



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
Ústav letecké dopravy

**Vliv přestávky v létání na přesnost pilotáže pilotů dopravních
letadel**

**Effect of the Break in Flying on the Piloting Precision in Airline
Pilots**

Diplomová práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Provoz a řízení letecké dopravy

Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Socha, Ph.D.

Ing. Lenka Hanáková

Bc. Marek Šudoma

Praha 2021

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K621 **Ústav letecké dopravy**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Marek Šudoma

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Vliv přestávky v létání na přesnost pilotáže pilotů
dopravních letadel**

Název tématu (anglicky): **Effect of the Break in Flying on the Piloting Precision in
Airline Pilots**

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je posoudit dopad přestávek v létání primárně způsobených pandemickou situací COVID-19 na zručnost pilotů dopravních letadel.
- Vypracujte analýzu současného stavu orientovanou na hodnocení výkonnosti pilotů a vlivy, které mohou mít negativní dopad na výkonnost.
- Navrhněte a vykonajte experiment orientovaný na ověření vlivu přestávek v létání na zručnost (výkonnost) pilotů dopravních letadel. V rámci experimentu vykonajte sběr relevantních dat na reprezentativním vzorku subjektů.
- Naměřená data vyhodnoťte vhodnými metodami a výsledky diskutujte.
- Stanovte závěry práce a doporučení pro další výzkum v této oblasti.

- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: IATA - Guidance for Post-COVID Restart of Operations: CBTA Training Solutions
UK CAA - COVID 19 – Preparing to Return to Normal Flying Operations for General Aviation Private Pilots

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

Datum zadání diplomové práce: **11. března 2021**
(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: **16. května 2022**
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. Marek Šudoma
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 11. března 2021



Abstrakt

Vlivem náhlého poklesu poptávky po letecké přepravě se v jarních měsících roku 2020 mnoho leteckých společností potýkalo s nedostatečným počtem letů pro naplánování alespoň tří letů za období posledních 90 dnů všem svým pilotům, jak to vyžaduje letecká legislativa. Pro jejich doplnění proto piloti absolvovali sérii tří vzletů a tří přistání na letovém simulátoru. Nabízí se ovšem otázka, zdali tato forma cvičení dokáže plně nahradit skutečnou letovou praxi. Cílem práce proto bylo přinést odpověď na tuto otázku formou srovnání přesnosti manuálního letu skupiny pilotů, kteří po přestávce v létání nejprve na simulátoru absolvují tři vzlety a tři přistání a skupiny dosud aktivně působících pilotů. Úkolem pilotů s platnou typovou kvalifikací na letoun Boeing 737NG bylo v rámci experimentu absolvovat sérii letových manévřů zakončenou třemi ILS raw data přiblíženími. Pro simulaci byl využit simulátor letounu B737NG s technologií virtuální reality. Po ukončení experimentu piloti rovněž vyplnili test zaměřený na znalost standardních provozních postupů a dotazník zkoumající subjektivně vnímanou úroveň zátěže v průběhu experimentu. Z analýzy naměřených letových dat bylo zjištěno, že u většiny zkoumaných manévřů jsou dosud aktivně působící piloti schopni statisticky lépe udržovat předepsanou výšku a náklon, v jednotkách případů rovněž kurz a rychlost letu. Při vyhodnocení úseků konečného přiblížení nebyl mezi piloty nalezen statisticky významný rozdíl. V kontrastu s rozdíly nalezenými po vyhodnocení letových dat byla úroveň subjektivně vnímané zátěže i její příčiny u obou skupin pilotů srovnatelná. Skupina dosud aktivně působících pilotů dále dosáhla významně vyšší úspěšnosti v testu znalostí standardních provozních postupů. Přínosem této práce je zapojení skupiny pilotů s průměrně 8měsíční přestávkou v létání do experimentu porovnávacího přesnost jejich pilotáže s dosud aktivně působícími piloty.

Klíčová slova: přesnost pilotáže, letecký simulátor, výkonnost, zátěž



Abstract

Due to the sudden drop in demand for air transport, in the spring of 2020 many airlines faced insufficient flights to schedule at least three flights over the last 90 days for all their pilots, as required by aviation legislation. To supplement them, the pilots therefore completed a series of three takeoffs and three landings on a flight simulator. However, the question arises as to whether this form of exercise can fully replace real flight practice. The aim of the work was therefore to answer this question by comparing the flight accuracy of a group of pilots who, after a break in flying, first complete three take-offs and three landings on the simulator and a group of pilots still actively flying. The task of pilots with a valid type rating for the Boeing 737NG aircraft was to complete a series of flight maneuvers in the experiment, ending with three ILS raw data approaches. A B737NG aircraft simulator with virtual reality technology was used for the simulation. At the end of the experiment, pilots also completed a test focused on knowledge of standard operating procedures and a questionnaire examining the subjectively perceived level of load during the experiment. From the analysis of the measured flight data, it was found that for most of the examined maneuvers, pilots still actively flying are able to maintain prescribed altitude with statistically smaller deflections, in units of case the same applies also the course and flight speed. No statistically significant difference was found between pilots when evaluating the final approach section.

Keywords: piloting precision, flight simulator, performance, workload



Poděkování

Rád bych poděkoval všem, kteří mě podporovali po celou dobu studia. Můj vděk patří vedoucím této práce, tedy doc. Ing. Bc. Vladimíru Sochovi, Ph.D. a slečně Ing. Lence Hanákové, kteří mě provázeli od okamžiků formulování jejího tématu, přípravy experimentu, přes vyhodnocení získaných dat a interpretaci závěrů. Stejně tak mě vedli při dodržování všech formálních náležitostí, díky nimž se mi podařilo práci zhotovit v podobě, v jaké ji nyní předkládám.

Zároveň děkuji všem, kteří se ve svém volném čase uvolili a zúčastnili se experimentu provedeného v rámci této práce.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem “Vliv přestávky v létání na přesnost pilotáže pilotů dopravních letadel” vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k diplomové práci.

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

Praze dne 17. května 2021

.....

Podpis



Obsah

Úvod	15
1 Přehled současného stavu	17
1.1 Platnost typové kvalifikace	17
1.2 Rešerše dostupných prací	19
1.3 Manuální řízení letounu	21
1.4 Limitace současného stavu, cíl práce a hypotézy	26
2 Metodika	28
2.1 Subjekty	28
2.2 Průběh experimentu	29
2.3 Sběr a předzpracování dat	34
2.3.1 Hodnocení pilotáže	35
2.3.2 NASA Task Load Index	46
2.3.3 Test SOP	49
2.4 Statistické hodnocení	51
3 Prezentace výsledků	54
3.1 Vyhodnocení náletu	54
3.2 Vyhodnocení letových manévřů	56
3.3 Vyhodnocení znalostí SOP	75
3.4 Vyhodnocení NASA Task Load Index	82
4 Diskuze	85
5 Závěr	89
Seznam použité literatury	93
Přílohy	98



Příloha A - Všeobecný dotazník	99
Příloha B - Principy vizuálního okruhu	101
Příloha C - Test SOP	104
Příloha D - Trainee Survey: Postflight	106



Seznam obrázků

2.1	Průběh experimentu na simulátoru	30
2.2	Chronologická souslednost úkonů v rámci vyhodnocované části experimentu .	35
2.3	Horizontální a vertikální profil úseku středního a konečného přiblížení	39
2.4	Letová trajektorie spolu s označenými úseky vzletů a přiblížení	43
2.5	Vytvořená sestupová rovina spolu se zobrazením letových dat	45
2.6	Příklad výsledků NASA Task Load dotazíku	46
2.7	Příklad vyhodnocování RMSE, průměrné hodnoty a sd	51
3.1	Distribuce celkového náletu pilotů pro sledované skupiny pilotů	54
3.2	Distribuce náletu na letounu Boeing 737NG / MAX8	55
3.3	Distribuce naměřených dat pro výšku - úkon 1	57
3.4	Výškový profil letu jednotlivých subjektů pro úkol 1	58
3.5	Distribuce naměřených dat pro kurz - úkon 1	59
3.6	Distribuce naměřených dat pro výšku - úkon 2	60
3.7	Distribuce naměřených dat pro kurz - úkon 2	61
3.8	Distribuce naměřených dat pro rychlost - úkon 2	62
3.9	Distribuce naměřených dat pro výšku - úkon 3	63
3.10	Distribuce naměřených dat pro rychlost - úkon 3	64
3.11	Distribuce naměřených dat pro výšku - úkon 4	65
3.12	Distribuce naměřených dat pro náklon - úkon 4	66
3.13	Distribuce naměřených dat pro výšku - úkon 5	68
3.14	Distribuce naměřených dat pro rychlost - úkon 5	69
3.15	Distribuce naměřených dat pro výšku - úkon 7	70
3.16	Distribuce naměřených dat pro rychlost - úkon 7	71
3.17	Distribuce naměřených dat pro výšku - úkon 8	72
3.18	Distribuce průměrné laterální odchylky od trajektorie definované ILS	73
3.19	Distribuce rozptylu laterální odchylky od trajektorie definované ILS	74
3.20	Distribuce průměrné vertikální odchylky od trajektorie definované ILS	74



3.21	Distribuce rozptylu vertikální odchylky od trajektorie definované ILS	75
3.22	Distribuce bodového zisku z 1. části SOP testu	76
3.23	Úspěšnost uvedení konkrétního úkonu procedury z 1. části SOP testu	77
3.24	Kokpit letounu Boeing 737NG s označenými panely	79
3.25	Distribuce bodového zisku z 2. části SOP testu	80
3.26	Úspěšnost seřazení úkonu procedury z 2. části SOP testu	81
3.27	Distribuce bodového zisku z 1. a 2. části SOP testu	82



Seznam tabulek

1.1	Souhrn pilotních kompetencí	18
2.1	Meteorologické podmínky pro vzlety a přistání v rámci doplnění “Nedávné praxe”	33
2.2	Postupy spadající do procedury Před spouštěním motorů - První důstojník .	49
2.3	Chronologická posloupnost vybraných panelů spadajících do procedury Preflight Procedure - První důstojník	50
3.1	Výsledky Mann-Whitneyova testu ve formě p-hodnot pro NASA TLx	83
3.2	Procentuální účast jednotlivých oblastí zatížení pro skupinu s1 a s2	83



