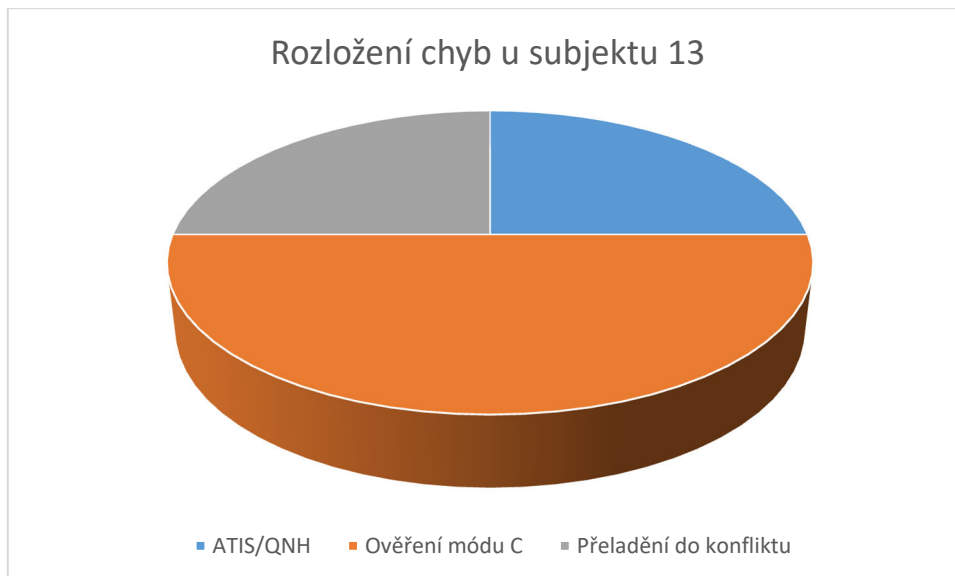
### 4.13 Analýza u subjektu 13

Subjektem 13 byl 25 letý komerční pilot. Jako vedlejší práci vykonává pozici pseudopilota na Řízení letového provozu. Subjekt je zvyklý pracovat pod tlakem, z čehož lze vyvodit, že chyby nejsou spojeny s vyššími hodnotami stresu (viz graf 27). Největší stres byl zaznamenán kolem šedesáté minuty cvičení, kdy došlo uzávěře letiště. V grafu 28 rozložení chyb můžeme zaznamenat celkem 4 chyby rozvržené do kategorií, dvakrát nedošlo k ověření výšky při vzletu a jedenkrát potvrzení informace ATIS, příp. QNH. Jedenkrát došlo k tzv. přeladění do konfliktu (přeladění provozu na oblastní řízení letového provozu (ACC), čímž mohlo dojít ke ztrátě separace). Tento problém se mohl vyřešit velmi jednoduše koordinací.

Psychologický dotazník ukázal, že subjekt nejvíce tížil časový tlak, poté psychický. U subjektu se nějak výrazně neprojevila frustrace. Subjekt vynaložil střední až nadprůměrné úsilí a s výsledkem byl spokojen, svou výkonnost by ohodnotil jako nadprůměrnou. Zhlédnutí tohoto cvičení bylo moc pěkné, velmi efektivní řízení letového provozu, zkušenosti z tohoto oboru byly velmi znát. Vše bylo „čisté“, nedošlo ke ztrátě separace a chyby byly nejspíše pouze přehlédnutí.