Seznam symbolů a zkratek

AVDL	Průměrná délka diagonály (Average diagonal length)
DET	Determinismus
DFT	Diskrétní Fourierova transformace
DIV	Divergence
DM	Vzdálenostní matice (Distance matrix)
ENTR	Shannonova informační entropie
EASA	Evropská agentura pro bezpečnost letectví (European Aviation Safety Agency)
FAA	Federální letecký úřad (Federal Aviation Administration)
FDM	Sledování letových dat (Flight Data Monitoring)
FMC	Palubní počítač (Flight Management Computer)
FFS	Plně pohyblivý letový simulátor (Full Flight Simulator)
FFT	Rychlá Fourierova transformace
FT	Fourierova transformace
GS	Sestupový radiomaják (Glideslope)
ILS	Systém pro přesné přiblížení a přistání (Instrument Landing System)
IMC	Meteorologické podmínky pro let podle přístrojů (Instrument Meteorological Conditions)
JB	Jarque – Berův test normality
LOC	Kurzový radiomaják (Localizer)
LOC-I	Ztráta řízení za letu (Loss of control in flight)
PFD	Primární letový displej (Primary flight display)
RMSE	Odmocnina ze střední kvadratické chyby (Root mean square error)
SD	Směrodatná odchylka (Standard deviation)
SMS	Systém řízení bezpečnosti (Safety management system)



SOP	Standardní provozní postupy (Standard operating procedures)
VMC	Meteorologické podmínky pro let za viditelnosti (Visual meteorological conditions)



Úvod

Vícekrát v historii zaznamenala mezinárodní letecká doprava pokles poptávky po přepravě. Významné dopady na ni měl ropný šok v roce 1973, Irácko-iránská válka (1980), Válka v Zálivu (1990), útoky 11. září (2001), epidemie koronaviru SARS (2002 - 2004) a světová finanční krize (2009). Jak popisuje zpráva Mezinárodní organizace pro civilní letectví (ICAO) [1], vždy se však jednalo o pokles v řádu jednotek procent. Mimo to letecká přeprava vykazovala stabilní růst. Podle údajů ICAO v roce 2019 mezinárodní letecká doprava přepravila 4.5 miliardy cestujících při celkových 38.3 milionech letů, což je nejvíce v historii letectví [2].

Celosvětová omezení cestování, která přišla spolu s pandemií nemoci Covid-19 v průběhu roku 2020, však měla za následek nebývalý pokles poptávky po letecké přepravě. Ačkoliv konečná data nebyla při psaní této práce k dispozici, ICAO ve své zprávě z března roku 2021 udává 60 % meziroční pokles v počtu přepravených cestujících v roce 2020 oproti roku 2019 [1].

Kvůli předpovídanému růstu letecké přepravy ovšem společnosti v letech před příchodem pandemie přijímaly a cvičily množství dopravních pilotů. Podle předpovědí měla celosvětová poptávka po dopravních pilotech ze 4 000 ročně před příchodem pandemie dosáhnout téměř 5 000 za rok v roce 2028 [3].

Rychlý nástup pandemie nemoci Covid-19 a s ní spojeného útlumu letecké dopravy ovšem donutil řadu leteckých společností k propouštění pilotů, krácení jejich pracovních úvazků či alespoň významnému omezení jejich využití. Evropská asociace zastupující zájmy pilotů (European Cockpit Association, ECA) odhaduje, že k lednu roku 2021 ztratilo celosvětově práci minimálně 18 000 pilotů dopravních letadel. Nezapočítává mezi ně ovšem ty, kteří sice o práci nepřišli, nicméně se se svým zaměstnavatelem dohodli na neplaceném volnu, případně létají jen velmi omezeně [4].

Do budoucna lze při očekávaném oživení letecké dopravy předpokládat, že i poptávka po pilotech bude opět narůstat [1]. Letecké společnosti tak budou stát před potřebou poskytnout těmto pilotům výcvik a školení, aby zaručily jejich bezpečný návrat do provozu.



Jednou z podmínek pro výkon člena letové posádky je tzv. “Nedávné praxe” (Recent experience), která stanoví, že pilot musel na stejném typu letadla za posledních 90 dní absolvovat minimálně tři vzlety a tři přistání [5]. Po poklesu letecké dopravy v průběhu jarních měsíců roku 2020 tak zkraje léta řada pilotů nesplňovala tuto podmínku v řádu týdnů. Letecké společnosti proto vypracovaly scénář tří vzletů a tří přistání na pohyblivém letovém simulátoru (FFS), po jehož absolvování mohl pilot opět působit v roli člena letové posádky na příslušném typu letadla.

Absolvováním zmíněného scénáře na FFS tedy byla splněna legislativní podmínka Nedávné praxe. Nabízí se však otázka, zdali je dopravní pilot po několikaměsíční vynucené přestávce v létání schopný díky absolvování 3 vzletů a 3 přistání na letovém simulátoru plnit své funkce se správností a přesností srovnatelnou s pilotem, který přestávku v létání neměl. Jelikož se v průběhu rešerše nepovedlo nalézt práci porovnávající výkon dvou takto definovaných skupin pilotů, je tato práce zaměřena právě na toto srovnání.



1 Přehled současného stavu

1.1 Platnost typové kvalifikace

Pro výkon člena letové posádky v rámci obchodní letecké dopravy musí jedinec splňovat řadu kritérií týkajících se jeho věku, psychického a fyzického zdraví a platnosti odpovídajících kvalifikací. Platnost typové kvalifikace pro konkrétní letoun je 1 rok [6] a pro její prodloužení musí držitel absolvovat opakovací výcvik (recurrent training) na odpovídajícím letovém simulátoru [5].

Kromě prodlužování platnosti typové kvalifikace musí pilot působící pod leteckým dopravcem podstupovat rovněž přezkušování odborné způsobilosti. Předpis L6/I, kapitola 9.4.4 Přezkušování způsobilosti pilota, udává, že “provozovatel musí zajistit, že technika pilotáže a schopnost vykonávat nouzové postupy je přezkušována takovým způsobem, který tuto způsobilost pilota prokáže pro každý typ nebo variantu typu letounu. Kde může být provoz prováděn podle pravidel letu podle přístrojů, musí provozovatel zajistit, aby schopnosti pilotů provádět IFR lety byla prokázána buď přezkušujícím pilotovi provozovatele, pověřenému Úřadem nebo inspektoru pilotovi Úřadu. Tato přezkoušení musí být provedena dvakrát za 12 měsíců.” [5] Jako součást přezkoušení předpis předpokládá rovněž ověření znalosti provozních postupů.

V rámci této práce byla brána v potaz vybraná letecká společnost, která pro své piloty vypracovala scénář tří vzletů a tří přistání, který následně absolvovali na letovém simulátoru. Jakmile daný pilot scénář absolvoval, dostal tím regulatorní podmínce platnosti své licence a mohl nadále plnit funkci člena letové posádky dopravního letadla v obchodní letecké dopravě na zvoleném typu letadla.

Tento scénář byl uplatňován v případě pilotů, kteří nesplňovali podmínku Nedávné praxe v řádu týdnů. Mezinárodní sdružení leteckých dopravců (IATA) nicméně předpokládalo, že období snížené poptávky po létání bude mít dlouhodobější charakter a stále více pilotů se bude dostávat do situace, kdy sice budou držiteli platné typové kvalifikace, podmínku Nedávné praxe však nebudou splňovat po výrazně delší dobu. Sdružení na základě této úvahy vypracovalo Poradní materiál pro post-covidový restart letecké dopravy [7], ve kterém



navrhuje leteckým provozovatelům strukturu výcviku, který by měl absolvovat pilot po přestávce v létání vynucené omezeními spojenými se šířením nemoci Covid-19.

“Účelem této publikace je poskytnout leteckým provozovatelům a výcvikovým organizacím doporučení pro návrh opakovacího výcvikového kurzu podle zásad výcviku a hodnocení založeného na kompetencích (CBTA) v kontextu post-covidového návratu pilotů do provozu”, uvádí v materiálu IATA [7]. V dokumentu mimo jiné popisuje jiné devět základních pilotních kompetencí uvedených v tabulce 1.1 spolu s návrhem způsobu jejich ověření. Poznámka TA (Trained and Assessed) označuje ty kompetence, které je vhodné cvičit a hodnotit, poznámka SE (Special Emphasis) značí doporučení věnovat dané kompetenci zvláštní pozornost.

Předpokladem je, že opakovací kurz pro dopravní piloty by měl pokrývat pokud možno všechny zmíněné kompetence. Stejně tak předpokládaným výstupem absolvování scénáře tří vzletů a tří přistání na simulátoru bylo obnovit u daného pilota zmíněné kompetence. Nabízí se tak prostor pro experiment, který by zkoumal úroveň vybraných pilotních kompetencí po absolvování zmíněného scénáře.

Tabulka 1.1: Souhrn pilotních kompetencí popsaných sdružením IATA v Poradním materiálu pro post-covidový restart letecké dopravy [7]

Označení	Název kompetence	Ověření
PK0	Aplikování znalostí	TA
PK1	Aplikování procedur a dodržování předpisů	TA - SE
PK2	Komunikace	TA
PK3	Řízení trajektorie letu, automatizace	TA
PK4	Řízení trajektorie letu, manuální řízení letadla	TA - SE
PK5	Vedení lidí a týmová práce	TA
PK6	Řešení problémů a rozhodování	TA
PK7	Situační povědomí a práce s informacemi	TA - SE
PK8	Zvládání pracovní zátěže	TA - SE



Z hlediska praktického provedení se jeví, že schopnost manuálního řízení letadla je možné ověřit na základě provedení letového experimentu a následné analýzy letových dat. IATA tuto kompetenci definuje tak, že pilot “sleduje a detekuje deviace od zamýšlené tratě letu a přijímá nápravná opatření”, “řídí trajektorii letu tak, aby bylo dosaženo bezpečné a optimální provozní výkonnosti” a “manuálně řídí letadlo s přesností a plynulostí podle situace”.