Graf 27 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 13



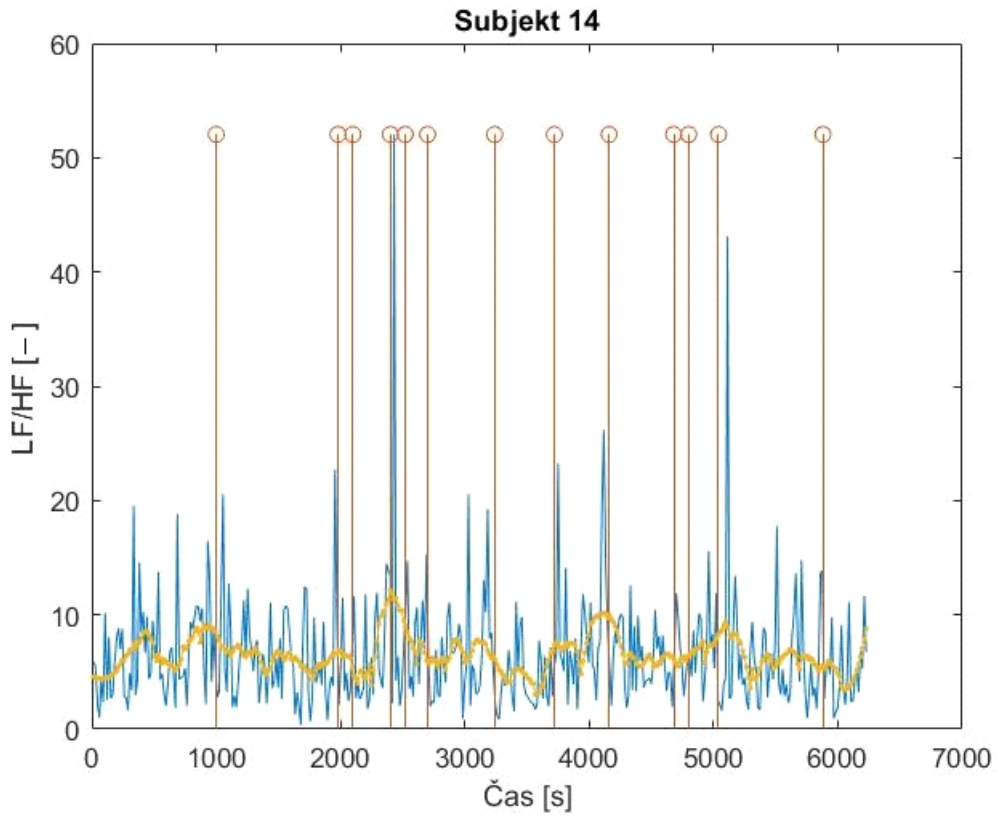
Graf 28 – Rozložení chyb u subjektu 13

#### 4.14 Analýza u subjektu 14

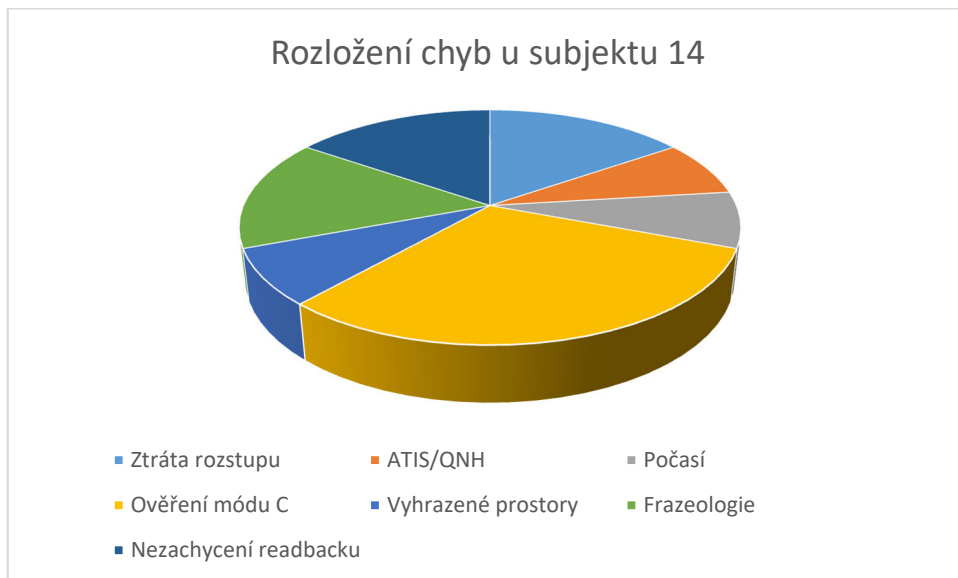
Subjektem 14 byl 24 letý muž s licenci komerčního pilota, momentálně je však kvůli onemocnění Covid-19 mimo kokpit, nicméně stále má práci v oboru. Subjekt nemá víceméně žádné zkušenosti s řízením letového provozu. Podle toho vypadala i chybovost subjektu, chyb bylo nadprůměrně. Z grafu 30 je patrné, že chyby byly různorodé, nejčastější chybou však bylo neověření módu C. Mimo jiné se objevily vstupy do zakázaného prostoru či problémy s frazeologií či žádosti o vyhnutí kvůli bouřkám. Došlo také k nezachycení špatných volacích znaků, což vedlo ke ztrátě rozstupu.