Poradní materiál IATA k licencování a výcviku pilotů v průběhu pandemie Covid-19 [8] dále uvádí, že „piloti mohou mít potíže při řádném vykonávání svých povinností během standardních a nestandardních situací.“ Jako řešení navrhuje alternativní způsoby přezkoušení, které by se měly zaměřovat zejména na teoretické znalosti standardních provozních postupů (SOP) včetně standardních a nestandardních situací. Posouzení schopnosti pilotů aplikovat konkrétní procedury pak lze provést formou testu znalostí SOP.

V otázce manuálního řízení letadla existuje řada publikovaných experimentů a studií, které se na tuto kompetenci zaměřují. Na následujících řádcích se proto pokusím některé z nich představit a zmínit, proč byly důležité při utváření podoby této práce.

1.2 Rešerše dostupných prací

Autoři z Technické univerzity Mnichov a Technické univerzity Berlín v roce 2014 publikovali studii, která hodnotí přesnost manuálního řízení letadla u dvou skupin pilotů s rozdílnou letovou zkušeností [9]. Ta byla na počátku experimentu definována pomocí množství hodin strávených v kokpitu dopravního letadla. Před zahájením experimentu autoři předpokládali, že mezi takto definovanou letovou zkušeností a přesností manuálního letu bude vlivem používání automatizace na palubách dopravních letadel patrná nepřímá úměra.

Měření se účastnilo celkem 57 dopravních pilotů, jejichž úkolem bylo manuálně řídit letadlo a provést postup konečného přiblížení a přistání na simulátoru letounu Airbus, který odpovídal typu, na kterém piloti podstupující experiment létali. Posléze byly vyhodnocovány odchylky od trajektorie definované systémem pro přesné přiblížení a přistání (ILS).

Při vyhodnocování přesnosti a správnosti letu určili její autoři z naměřených dat Relativní střední kvadratickou chybu (RMSE), která je měřítkem odchylky pilota od předepsané



trajektorie letu. Data byla následně podrobena parametrickým i neparametrickým testům, jejichž cílem bylo zjistit, zdali mezi oběma skupinami pilotů existuje statisticky významný rozdíl.

Počátečnímu předpokladu odpovídal i závěr studie, kdy bylo zjištěno, že skupina pilotů s vyšší letovou zkušeností průměrně dosahovala výraznějších odchylek od směrového vedení i sestupové roviny systému ILS ve srovnání se skupinou pilotů s nižší letovou zkušeností.

Z pohledu této diplomové práce je zmíněný experiment důležitý mimo jiné kvůli způsobu vyhodnocování dat a výpočtu hodnoty RMSE. Pro vyhodnocení naměřených dat proto bude použit obdobný přístup, kde hodnota RMSE bude sloužit pro vzájemné porovnání správnosti letu mezi skupinami pilotů.

Na problematiku přesnosti manuálního letu se zaměřuje rovněž experiment zkoumající vztah mezi schopností manuálně řídit letadlo a nedávnou letovou praxí u dopravních pilotů, který byl publikován v roce 2010 autory z Cranfieldské univerzity [10]. V průběhu experimentu mělo celkem 59 pilotů na pohyblivém výcvikovém simulátoru za úkol manuálně řídit letadlo v průběhu úseku středního a konečného přiblížení prováděného pomocí systému pro přesné přiblížení a přistání ILS. Let probíhal v podmínkách letu podle přístrojů (IMC) a kvůli přednastavené nízké základně oblačnosti, která se nacházela pod výškou rozhodnutí (DH), musel pilot provést postup nezdařeného přiblížení. Přínosem zmíněné práce bylo kromě využití průměru z naměřených dat a směrodatné odchylky jako měřítka přesnosti letu rovněž hodnocení frekvence zásahů pilota do řízení. Z naměřených dat byla následně určena souvislost mezi nedávnou letovou zkušeností, frekvencí zásahu pilota do řízení letadla a přesností letu.

Pouze v případě udržování rychlosti byl prokázán statisticky významný rozdíl, kdy piloti s vyšším počtem absolvovaných letů v týdnu před provedením experimentu udržovali rychlost s vyšší směrodatnou odchylkou od průměrné rychlosti. Naproti tomu při vyhodnocování zásahů do řízení byl nalezen statisticky významný rozdíl mezi piloty ve prospěch pilotů s vyšší nedávnou zkušeností. “Piloti, kteří absolvovali více sektorů v týdnu před testováním, vykazovali nižší frekvenci zásahů do řízení okolo příčné osy.” K obdobnému závěru autoři experimentu dospěli i při vyhodnocení zásahů do řízení okolo svislé osy [10].



Omezením při pohledu na závěry studie [10] z hlediska problematiky této diplomové práce je nedávná praxe subjektů podstupujících experiment. Výstupy ze zpracování naměřených letových dat, které s výjimkou směřodatné odchylky u rychlosti letu nenalezly souvislost mezi nedávnou praxí pilota a přesností manuálního letu, byly získány od aktivně působících pilotů. Naproti tomu uvažovaný experiment počítá se zapojením pilotů s několikaměsíční přestávkou v létání.

1.3 Manuální řízení letounu

Práce nalezené v rámci rešerše tématu se soustředily na vyhodnocení přesnosti pilotáže v průběhu letu úseku konečného přiblížení. Tento úsek letu kombinuje vysoké vytížení pilota s nároky na přesnou pilotáž při měnící se konfiguraci letounu. Důvodem pro zaměření se na schopnost pilotů řídit manuálně letadlo mimo jiné v úseku konečného přiblížení je pozornost, jakou této kompetenci věnuje IATA [7] či autoři zmíněných studií [10, 9]. Nejrozšířenějším radionavigačním zařízením umožňujícím provedení přesného přístrojového přiblížení je systém ILS. S jeho využitím je definovaný úsek konečného přiblížení začínající bodem konečného přiblížení (FAP).

“Existují dva způsoby provedení přiblížení podle přístrojů, 2D a 3D. Při 2D přiblížení bude pilotovi zobrazováno pouze směrové vedení, např. ve formě ručičky VOR nebo míry příčné odchylky ILS. 3D přiblížení bude kromě toho poskytovat vertikální vedení ve formě míry vertikální odchylky,” popisuje letecký předpis rozdíly mezi používanými typy přiblížení [11]. Přiblížení pomocí systému pro přesné přiblížení a přistání ILS spadá do kategorie 3D přiblížení, používajících horizontální i vertikální navigační vedení.

Přesná přiblížení pilot provádí do výšky rozhodnutí (DA/DH), která je publikovaná v příslušné mapě konečného přiblížení. Pokud má v okamžiku jejího dosažení dostatečnou vizuální referenci vůči přistávací dráze, pokračuje v přiblížení a s letadlem přistává. Pokud nemá v okamžiku jejího dosažení dostatečnou vizuální referenci vůči přistávací dráze, zahajuje postup nezdařeného přiblížení [11].



Pro provedení přesného přiblížení a přistání pomocí systému ILS musí být letoun vybaven palubním systémem indikujícím polohu letadla vůči sestupové a kurzové rovině. Tato indikace je na palubě letounu Boeing 737NG zobrazena na primárním letovém displeji (PFD) prostřednictvím růžových symbolů ve tvaru kosočtverce (ukazatel).

Pro indikaci odchylky ve vertikální rovině, tedy vůči sestupové rovině (Glideslope, GS), se ukazatel vychyluje nahoru a dolů vůči střední poloze, přičemž vzdálenost od střední polohy je definovaná pomocí bílých teček. Maximální indikovaná výchylka nastane ve chvíli, kdy ukazatel dosáhne polohy druhé tečky. Pro indikaci odchylky v horizontální rovině, tedy vůči kurzovému vedení (Localizer, LOC), se ukazatel vychyluje doleva a doprava vůči střední poloze, přičemž vzdálenost od střední polohy je definovaná pomocí bílých teček. Maximální indikovaná výchylka nastane ve chvíli, kdy ukazatel dosáhne polohy druhé tečky.

Díky kontinuální indikaci polohy letadla vůči trajektorii konečného přiblížení je pilot schopný provádět průběžné zásahy do řízení tak, aby udržoval ukazatele kurzové i sestupové roviny co nejbližší střední poloze indikace. Jelikož palubní indikace vychází z rozdílu hloubky modulace signálů vysílaných pozemními majáky, není možné vztáhnout výchylku v podobě teček ke konkrétní úhlové odchylce od ideální trajektorie.

S klesající vzdáleností k prahu dráhy narůstá citlivost indikace. Náročnost udržovat letadlo na ideální trajektorii tak postupně narůstá a odchylky od ní jsou měřítkem schopnosti pilota manuálně řídit letadlo. Je proto důležité tuto schopnost hodnotit a hledat faktory, které ji mohou negativně ovlivňovat. Kromě dříve citovaných studií se jí věnují rovněž letecké úřady, které publikovaly řadu materiálů týkajících se manuálního řízení letadla.

Příkladem může být Evropská agentura pro bezpečnost letectví (EASA) či Federální letecký úřad (FAA). Obě organizace ve svých materiálech zdůrazňují důležitost toho, aby letecké společnosti dbaly na udržování dostatečné zkušenosti s manuálním řízením letadla u svých pilotů. EASA ve svém informačním bulletinu [12] zmiňuje, že ačkoli automatizace “snižuje pracovní zátěž a umožňuje posádce věnovat více pozornosti monitorování systému a udržování si situačního povědomí,” tak na druhou stranu “nepřispívá tomu, aby si piloti udržovali své návyky spojené s manuálním řízením letadla.”



Tímto bulletinem agentura leteckým provozovatelům připomíná důležitost zařazení důrazu na manuální létání v pravidelných opakovacích cvičeních na simulátoru a, po uvážení aktuální provozní situace, rovněž do běžného provozu. EASA dále doporučuje, aby “provozovatelé rovněž využili Systém řízení bezpečnosti (SMS) a systémy pro Sledování letových dat (FDM) ke sledování počtu případů, kdy dojde k odchýlení se od průměrné přesnosti letu včetně absolutní hodnoty odchylek, případně detekování dalších opakujících se vzorců nepřesností, aby byli schopni zvážit výhody a nevýhody zavedení důrazu na manuální létání.”

Obdobný materiál vydal roku 2013 FAA [13]. Zdůrazňuje, že pro řízení moderních dopravních letadel využívají jejich piloti ve značné míře systémy automatického řízení letu, jako je systém autopilota či systém automatického řízení tahu motorů (autothrottle). “Nicméně”, dodává dále dokument FAA, “kontinuální využívání systémů automatického řízení letu by mohlo vést k postupnému snižování schopnosti pilota převzít kontrolu nad řízením letadla ve chvíli, kdy se ocitne v nežádoucím stavu.”

Letecké společnosti tak musí hledat rovnováhu mezi dvěma požadavky, tedy umožnit pilotům trénink manuálního řízení letadla a dbát na maximální ekonomičnost provozu. Mnohdy se však může jednat o protichůdné požadavky. Z hlediska ekonomiky letu je totiž žádoucí maximální zapojení automatizace, která je tak nedílnou součástí vybavení dnešních dopravních letadel. “Na jednu stranu je kladen důraz na pravidelný trénink manuálního létání, na druhou stranu však existuje snaha snižovat počet hodin, které musí v rámci výcviku pilot absolvovat při přeškolení se na nový typ letadla”, uvádí autoři studie zkoumající přesnost manuálního letu pilotů s rozdílnou letovou zkušeností [9]. Příkladem může být původní osnova přeškolení držitelů typové kvalifikace na letoun Boeing 737NG na model 737 MAX, která předpokládala pouze teoretickou část bez povinného letu na simulátoru. Po uzemnění letadel 737 MAX následkem dvou nehod byly přepracovány rovněž výcvikové osnovy, které nyní v rámci přeškolení předpokládají absolvování výcvikového programu na simulátoru letounu 737 MAX [14].

Schopnost pilota manuálně řídit letadlo se pak jeví jako poslední úroveň, která má zaručit bezpečnost letu při selhání automatizace na palubě letadla [9]. Příkladem nehody,



kdy posádka nebyla schopna úspěšně převzít kontrolu nad letounem, je průběh letu Air France 447. Vlivem vniknutí ledových krystalů do snímače tlaku vzduchu došlo k rozdílné indikaci rychlosti letu na primárních letových displejích pilotů. Pilot následně nesprávně zvyšoval úhel náběhu letadla, které vlivem snižující se rychlosti letu přešlo do klesání, přičemž posádka nebyla schopna získat zpět kontrolu nad letounem [15].

Manuální řízení letounu pilota provází od počátku jeho letecké kariéry. Jak ukázala zmíněná studie [9], vzrůstající letová praxe pilota je vlivem využívání automatických palubních systémů dopravního letadla nepřímo úměrná jeho schopnosti přesného manuálního letu. Letecké úřady se z toho důvodu zaměřují i na oblast součinnosti mezi těmito systémy a piloty dopravních letadel.

Příkladem je EASA a její dokument Automation Policy [15]. Při hodnocení dopadu automatizace v kokpitech moderních dopravních letadel nastiňuje, že “dnešní generace pilotů může postrádat základní letové dovednosti ve chvíli, kdy se automatika odpojí nebo selže, nebo když je potřeba snížit úroveň automatizace.”

Příkladem letecké nehody zahrnující spoléhání se posádky na automatické systémy je nehoda letu Air Asiana 214 z roku 2013. Boeing 777 prováděl přiblížení na přistání na Mezinárodním letišti San Francisco. Při zahájení konečného přiblížení pilot předpokládal, že systém automatického řízení tahu pracuje v režimu udržování předepsané rychlosti. Systém ovšem ve skutečnosti udržoval stálý tah motorů, který však nebyl dostatečný pro danou fázi letu. Letoun postupně ztrácel rychlost a, jelikož posádka nedokázala včas zareagovat na nebezpečně nízkou rychlost, havaroval krátce před prahem dráhy. Z vyšetřovací zprávy [16] vyplynulo, že pravděpodobnou příčinou nehody bylo mimo jiné “nedostatečná kontrola rychlosti ze strany letové posádky a pozdní zahájení postupu nezdařeného přiblížení ve chvíli, kdy si posádka uvědomila, že se letadlo nachází mimo povolené odchylky od sestupové roviny a optimální rychlosti přiblížení.” Jedním z doporučení závěrečné vyšetřovací zprávy bylo, aby piloti dotčené letecké společnosti dostávali více příležitostí k tréninku svých schopností manuálně řídit letadlo.

Kombinaci nesprávného řízení letadla a omezené letové praxe v posledním období jako pravděpodobné příčiny letecké nehody nastiňuje předběžná zpráva z vyšetřování nehody letu



PK8303 společnosti Pakistan International Airlines z 22. května 2020 [17]. Ve vzdálenosti 15 nm od prahu dráhy 25L Mezinárodního letiště Džinnáh v pákistánském Karáčí se letadlo nacházelo ve výšce 9 780 ft a letělo rychlostí 245 kt, uvádí předběžná zpráva. Ideálnímu profilu konečného přiblížení v uvedené vzdálenosti odpovídala výška přibližně 4 500 ft, pilot letadla se proto rozhodl odpojit systém autopilota a řídit letadlo manuálně. Pro urychlení klesání posádka ve vzdálenosti 10.5 NM od prahu dráhy ve výšce 7 221 ft vysunula podvozek letounu, nereagovala však na opakované výzvy řídicího letového provozu k provedení 360° zatáčky s cílem sklesat přebytečnou výšku. Ve vzdálenosti 5 nm od prahu dráhy, po dosažení sestupové roviny konečného přiblížení, posádka zasunula podvozek letounu a při rychlosti 243 kt začala vysunovat vztlakové klapky na odtokových hranách křídel. Navzdory mnoha varováním automatických palubních systémů týkajících se nesprávné konfigurace letounu posádka dosedla na vzletovou a přistávací dráhu na motorové gondoly, aktivovala zpětný chod motorů a začala manuálně brzdit. Po uvědomění si nestandardní situace se piloti letadla rozhodli pro zahájení postupu nezdařeného přiblížení, zvýšili výkon motorů a začali s letounem stoupat. Vlivem nastalého poškození motorů však v průběhu opakovaného přiblížení obě pohonné jednotky selhaly a letadlo havarovalo přibližně 3 km před prahem dráhy 25L.

O důležitosti schopnosti manuálně řídit letadlo svědčí i nehoda letounu Boeing 737-800, ke které došlo 19.3.2016 v Rostově na Donu. Posádka letadla po neúspěšném pokusu o přistání v 01:41 hodin místního času vyčkávala po dobu téměř 2 hodin nad letištěm, načež se pokusila v nepříznivých meteorologických podmínkách o opakované přiblížení. Vlivem nízké základny oblačnosti a větru dosahujícího v nárazech rychlosti až 80 km/h však nebyla schopna přistát ani při druhém přiblížení a zahájila postup nezdařeného přiblížení. Ze závěrečné vyšetřovací zprávy [18] vyplývá, že pravděpodobnou příčinou následné havárie letadla byla kombinace “nesprávně zvolené konfigurace letadla, zásahů do řízení ze strany pilota a ztráty situačního povědomí při nočním letu v podmínkách letu podle přístrojů (IMC). Nehoda je klasifikována jako ztráta řízení za letu (LOC-I).”

Kategorizace nejpravděpodobnější příčiny letecké nehody je jedním ze závěrů vyšetřování leteckých nehod. Na základě počtu obětí konkrétních nehod, pravděpodobnosti ztráty života v jejím případě či prostřednictvím proaktivního a reaktivního sběru informací



identifikovala ICAO pět kategorií příčin leteckých nehod s vysokým rizikem, které zahrnuje do Bezpečnostního plánu globálního letectví (GASP) pro období mezi lety 2020 - 2022 [19]. Jednou z identifikovaných příčin je Ztráta řízení za letu (Loss of Control In-flight, LOC-I). Podle dokumentu IATA došlo důsledkem LOC-I za období mezi lety 2009 - 2018 k více ztrátám na životech než důsledkem nehod spadajících do kterékoli jiné kategorie [20]. Jedním ze způsobů snížení rizika ztráty řízení letadla za letu je požadavek, aby piloti dopravních letadel absolvovali výcvik vybírání nezvyklých poloh (UPRT) při opakovacích přezkoušeních pro prodloužení platnosti typové kvalifikace na příslušný typ letounu [21], který vešel v platnost v roce 2019. Příkladem nehody, již podle závěrečné vyšetřovací zprávy [15] s největší pravděpodobností předcházela ztráta řízení letadla za letu, je popsána havárie letu Air France 447.

Jednou z identifikovaných příčin ztráty kontroly nad řízením jsou “nedostatečné schopnosti řídit letadlo manuálně”. Jak ovšem uvádí dokument IATA, příčinou ztráty kontroly nad letadlem není vždy neschopnost řídit letadlo manuálně, ale “opožděné, případně zcela chybějící rozhodnutí letadlo manuálně řídit.” [20]

1.4 Limitace současného stavu, cíl práce a hypotézy

Studie zmíněné v rámci rešerše měly společný cíl, a sice posouzení schopností dopravních pilotů manuálně řídit letadlo. Všechny se však zaměřovaly na aktivně působící piloty, nikoli na piloty, kteří vlivem vnějších okolností nemohou po dobu mnoha měsíců vykonávat svou profesi. Z toho důvodu se domnívám, že má smysl pokusit se vyhodnotit úroveň přesnosti manuálního řízení letadla u skupiny pilotů po přestávce v létání a porovnat ji s přesností dosud aktivně působících pilotů. Za tímto účelem bude proveden experiment na simulátoru letounu Boeing 737NG. Cílem práce je říci, jestli piloti navzdory přestávce v létání dokáží po absolvování tří vzletů a tří přistání dosáhnout shodné míry přesnosti pilotáže ve srovnání s piloty, kteří dosud aktivně působí v roli člena letové posádky dopravního letadla.