Z grafu 29 je patrné, že subjekt chyboval hlavně v časech vyšší stresové aktivity. Nejvyšší stresová zátěž byla zaznamenána kolem 40. minuty. Stresová aktivita však byla značná v průběhu celého cvičení.

Z psychologického dotazníku vyplynulo, že subjekt se necítil až tak pod časovým tlakem, psychická zátěž však byla značná, stejně jako frustrace. Úsilí bylo podle subjektu maximální, výkonnost ohodnotil subjekt jako průměrnou. Při řízení provozu subjekt působil velmi nejistě a mluvil potichu. Myslím si, že pro subjekt to ale byla cenná zkušenost a se cvičením se vypořádal obstojně vzhledem k tomu, že letový provoz nikdy neřídil.



Graf 29 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 14



Graf 30 – Rozložení chyb u subjektu 14

## 5 Diskuze

Všechny subjekty úspěšně absolvovaly cvičení až do konce, nikdo nepřerušil cvičení v průběhu. Křivky stresu víceméně odpovídaly a kopírovaly reálnou zátěž ve cvičení. Ve většině případů lze říci, že chybovost subjektů závisela na míře stresu, subjekty byly náchylnější chybovat v době, kdy zažívaly větší míru stresu. U některých subjektů se toto nepotvrdilo, to lze dle mého názoru vysvětlit tím, že subjekt je zvyklý na stresové situace tohoto typu či pod stresem pracuje běžně.

Experimentu se zúčastnilo celkem 18 subjektů ve věku od 18 do 28 let. Zúčastnily se osoby téměř nezkušené až po osoby vysoce zkušené, které předvedly téměř profesionální výkon.

Chybovost subjektů byla rozdělena do několika kategorií. Celkově udělalo 14 subjektů 183 chyb, což v aritmetickém průměru vychází zhruba 13,1 chyby na osobu. Více říkající medián počtu chyb na osobu je přesně 9. Nejčastější chybou byla ztráta separace mezi letadly, tato chyba se ve všech cvičeních objevila 40 krát. Pouze dva subjekty z 14 neudělaly chybu ztráty separace. Jako další nejčastější chyby s výskytem 27 jsou potvrzení informace ATIS/QNH a stejnou příčku sdílí i ověření módu C odpovídače. Všechny ze subjektů měly minimálně jednu chybu v neověření módu C odpovídače. Třetí příčku obsadilo nezachycení readbacku. Tato chyba se vyskytla celkem 23 krát u celkově 11 subjektů.

Chyby ve frazeologii byly čtvrtou nejčastější chybou s výskytem 15 a projevíly se celkem přesně u poloviny testovaných subjektů. Pátou nejčastější chybou s výskytem 14 bylo narušení zakázaných/nebezpečných prostorů. Tato chyba se projevíla celkem u 9 subjektů.

Počet chyb u jednotlivých subjektů se pohyboval od 4 do 45 chyb. Nejmenší počet chyb byl 4 a takto zdárně to zvládl subjekt 8 a subjekt 13. Oba muži byli vysoce znalí problematiky a chápali princip řízení letového prostoru, v jednom případě předcházely i pracovní zkušenosti.

Subjekt 2 s 45 chybami byl student FD, který uměl pouze leteckou abecedu a zhlédl instruktážní video. Nechápal principy řízení a neznal detailněji ani frazeologii.

Z výsledků psychologického dotazníku plyne, že subjekty nejvíce zatěžovala psychická zátěž, dále časová zátěž. Nejméně byly ovlivněny fyzickou zátěží, což je pochopitelné, protože žádná fyzická aktivita nebyla vyžadována. Úroveň frustrace se pohybovala na lehké až střední úrovni u zhruba třetiny až poloviny subjektů, zbytek frustraci nepocítil. Téměř všechny subjekty se shodly na tom, že k požadované výkonnosti musely vynaložit velké úsilí.

Celkově hodnotím experiment za přínosný, myslím, že měl pro všechny subjekty vzdělávací efekt a nikdo se během cvičení nenudil. Když vezmu v úvahu rozdílné zkušenosti subjektů,

rozdílné výsledky se daly očekávat. Myslím si, že všechny subjekty se snažily cvičení zvládnout co nejlépe.

## 6 Závěr

Řízení letového provozu je všeobecně velmi náročná profese a výcvik na pozici řídicího letového provozu trvá přes dva roky. Chtít proto po nezkušených studentech odřídit cvičení na simulátoru, které by bylo oříškem i pro skutečné řídicí letového provozu, je proto nereálné.