Před zahájením experimentu byly definovány následující hypotézy:



- Mezi skupinami pilotů bude existovat statisticky významný rozdíl ve správnosti a přesnosti manuálního provedení vybraných letových manévrů letu ve prospěch skupiny dosud aktivně působících pilotů.
- Mezi skupinami pilotů bude existovat statisticky významný rozdíl ve správnosti a přesnosti manuálního letu v úseku konečného přiblížení v úseku konečného přiblížení ve prospěch skupiny dosud aktivně působících pilotů.
- Piloti dosud aktivně působící budou subjektivně vnímat nižší úroveň zátěže v průběhu letu na simulátoru.
- Piloti dosud aktivně působící dosáhnou vyšší úspěšnosti v testu znalostí standardních provozních postupů ve srovnání s piloty s přestávkou v létání.



2 Metodika

Pro dosažení definovaného cíle práce a ověření platností hypotéz byl na Ústavu letecké dopravy, Fakulty dopravní, ČVUT v Praze proveden experiment na simulátoru letounu Boeing 737NG s dopravními piloty s platnou typovou kvalifikací na zmíněný typ letounu. V rámci něj byli piloti rozděleni do dvou skupin podle toho, zdali v době konání experimentu splňovali podmínku “Nedávné praxe” (Recent experience). Piloti s nedostatečným náletem nejprve absolvovali scénář tří vzletů a tří přistání, po němž následovala vyhodnocovaná část letu na simulátoru shodná pro obě skupiny pilotů. Cílem bylo určit, zda bude mezi oběma skupinami pilotů existovat statisticky významný rozdíl ve správnosti a přesnosti manuálního letu. Následně piloti vyplnili test zaměřený na úroveň znalostí SOP a dotazník NASA Task Load Index zkoumající úroveň subjektivně vnímané úrovně zátěže.

2.1 Subjekty

Pro zařazení do studie, popis a kategorizaci pilotů byl využit Všeobecný dotazník, který je přílohou této práce. Zaměřen byl zejména na celkový nálet subjektů, nálet na letounu Boeing 737NG / MAX8 a na nálet v posledním období, případně kdy naposledy absolvovali let na letounu Boeing 737. Jednou z otázek rovněž bylo, zdali subjekt v současné době působí jako instruktor létání, neboť i to by mohlo hrát roli v případě hodnocení manuálních pilotních dovedností.

Piloti byli rozřazeni do dvou skupin, přičemž všichni piloti, kteří se účastnili experimentu, měli v době jeho konání platnou typovou kvalifikaci na letoun B737. První skupina byla označena jako „s1“ a jednalo se o skupinu pilotů, kteří nesplňovali podmínky “Nedávné praxe”, tedy že za období posledních 90 dnů neabsolvovali alespoň tři vzlety a tři přistání v roli pilota letícího na letounu B737. Druhá skupina pilotů byla označena jako „s2“ a jednalo se o skupinu pilotů, kteří splňovali podmínky “Nedávné praxe”, tedy že za období posledních 90 dnů absolvovali alespoň tři vzlety a tři přistání v roli pilota letícího na letounu B737. Celkově bylo do studie zahrnuto 34 pilotů s rovnoměrným rozdělením mezi jednotlivé skupiny.



Z vyhodnocení všeobecných dotazníků získaných od jednotlivých subjektů vyplynulo, že průměrný celkový nálet pilotů skupiny s1 byl 1 380 hodin a průměrný celkový nálet pilotů skupiny s2 byl 3 030 hodin. Nálet na letounu B737 pak byl určen jako 700 hodin ku 2 240 hodinám ve prospěch pilotů skupiny s2. Celkem šest pilotů skupiny s1 uvedlo, že v současné době působí jako instruktoři létání, přičemž jejich průměrný nálet v období od jara 2020 do února 2021 činil 150 hodin. Čtyři piloti skupiny s2 působí rovněž jako instruktor létání a jeho nálet za stejné období představoval 230 hodin. Průměrný věk pilotů z obou skupin je srovnatelný, v případě skupiny 1 představoval 28.7 let, u skupiny s2 pak 32.4 roku. Porovnání skupin vzhledem k jejich náletům je předmětem je uvedeno v kapitole 3 Výsledky.

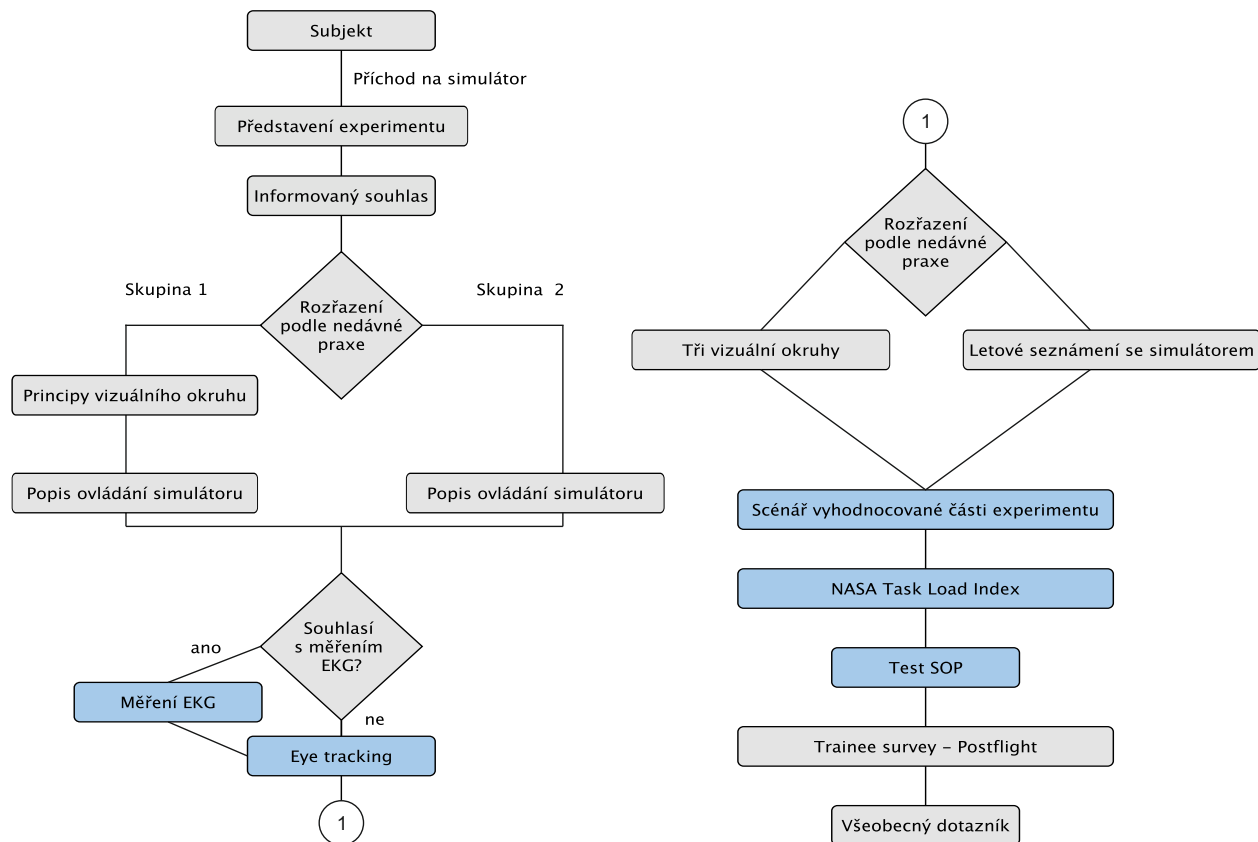
Všichni piloti účastníci se experimentu byli informováni o výzkumných aktivitách a podepsali informovaný souhlas. Charakter experimentu, zpracování osobních údajů a veškeré náležitosti vycházející z výzkumu zahrnujícího živé subjekty byly v souladu s Helsinskou deklarací [22] a podléhaly schválení etické komise ČVUT pod jednacím číslem 0000-03/20/51902/EKČVUT. Bližší specifikace a konkretizace experimentu je předmětem následující kapitoly.

2.2 Průběh experimentu

Experiment probíhal v prostředí simulátoru X-Plane 11 Flight Simulator na letounu Boeing 737NG. Pro zajištění maximální věrohodnosti simulace byla při jeho průběhu využita virtuální realita umožněná brýlemi FOVE VR se schopností zaznamenávat pohyb očí (eye tracking). Na základě souhlasu subjektu probíhalo rovněž snímání srdeční aktivity pomocí elektrokardiografu. Po ukončení letové části vyplnil subjekt elektronickou verzi dotazníku NASA Task Load Index zkoumající míru subjektivně vnímané zátěže v průběhu letu. Následně vyplnil test zaměřující se na znalost standardních provozních postupů, všeobecný dotazník a do formuláře (Trainee survey - postflight) napsal případné poznámky k průběhu experimentu či technickému vybavení.

Veškeré formuláře jsou k dispozici jako příloha této práce. Graficky je průběh experimentu zobrazen pomocí vývojového diagramu na obrázku 2.1, kde jsou modrou barvou zvýrazněny

parametry, které byly měřeny, uchovávány, a které mohou sloužit k pozdějšímu vyhodnocení. Zmíněný vývojový diagram popisující průběhu experimentu se skládá z jednotlivých kroků, které jsou dále samostatně rozepsány.



Obrázek 2.1: Chronologické znázornění průběhu experimentu na simulátoru pomocí vývojového diagramu

Subjekt: Pro účely experimentu byli vybíráni piloti, kteří byli toho času držiteli platné typové kvalifikace na Boeing 737NG a působili v roli druhého pilota (First Officer).

Představení experimentu: Po příchodu k simulátoru byl každému subjektu popsán zamýšlený způsob provedení experimentu. Piloti obdrželi základní informace, jakými jsou:

- Subjekt v průběhu experimentu zaujímal roli pilota letícího ve dvoučlenné letové posádce dopravního letadla Boeing 737 NG. .



- Roli pilota monitorujícího zastával instruktor, který ho zároveň experimentem provázel.
- Od subjektu se očekávalo provádění předepsaných manévrů a vyplnění potřebných dotazníků po jeho ukončení.
- Let probíhal bez navigačního vedení na primárním letovém displeji (flight director) a bez asistence systému automatického řízení výkonu motorů (autothrottle).

Informovaný souhlas: Každý subjekt byl před zahájením experimentu dotázán, zdali souhlasí s nahráváním jeho anonymizovaných letových dat, dat týkajících se snímání pohybu očí (eye tracking), snímáním srdeční činnosti pomocí elektrokardiografu a uchováváním testů a dotazníků vyplněných po ukončení letové části experimentu. Svůj souhlas vyjádřil podpisem formuláře informovaného souhlasu.

Nedávná praxe: Piloti byli rozřazeni do skupin podle toho, jestli v době konání experimentu splňovali podmínku “Nedávné praxe”. Pro další práci s daty tvořili piloti nespňující podmínku “Nedávné praxe” skupinu s1, piloti splňující tuto podmínku pak spadali do skupiny s2.

Principy vizuálního okruhu: Před zahájením simulace obdržel každý subjekt spadající do skupiny s1 instruktáž týkající se principů provádění vizuálního letu po letištním okruhu, přiblížení a přistání. Poskytnuté informace vycházely z výcvikového manuálu Flight Crew Training Manual společnosti Boeing pro letoun B737 NG [23] a jejich souhrn je přiložen k této práci.

Popis ovládní simulátoru: Po usazení pilota do simulátoru byl každému pilotovi popsán způsob ovládní simulátoru, uchycení brýlí virtuální reality a možné přízpůsobení pohledu. Před započítím měření bylo potřeba ověřit, že ani technologie VR ani jiné komponenty simulátoru nebudou mít negativní vliv na průběh měření.

Měření EKG: Se souhlasem subjektu byl v průběhu experimentu snímán a ukládán průběh jeho srdeční činnosti. Dělo se tak pomocí snímačů umístěných na přední části těla



subjektu, které pomocí vodičů přenášely signál do softwaru v počítači. Před započítím měření bylo potřeba ověřit, že snímače EKG ani napojené vodiče nebudou negativně ovlivňovat průběh experimentu či jakkoli zkreslovat výsledek měření. Data EKG byla v použitelné podobě získána pouze u 10 subjektů a nebudou proto součástí vyhodnocení této práce.

EYE tracking: Zaznamenávání pohybu očí bylo prováděno pomocí brýlí FOVE VR, díky čemuž měření pohybu očí žádným způsobem neovlivňovalo pilota v průběhu experimentu. Naměřená data mohou sloužit k budoucímu vyhodnocení rozdělení pozornosti pilotů v průběhu letových manévrů a úseku konečného přiblížení. Kombinací chyb při obsluze softwaru zaznamenávajícího data, obtížemi s nastavováním technologie a nemožností použít brýle VR u člověka nosícího dioptrické brýle byla data o pohybu očí získána u 20 subjektů a nebudou součástí vyhodnocení této práce.

Tři vizuální okruhy: Skupina pilotů nesplňujících podmínky “Nedávné praxe” absolvovala před započítím vyhodnocované části letu tři vizuální okruhy. Účelem těchto okruhů bylo splnit u daného subjektu podmínku “Nedávné praxe” a jejich průběh odpovídal postupu aplikovaném vybranou leteckou společností.

Vizuální okruhy byly prováděny na Letišti Václava Havla Praha, přičemž výchozí polohou byl práh dráhy 24. Jelikož se pilot nacházel v prostředí virtuální reality, nebyl schopen samostatně měnit konfiguraci letadla či vkládat data do palubního počítače (Flight Management Computer, FMC), tuto činnost proto prováděl instruktor. Pilot měl dostatek času k vlastní dodatečné přípravě letadla, před vzletem byly přečteny kontrolní seznamy význačných prvků, tzv. checklisty. Provedení vizuálního okruhu záviselo na uvážení subjektu, musel však po dobu letu splňovat principy vizuálního okruhu.

Výchozí nastavení letadla bylo určeno pro všechny subjekty shodně, kdy hmotnost letounu bez paliva (Zero Fuel Weight, ZFW) byla 48 000 kg a množství paliva na palubě bylo 7 000 kg. Díky tomu byla vzletová hmotnost letadla na počátku experimentu 55 000 kg. Vzlet i větší část letu po okruhu byl provedeny se vztlakovými klapkami v poloze 5°. Meteorologické podmínky odpovídaly scénáři uplatňovaném vybranou leteckou



společností, kdy mezi okruhy docházelo ke změně dohlednosti a denní doby. Více jsou rozepsány v tabulce 2.1.

Úkolem subjektu bylo s letounem odstartovat, za doporučeného dodržování standardní frazeologie, postupů a vizuálního kontaktu se vzletovou a přistávací dráhou absolvovat okruh okolo letiště a přistát na dráze shodné s dráhou použitou pro vzlet. Principy vizuálního okruhu zmíněné před zahájením letu byly prezentovány jako doporučení pro provedení letu, nebyly však povinné.

Tabulka 2.1: Meteorologické podmínky při provádění tří vzletů a tří přistání formou letů po letištním okruhu, kterými pilot splnil podmínku “Nedávné praxe”.

Okruh	Denní doba	Vítr	Dohlednost	Oblačnost	Teplota	Tlak
1.	den	bezvětrí	>10 km	CAVOK	13°C	1013 hPa
2.	den	bezvětrí	8 km	Broken 2300 ft	13°C	1013 hPa
3.	noc	bezvětrí	>10 km	CAVOK	13°C	1013 hPa

Letové seznámení se simulátorem: Piloti splňující kritérium “Nedávné praxe” neabsolvovali před započítáním měřené části experimentu tři vizuální okruhy. Z toho důvodu dostali prostor pro vyzkoušení si ovládání simulátoru, citlivosti řízení a jeho reakcí. Cílem bylo, aby byla minimalizována chyba pilotáže způsobená rozdílností mezi řízením simulátoru a skutečného letadla.

Scénář vyhodnocované části simulátoru: Vyhodnocovaná část letu na simulátoru obsahovala dvě fáze, přičemž obě se zaměřovaly na správnost a přesnost pilotáže. První předpokládala provádění stanovených letových manévřů, které zahrnovaly udržování výšky, kurzu a rychlosti letu, případně jejich změnu. Ve druhé fázi letu bylo úkolem subjektu zaletět úsek středního a konečného přiblížení pomocí pozemního zařízení ILS sloužícího k přesnému přiblížení a přistání na zvolenou dráhu. Bližší popis vyhodnocované části experimentu je uveden v kapitole 2.3.



NASA Task Load Index: Pro účely hodnocení subjektivně vnímané úrovně zátěže vyplnil pilot po ukončení letové části experimentu dotazník NASA TLx. Více je tento dotazník popsán v konkrétních dokumentech [24, 25] a kapitole 2.3.

Test SOP: Mezinárodní sdružení leteckých dopravců IATA ve svém dokumentu [7] popisujícím systém výcviku po opětovném nárůstu dopravy po pandemii Covid-19 uvádí devět pilotních kompetencí, z nichž dvě kombinují znalost a schopnost aplikace procedur. Část experimentu se proto zaměřovala na zmíněné kompetence. Po ukončení letové části experimentu byl každý subjekt požádán o vyplnění testu zkoumajícího znalost vybraných Standardních provozních postupů (SOP). Bližší popis testu zaměřeného na znalost SOP je předmětem kapitoly 2.3.

Trainee survey - postflight: V dotazníku mohl každý subjekt uvést jakékoli připomínky k průběhu experimentu, technologickému vybavení, kvalitě simulace či věrohodnosti ovládání letounu, stejně jako k požadovaným úkonům nebo tempu experimentu. Jeho účelem bylo dát subjektu prostor k uvedení poznámky, pokud cítil, že by jakýkoliv aspekt experimentu mohl pozitivně či negativně ovlivnit jeho výkon. Tento dotazník nebyl předmětem hlubšího hodnocení, poskytl však informace k limitacím práce. Trainee survey - postflight dotazník je uveden v příloze této práce.

Všeobecný dotazník: Cílem Všeobecného dotazníku bylo zjistit celkové letové zkušenosti daného pilota a případnou dobu od jeho posledního letu v roli druhého pilot v obchodní letecké dopravě na letounu B737NG. Jednou z otázek bylo, zdali subjekt působí jako instruktor létání. Všeobecný dotazník je uvedený v příloze této práce.