Cílem této diplomové práce bylo zanalyzovat současný stav výcviku řídicích letového provozu a navrhnout simulovaná cvičení se zvýšenou zátěží. V souvislosti s vypracováním této práce byly na simulátoru Rose v prostorech Letecké školy ŘLP vytvořeny tři asi padesátiminutová cvičení s postupně zvyšující se zátěží včetně stavu nouze. Bohužel vzhledem k přísným restrikcím souvisejícím s onemocněním Covid-19 se nakonec nemohl experiment v prostorech ŘLP konat.

Vzhledem k situaci byl použit školní simulátor a byl vytvořen specifický vzdušný prostor. Všechna cvičení probíhala na FD ČVUT za účelem naměřit a zpracovat data. Ve spolupráci s reálným řídicím letového provozu byla navržena cvičení, která měla simulovat obrovskou zátěž na lidský organismus, aby výsledky měření byly relevantní, vypovídající a zajímavé. Účelem tedy nebylo jen zvládnout bezchybně cvičení v roli řídicího letového provozu, ale spíše vyzkoumat souvislost mezi zvýšenou hladinou stresu a chybovostí.

Z důvodu úspory času bylo rozhodnuto, že využijeme jedno delší cvičení, během kterého budeme simulovat všechny možné scénáře a zkusíme měřené subjekty dostat pod velký tlak. Během celého měření byl subjekt připojen k EKG a naměřená data byla uložena k pozdějšímu zpracování.

Experimentu se zúčastnilo celkem 18 subjektů, z čehož vzniklo 14 použitelných záznamů, 2 záznamy musely být z důvodu mnoha chyb a neschopnosti tento experiment zrealizovat ignorovány. Pro dva záznamy bohužel selhala technika a záznam EKG nebyl použitelný nebo se vůbec nenahrál.

Naměřená data včetně R-R intervalů byla zpracována krátkou Fourierovou transformací (STFT) v okně, data musela být vyfiltrována a dále zpracována systémem HRVAS (v Matlabu) časově frekvenční analýzou. Data byla zpracována pro LF a HF (jednotlivé hodnoty sympatiku a parasympatiku). Podílem těchto dvou hodnot lze získat hodnotu stresu, která byla promítnuta grafem v čase. Prostřednictvím spojitě křivky grafu by se dalo zjednodušeně říci, že byl zobrazen záznam stresu v čase.

Zpětným detailním zhlédnutím nahrávek cvičení bylo možné identifikovat, ve který čas udělal subjekt chybu a jakou. Jelikož je velmi těžké rozhodnout, co je chyba a co ne, byla během analýzy výsledků stanovena přesná pravidla. Tato data byla zaznamenána do souboru \*.xlsx a následně v programu Matlab propojena do jednoho grafu se stresovou křivkou a

zanalyzována. Pro detailní zpracování byl taktéž u každého subjektu zpracován jednotlivý graf výskytu chyb.

Z předchozí bakalářské práce byl využit psychologický dotazník, který nebyl zpracován pomocí statických testů, jelikož v bakalářské práci nebyly nalezeny statisticky signifikantní rozdíly. Byl proto kladen důraz na subjektivní vnímání stresu a zátěže každým jedincem a ten byl následně popsán u vyhodnocení každého subjektu v této diplomové práci.

Tato práce se bohužel nemohla zrealizovat v prostorech ŘLP a bohužel ani na žácích ve výcviku, jelikož většina výcviků byla z důvodu onemocnění Covid-19 pozastavena. Jeden záznam je ukázkou, jak vypadá, když subjekt neovládá frazeologii a řízení letového provozu neokusil ani z pohledu pilota, ani z pohledu řídícího. Tento subjekt se dopustil 45 chyb v průběhu celého cvičení. Ostatní subjekty měly s řízením letového provozu alespoň nějaké zkušenosti, většina situací v průběhu cvičení byla zvládnuta výborně.

Z výsledků psychologického dotazníku se všechny subjekty shodly na tom, že byly pod značným psychickým tlakem, většina poté i pod časovým tlakem. Lehká až střední frustrace se objevila u zhruba třetiny až poloviny subjektů. Většina subjektů ohodnotila úsilí vynaložené k úspěšnému zvládnutí cvičení jako velmi vysoké a svou výkonnost adekvátně k výsledku.

Limitací této práce je, že experiment neprobíhal na zkušenějších žácích ve výcviku na pozici řídících letového provozu. Tito studenti by měli potřebné teoretické znalosti a měli by všichni stejnou úroveň, tudíž by bylo možné subjekty porovnávat i mezi sebou a sjednotit tak obtížnost cvičení. Další limitací této práce by mohl být i nedostatek subjektů, kterých by mohlo být více.

Tato práce by mohla být využita jako zpětná vazba studentů při výcviku na ŘLP, zaměření se na časté chyby, čímž by mohla být zkvalitněna teoretická i praktická výuka.

Tato práce posloužila i k zamyšlení, že každý pilot by si měl vyzkoušet práci řídícího letového provozu, aby porozuměl problematice i z druhé strany, a pochopil, že řízení letového provozu není jednoduchá záležitost a každé letové povolení má svá pravidla a důsledky.

## 7 Seznam použitých zdrojů

- [1] - Řízení letového provozu. *Kariéra ŘLP* [online]. [cit. 2021-1-3]. Dostupné z: <http://www.rlp.cz/kariera/rlp>
- [2] – ŠÁLA, Jiří. *Výcvik řídicích letového provozu*. Praha, 2019.
- [3] - *Nařízení komise EU 345/2015* [online]. [cit. 2021-2-4]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/dokumenty/predpisy/zakladni-informace-k-narizenim-eu/zpusobilost-leteckeho-personalu-2/narizeni-komise-eu-2015-340/>
- [4] - Feast Tests. FEAST TESTS Eurocontrol [online]. [cit. 2021-2-4]. Dostupné z: <https://feast-info.eurocontrol.int/>
- [5] - *Příprava na FEAST testy. FEAST 1 Test* [online]. [cit. 2021-3-23]. Dostupné z: <https://www.jobtestprep.com/media/31307/image-6.webp>
- [6] – SCHMIDT, Stanislav. *Fotografie z prostor Řízení letového provozu*. Praha, 2021
- [7] – MATERNA, Jan a Jan DRAHOKOUPIL. *Učebnice pro pseudopiloty*. 5. vydání. Praha, 2016.
- [8] - *Elektrokardiografie. Základní čtení a hodnocení EKG křivky* [online]. [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://www.rehabilitace.info/zdravotni-zarizeni/zakladni-cteni-a-hodnoceni-ekg-krivky/>
- [9] - BĚLOHLÁVEK, Jan. *EKG v akutní kardiologii: průvodce pro intenzivní péči i rutinní klinickou praxi*. 2., rozš. vyd. Praha: Maxdorf, c2014. Jessenius. ISBN 978-80-7345-419-7.
- [10] - Variabilita srdeční frekvence. *Variabilita srdeční frekvence* [online]. [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://www.mysasy.com/variabilita-srdecni-frekvence>
- [11] – RAMSHUR, John. *Heart rate variability analysis software* [online]. **2010**, 109 [cit. 2021-5-25]. Dostupné z: [doi:10.13140/RG.2.2.33667.81444](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33667.81444)
- [12] - VLV Lab. *VLV Lab* [online]. [cit. 2021-5-31]. Dostupné z: <https://www.albertov.cz/projekty/vlv-lab/?fbclid=IwAR3aPcaxP72QstTU5A9y4skP9c8BvF6oyWzfDDN5WeAZuD6gpAvYWejXbo8>
- [13] - MOSYURCHAK, Andriy. *Principy softwarové detekce QRS* [online]. Brno, 2012 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=53269](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=53269). *Bakalářská. VUT v Brně*.