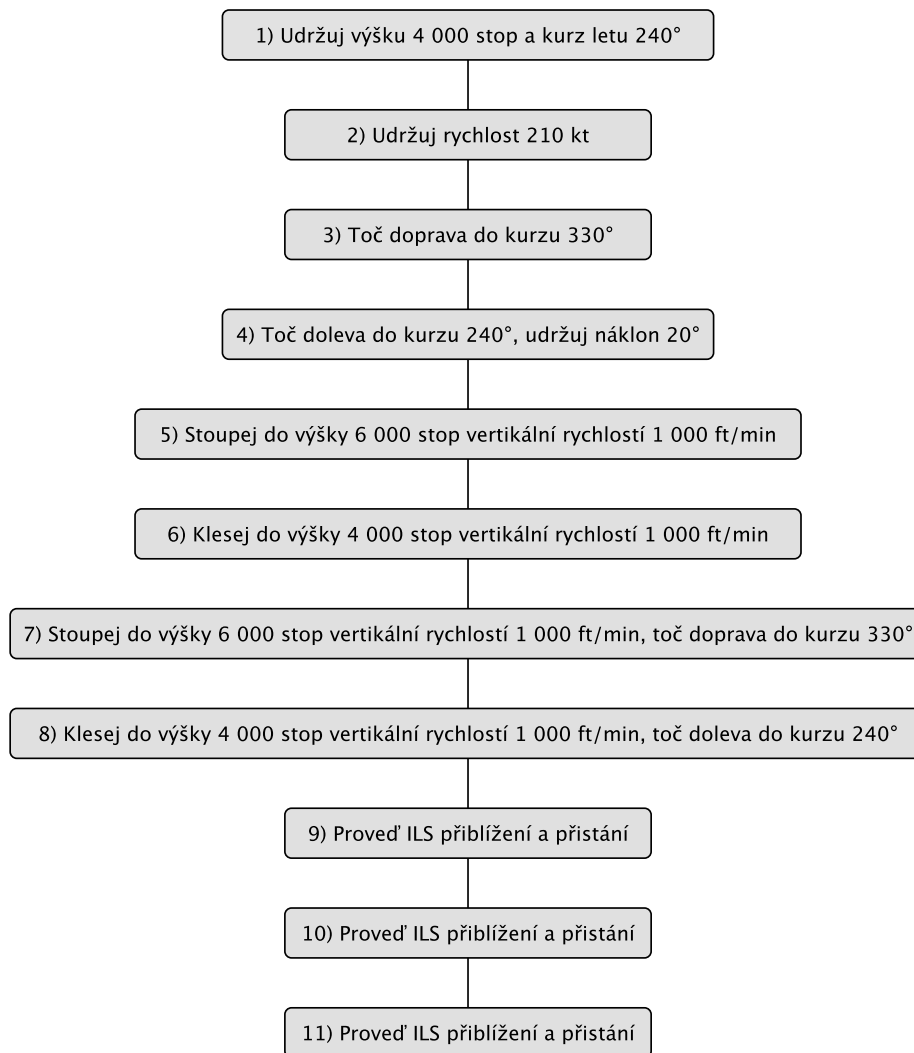
2.3 Sběr a předzpracování dat

Jak bylo zmíněno v předcházejících částech této práce, ne všechna zaznamenaná data byla následně hodnocena s účelem odpovědět na stanovené hypotézy. Tato kapitola se proto zaměří na popis sběru a předzpracování dat, které byly následně použity pro kvantitativní analýzu.



2.3.1 Hodnocení pilotáže

Jak je zmíněno výše, vyhodnocovaná část letu se skládala ze dvou fází, které byly následně předmětem hodnocení. První fáze se zaměřovala na provedení specifické, předdefinované série letových manévřů. Druhá část byla zaměřená na hodnocení přesnosti provedení přiblížení pomocí systému ILS. Sběr letových dat probíhal prostřednictvím softwaru simulátoru X-Plane 11 Flight Simulator, na kterém se experiment odehrával. Struktura dat měla charakter matice uchovávající data z přibližně 600 sledovaných parametrů se vzorkovací frekvencí 5 Hz.



Obrázek 2.2: Chronologická souslednost úkonů v rámci vyhodnocované části experimentu



Pro účely hodnocení nebyly využity všechny zaznamenávané údaje. Vybrány byly pouze vhodné pro hodnocení přesnosti v jednotlivých fázích letu. Chronologická posloupnost jednotlivých úkonů letové části experimentu je znázorněna na obrázku 2.2.

U každého úkonu byla hodnocena přesnost a správnost jeho provedení na základě charakteristických letových dat. Těmi byly kurz, výška, rychlost, náklon a vertikální rychlost. Instrukce a záměr byly pro jednotlivé úkony následující:

Úkon č. 1

- Instrukce: Udržuj výšku 4000 ft a kurz 240°
- Záměrem úkonu bylo zjistit, s jakými odchylkami je pilot schopný udržovat dva zadané parametry, tedy výšku a směr letu. Vyhodnocovanými parametry byla odchylka od předepsané výšky a odchylka od předepsaného kurzu.

Úkon č. 2

- Instrukce: Udržuj rychlost 210 kt.
- Záměrem úkonu bylo zjistit, s jakými odchylkami je pilot schopný udržovat tři zadané parametry, tedy výšku, směr a rychlost letu ve chvíli, kdy je letadlo ve stabilizované poloze v horizontálním letu. Vyhodnocovanými parametry byla odchylka od předepsané výšky, odchylka od předepsaného kurzu a odchylka od předepsané rychlosti.

Úkon č. 3

- Instrukce: Toč doprava do kurzu 330°.
- Záměrem úkonu bylo zjistit, s jakými odchylkami je pilot schopný udržovat dva zadané parametry, tedy výšku a rychlost letu ve chvíli, kdy letadlo není ve stabilizované poloze. Vyhodnocovanými parametry byly odchylka od předepsané výšky, odchylka od předepsané rychlosti a přesnost dotočení do stanoveného kurzu.



Úkon č. 4

- Instrukce: Toč doleva do kurzu 240° , udržuj náklon 20° .
- Záměrem úkonu bylo zjistit, s jakými odchylkami je pilot schopný udržovat tři zadané parametry, tedy výšku, rychlost letu a náklon ve chvíli, kdy letadlo není ve stabilizované poloze. Vyhodnocovanými parametry byly odchylky od předepsané výšky, rychlosti a náklonu a přesnost dotočení do stanoveného kurzu.

Úkon č. 5

- Instrukce: Stoupej do výšky 6 000 ft vertikální rychlostí 1 000 ft/min.
- Záměrem úkonu bylo zjistit, s jakými odchylkami je pilot schopný udržovat tři zadané parametry, tedy kurz, rychlost a vertikální rychlost ve chvíli, kdy letadlo není ve stabilizované poloze. Vyhodnocovanými parametry byly odchylky od předepsaného kurzu, rychlosti a vertikální rychlosti a přesnost dosažení výšky 6 000 ft.

Úkon č. 6

- Instrukce: Klesej do výšky 4 000 ft vertikální rychlostí 1 000 ft/min.
- Záměrem úkonu bylo zjistit, s jakými odchylkami je pilot schopný udržovat tři zadané parametry, tedy kurz, rychlost a vertikální rychlost ve chvíli, kdy letadlo není ve stabilizované poloze. Vyhodnocovanými parametry byly odchylky od předepsaného kurzu, rychlosti a vertikální rychlosti a přesnost dosažení výšky 4 000 ft.

Úkon č. 7

- Instrukce: Stoupej do výšky 6 000 ft vertikální rychlostí 1 000 ft/min, toč doprava do kurzu 330° .
- Záměrem úkonu bylo zjistit, s jakými odchylkami je pilot schopný udržovat předepsanou rychlost a vertikální rychlost v kombinaci se zatáčením do kurzu. Vyhodnocovanými parametry byly odchylky od předepsané rychlosti, vertikální rychlosti, přesnost dotočení do stanoveného kurzu a dostoupání do zadané výšky.



Úkon č. 8

- Instrukce: Klesej do výšky 4 000 ft vertikální rychlostí 1 000 ft/min, toč doleva do kurzu 240°.
- Záměrem úkonu bylo zjistit, s jakými odchylkami je pilot schopný udržovat předepsanou rychlost a vertikální rychlost v kombinaci se zatáčením do kurzu. Vyhodnocovanými parametry byly odchylky od předepsané rychlosti, vertikální rychlosti, přesnost dotočení do stanoveného kurzu a dostoupaní do zadané výšky.

Úkon č. 9

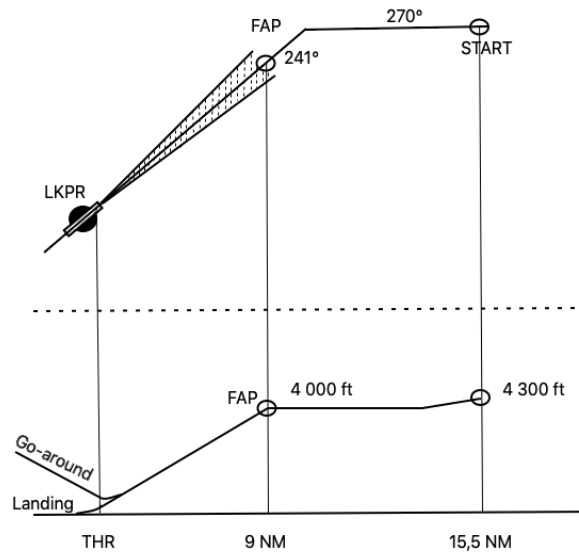
- Instrukce: Proved' ILS přiblížení a přistání.
- Záměrem úkonu bylo zjistit, s jakými odchylkami je pilot schopný zaletět ILS přiblížení bez letové povelové indikace (flight director) na primárním letovém displeji za meteorologických podmínek pro let za viditelnosti (VMC).

Úkon č. 10 a 11

- Instrukce: Proved' ILS přiblížení a přistání.
- Záměrem úkonu bylo zjistit, s jakými odchylkami je pilot schopný zaletět ILS přiblížení bez letové povelové indikace (flight director) na primárním letovém displeji za meteorologických podmínek pro let podle přístrojů (IMC).

Na obrázku 2.3 je zakreslený horizontální a vertikální profil středního a konečného přiblížení, jak bylo úkolem pilota jej zaletět v úkonech 9 - 11.

Z výše uvedeného popisu vyplývá, že před samotnou statistickou analýzou bylo pro vyhodnocení jednotlivých úkonů potřebné v matici zaznamenaných dat označit ty úseky, které se vztahovaly ke konkrétnímu úkonu. Předzpracování dat spočívalo právě ve vytvoření datových vektorů, které byly následně zpracovány v prostředí Matlab. Na základě těchto vektorů pak byla určována správnost a přesnost provádění požadovaných letových manévřů. Technická norma ČSN ISO 5725 definuje přesnost pomocí dvou pojmů, a sice pomocí



Obrázek 2.3: Horizontální a vertikální profil úseku středního a konečného přiblížení

“správnosti” (těsnosti shody střední hodnoty velkého počtu výsledků zkoušek a referenční hodnoty), a “shodnosti” resp. “přesnosti” (těsnosti shody mezi výsledky zkoušek).

Ačkoli může často docházet k zaměňování významu pojmů správnost a přesnost, pro účely této práce je potřeba mezi nimi rozlišovat. Na příkladu vyhodnocovaných dat můžeme říci, že správnost (accuracy) je vyjádřením odchylky naměřených dat od požadované hodnoty [26]. Je tedy vyjádřením blízkosti naměřených hodnot a požadovaných hodnot. Naproti tomu shodnost / přesnost (precision) je parametr, který popisuje odlehlost mezi jednotlivými výsledky získanými v rámci konkrétního měření. Můžeme tedy uvažovat měření, kde získaná data nejsou správná, ale jsou přesná. Bude-li úkolem pilota udržovat konstantní výšku 4 000 ft a naměřená data se budou pohybovat v rozmezí hodnot 4 090 ft až 4 100 ft, bude možné říct, že pilot sice neletěl správně, avšak letěl přesně. Pro další účely této práce bude termín přesnost používán jako synonymum shodnosti.