- [14] - Vzdušný prostor České republiky. *VFR příručka* [online]. [cit. 2021-4-2]. Dostupné z: [https://aim.rlp.cz/vfrmanual/actual/enr\\_1\\_cz.html](https://aim.rlp.cz/vfrmanual/actual/enr_1_cz.html)
- [15] - Rozdělení vzdušného prostoru na území ČR. *Airspace* [online]. [cit. 2021-4-2]. Dostupné z: [https://aim.rlp.cz/vfrmanual/actual/text/AIRSPACE\\_cs.jpg](https://aim.rlp.cz/vfrmanual/actual/text/AIRSPACE_cs.jpg)
- [16] - SLISCHKA, Martin a Stanislav SCHMIDT. *Vzdušný prostor TMA Praha. Praha, 2021.*
- [17] - L4444 - Postupy pro letové navigační služby. In: 5.11. 2020. Dostupné také z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-4444/index.htm>
- [18] - Reduced Vertical Separation Minima. *RVSM* [online]. [cit. 2021-4-2]. Dostupné z: [https://www.skybrary.aero/index.php/Reduced\\_Vertical\\_Separation\\_Minima\\_\(RVSM\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Reduced_Vertical_Separation_Minima_(RVSM))
- [19] – Reduced vertical separation minima. *Eurocontrol regional monitoring agency* [online]. [cit. 2021-4-2]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/service/european-regional-monitoring-agency>
- [20] – *Eurocontrol Document 9574* [online]. [cit. 2021-4-2]. ISBN 978-92-9249-059-1. Dostupné z: [http://www.carsamma.decea.gov.br/cms/wp-content/uploads/2018/07/9574\\_cons\\_en.pdf](http://www.carsamma.decea.gov.br/cms/wp-content/uploads/2018/07/9574_cons_en.pdf)
- [21] - SZARKA, Martin. *Turbulence v atmosféře a její vliv na letový provoz: Turbulence v úplavu* [online]. Brno, 2013 [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=67083](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=67083). Bakalářská. VUT v Brně. Vedoucí práce Karel Krška.
- [22] - PŘÍHODA, David. *Turbulence v úplavu* [online]. Praha, 2017 [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/73114/F6-BP-2017-Prihoda-David-turbulence\\_v\\_uplavu.pdf?sequence=-1&isAllowed=y](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/73114/F6-BP-2017-Prihoda-David-turbulence_v_uplavu.pdf?sequence=-1&isAllowed=y). Bakalářská. ČVUT FD.
- [23] – *Porovnání indukovaného odporu na křídle - winglet. How winglets work* [online]. [cit. 2021-5-1]. Dostupné z: [https://archive.nytimes.com/www.nytimes.com/interactive/2013/10/24/business/Why-Winglets.html?\\_r=0](https://archive.nytimes.com/www.nytimes.com/interactive/2013/10/24/business/Why-Winglets.html?_r=0)
- [24] – *Wake Turbulance - Separation. Wake turbulence* [online]. [cit. 2021-5-1]. Dostupné z: <https://www.ifr-magazine.com/technique/wake-turbulence/>
- [25] – Ústav letecké dopravy – *Vědecké výstupy* [online]. [cit. 2021-5-1]. Dostupné z: [http://uldbeta.fd.cvut.cz/stazeni/vedecke\\_vystupy/NTLx.exe](http://uldbeta.fd.cvut.cz/stazeni/vedecke_vystupy/NTLx.exe)

- [26] - *R-Peak Detection by modified Pan-Tompkins Algorithm* [online]. 2014, **2014(5)**, 4 [cit. 2021-5-25]. ISSN 2278-7763. Dostupné z: <http://www.ijoart.org/docs/R-Peak-Detection-by-Modified-Pan-Tompkins-Algorithm.pdf>
- [27] – FREIGANG, Michal. *Vliv únavy pilota na výsledek psychologických testů* [online]. 2018, Praha [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/79997/F6-BP-2018-Freigang-Michal-F6-BP-2018-freigang-michal-bakalarska-prace.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Bakalářská. ČVUT FD.
- [28] – Vegetativní nervová soustava. *Vegetativní nervová soustava* [online]. [cit. 2021-7-2]. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Vegetativn%C3%AD\\_nervov%C3%A1\\_soustava\\_\(fyziologie\)](https://www.wikiskripta.eu/w/Vegetativn%C3%AD_nervov%C3%A1_soustava_(fyziologie))
- [29] – Parasympatický a sympatický nervový systém. *Parasympatický a sympatický nervový systém* [online]. [cit. 2021-8-1]. Dostupné z: <https://www.efia.cz/2018/08/17/parasympaticky-a-sympaticky-nervovy-system-jak-tyto-systemy-ovlivnuji-pochody-v-nasem-tele/>
- [30] – Diagnostika, symptomatika a nálezy u onemocnění a poruch autonomního nervového systému v neurologii. *Diagnostika, symptomatika a nálezy u onemocnění a poruch autonomního nervového systému v neurologii* [online]. [cit. 2021-8-1]. Dostupné z: <https://www.csnn.eu/casopisy/ceska-slovenska-neurologie/2018-6-7/dia-gnostika-symp-tomatika-a-nalez-y-u-onemocneni-a-poruch-autonomniho-nervoveho-systemu-v-neurologii-106857>
- [31] - VATSIM. *About VATSIM* [online]. [cit. 2021-7-1]. Dostupné z: <https://www.vatsim.net/about>
- [32] - SEJDIĆ, Ervin, Igor DJUROVIĆ a Jin JIANG. Time–frequency feature representation using energy concentration: An overview of recent advances. *Digital Signal Processing*. 2009, **19(1)**, 153-183. ISSN 10512004. Dostupné z: doi:10.1016/j.dsp.2007.12.004
- [33] - ALLEN, J. Short term spectral analysis, synthesis, and modification by discrete Fourier transform. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*. 1977, **25(3)**, 235-238. ISSN 0096-3518. Dostupné z: doi:10.1109/TASSP.1977.1162950

## Seznam použitých obrázků

- Obr. 1 – Praktická ukázka testu FEAST
- Obr. 2 – Stanoviště APP Praha – IATCC Jeneč
- Obr. 3 – 3D Věžní simulátor – Letecká škola
- Obr. 4 – Záznam z radaru APP – IATCC Jeneč
- Obr. 5 – Stanoviště LKPR TWR
- Obr. 6 – EKG křivka rozfázovaná
- Obr. 7 – EKG křivka, R-R interval
- Obr. 8 – Prostředí programu PP Scope
- Obr. 9 – Rozdělení vzdušného prostoru na území ČR
- Obr. 10 – Rozdělení vzdušného prostoru na našem simulátoru
- Obr. 11 – Mapa smyšleného vzdušného prostoru
- Obr. 12 – Příletové tratě STAR a holdingy
- Obr. 13 – Mapa konečného přiblížení ILS 27
- Obr. 14 – Mapa odletových tratí SID
- Obr. 15 – Turbulence v úplavu
- Obr. 16 – Porovnání generovaného indukovaného odporu na křídle
- Obr. 17 – Stripy na radarovém simulátoru
- Obr. 18 – Label letounu – radarový simulátor
- Obr. 19 – Prostředí pseudopilota na radarovém simulátoru
- Obr. 20 – Bouřkový scénář na radarovém simulátoru
- Obr. 21 – Vzor analýzy výsledků
- Obr. 22 – Ukázka programu NTLx (psychologický dotazník)
- Obr. 23 – Ukázka druhé části psychologického dotazníku NTLx
- Obr. 24 – Ukázka výsledků psychologického dotazníku NTLx

## **Seznam použitých tabulek**

Tabulka 1 – Turbulence v úplavu – Radarové rozestupy

## **Seznam použitých rovnic**

Rovnice 1 – Rovnice pro výpočet krátké Fourierovy transformace v okně

## **Seznam použitých grafů**

Graf 1 – Zátěž během cvičení na simulátoru Rose v prostorech ŘLP

Graf 2A – Rozložení chyb mezi subjekty

Graf 2B – Rozložení chyb u všech subjektů

Graf 3 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 1

Graf 4 – Rozložení chyb u subjektu 1

Graf 5 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 2

Graf 6 – Rozložení chyb u subjektu 2

Graf 7 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 3

Graf 8 – Rozložení chyb u subjektu 3

Graf 9 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 4

Graf 10 – Rozložení chyb u subjektu 4

Graf 11 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 5

Graf 12 – Rozložení chyb u subjektu 5

Graf 13 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 6

Graf 14 – Rozložení chyb u subjektu 6

Graf 15 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 7

Graf 16 – Rozložení chyb u subjektu 7

Graf 17 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 8

Graf 18 – Rozložení chyb u subjektu 8

Graf 19 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 9

Graf 20 – Rozložení chyb u subjektu 9

Graf 21 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 10

Graf 22 – Rozložení chyb u subjektu 10

Graf 23 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 11

Graf 24 – Rozložení chyb u subjektu 11

Graf 25 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 12

Graf 26 – Rozložení chyb u subjektu 12

Graf 27 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 13

Graf 28 – Rozložení chyb u subjektu 13

Graf 29 – Vyhodnocení míry stresu a chybovosti v čase u subjektu 14

Graf 30 – Rozložení chyb u subjektu 14

## **Seznam příloh**

Příloha 1 – Instructor a Pilot log

Příloha 2 – Kompletní zpracování HRVAS analýzy v programu MATLAB