Pro účely vyjádření správnosti letu bude u naměřených dat počítána odmocnina ze střední kvadratické chyby (Root Mean Square Error, RMSE). RMSE určíme jako odmocninu ze střední hodnoty kvadrátů odchylek naměřených dat od požadované hodnoty pomocí vzorce



$$RMSE(\hat{x}_k) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \|\hat{x}_k(i)\|^2}, \quad (2.1)$$

kde $\hat{x}_k(i)$ představuje odchylku hodnoty i od požadované hodnoty a n je počet záznamů. Jedná se o průměrnou odchylku naměřených dat od požadované hodnoty.

Druhým parametrem použitým pro porovnání naměřených dat je jejich přesnost. Pro vyhodnocení přesnosti bude sloužit směrodatná odchylka vypočítaná z aritmetického průměru naměřených dat. Porovnáním průměrné hodnoty s požadovanou hodnotou bude rovněž možné určit absolutní chybu konkrétního subjektu.

Při výpočtu bude nejprve určena střední hodnota, neboli aritmetický průměr z naměřených dat. Ten získáme pomocí následujícího vzorce

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j)}{n}, \quad (2.2)$$

kde \bar{x} je hledaný aritmetický průměr dat, zápis v čitateli je součet naměřených dat a n je jejich počet. Před výpočtem směrodatné odchylky určíme rozptyl naměřených dat pomocí vzorce

$$s_x^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2}{n}, \quad (2.3)$$

kde \bar{x} je hodnota aritmetického průměru, x_j je konkrétní naměřená hodnota a n je počet naměřených dat. Směrodatná odchylka (standard deviation, sd) vypovídá o vzájemné blízkosti dat v rámci vyhodnocovaného datového souboru a určíme ji jako odmocninu z rozptylu. Rostoucí hodnota směrodatné odchylky značí větší míru oscilace naměřených dat okolo průměrné hodnoty a tudíž menší přesnost letu.

Pro přehlednost, vyhodnocování naměřených dat bylo rozčleněno do následujících manévrů:

- Udržování výšky - Z naměřených dat výšky byla určena hodnota RMSE, aritmetického průměru a směrodatné odchylky.



- Udržování rychlosti - Z naměřených dat rychlosti byla určena hodnota RMSE, aritmetického průměru a směrodatné odchylky.
- Udržování kurzu - Z naměřených dat kurzu byla určena hodnota RMSE, aritmetického průměru a směrodatné odchylky.
- Udržování náklonu - Pro minimalizaci zkreslení výsledků vlivem horizontálního letu před zahájením točení byl požadovaný náklon při točení z kurzu 330° do kurzu 240° hodnocen mezi kurzy 325° až 245° . Z naměřených dat náklonu byla následně určena hodnota RMSE, aritmetického průměru a směrodatné odchylky.
- Udržování vertikální rychlosti - Pilot s letounem stoupal a klesal mezi hladinami 4 000 ft a 6 000 ft. Pro minimalizaci zkreslení výsledků vlivem horizontálního letu před zahájením stoupání a přidosahování cílové výšky byla požadovaná vertikální rychlost hodnocena mezi výškami 4 100 ft a 5 900 ft.
- Dotočení do kurzu - Vyhodnocení přesnosti dotočení do stanoveného kurzu probíhalo v závislosti na kurzu, na jakém se letoun po dotočení ustálil. Pokud pilot točil z kurzu 240° pravou zatáčkou do kurzu 330° a přesáhl hodnotu 329.5° , byly od takové chvíle počítány hodnoty RMSE, průměru a směrodatné odchylky. Pokud pilot točil z kurzu 240° pravou zatáčkou do kurzu 330° a stabilizoval letadlo na kurzu o nižší hodnotě než 329.5° , byl z dat určen takový bod, kdy kurz letadla překročil hodnotu 325° a zároveň úhlová změna kurzu klesla pod 0.4° za vteřinu. Od takové chvíle se let považoval za stabilizovaný a byly počítány hodnoty RMSE, průměru a směrodatné odchylky.
- Dostoupání / sklesání do předepsané výšky - Vyhodnocení přesnosti dosažení stanovené výšky probíhalo v závislosti na výšce, ve které pilot letadlo ustálil. Pokud pilot stoupal do výšky 6 000 ft a přestoupal výšku 5 990 ft, byly od takové chvíle počítány hodnoty RMSE, průměru a směrodatné odchylky. Pokud pilot stoupal do výšky 6 000 ft a stabilizoval letadlo před dosažením výšky 5 990 ft, byl z dat určen takový bod, kdy výška letu přesáhla 5 940 ft a zároveň průměrná vertikální rychlost po dobu dvou vteřin



nepřesáhla 300 ft za minutu. Od takové chvíle se let považoval za stabilizovaný a byly počítány hodnoty RMSE, průměru a směrodatné odchylky.

Krom výše uvedeného bylo úkolem subjektu zaletět úsek středního a konečného přiblížení pomocí pozemního zařízení ILS sloužícího k přesnému přiblížení a přistání na zvolenou dráhu. První přiblížení probíhalo ve dne s dohledností přesahující 10 km, bez oblačnosti a za bezvětří. Při druhém a třetím přiblížení byla shodně nastavena dohlednost 3 000 m a základna oblačnosti 350 stop nad zemí. Jelikož pilot neměl k dispozici povelové vedení na primárním letovém displeji (flight director), jednalo se o tzv. Raw data přiblížení.

Jedním z předpokladů bezpečného provedení přiblížení a přistání je splnění tzv. Kritérií stabilizovaného přiblížení, která ve výcvikovém manuálu letových posádek uvádí výrobce letounu Boeing 737NG [23]. Jedná se o souhrn doporučení, která by měla posádka splňovat v průběhu konečného přiblížení a která rovněž uplatňují obě letecké společnosti, jejich piloti se experimentu účastnily. Tato kritéria zahrnují:

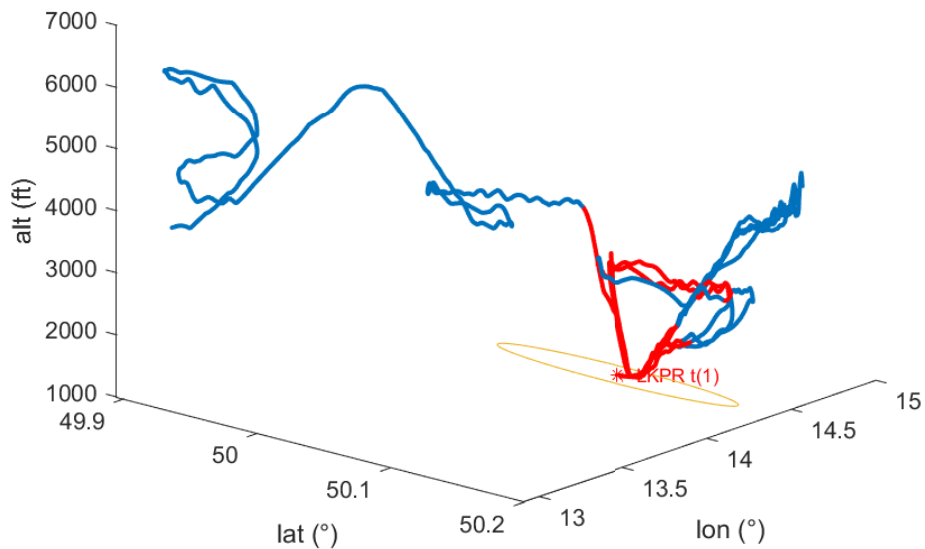
- odchylky od trajektorie konečného přiblížení,
- potřebné zásahy do řízení letadla,
- konfiguraci letadla,
- vertikální rychlost,
- nastavený výkon pohonných jednotek,
- ukončenou přípravu na provedení přiblížení.

Jelikož všichni piloti účastníci se experimentu působili u letecké společnosti uplatňující v praxi kritéria stabilizovaného přiblížení, rozhodli se někteří z nich při jejich nesplnění pro zahájení postupu nezdařeného přiblížení, jak to vyžaduje provozní příručka jejich letecké společnosti. Předmětem této práce nicméně není hodnotit, zdali pilot zahájil či nezahájil postup nezdařeného přiblížení ve chvíli, kdy tak učinit měl. V části zabývající se vyhodnocením správnosti a přesnosti letu v průběhu konečného přiblížení tak budou

prezentovány pouze odchylky od ideální trajektorie úseku konečného přiblížení, nikoli shoda s jednotlivými kritérii stabilizovaného přiblížení.

Je potřeba zmínit, že pro analýzu ILS přiblížení byl zvolen odlišný přístup, a to zejména kvůli náročnosti vyhodnocení naměřených dat. Ačkoli bylo možné identifikovat úseky konečného přiblížení manuálně, pro zachování shodných podmínek pro všechny subjekty byla tato identifikace provedena pomocí speciálního programu. Jednalo se o software vyvinutý Laboratoří lidského faktoru a automatizace v letectví, FD, ČVUT, který byl již dříve využit v rámci bakalářské práce (pro více informací viz [27]).

Zmíněný software dokáže identifikovat vzlet, přiblížení a přistání společně s určením letiště, na kterém byla tato procedura provedena. Relevantní data splňující v našem případě parametry přiblížení jsou následně uložena v podobě výřezu z původní datové matice. Software dále vykreslí vektor vzletové a přistávací dráhy definovaný pomocí zeměpisné šířky (latitude), zeměpisné délky (longitude) a nadmořské výšky. Příklad výstupu se nachází na obrázku 2.4.



Obrázek 2.4: Letová trajektorie spolu s označenými úseky vzletů a přiblížení



Z dat, která popisovala umístění dráhy ve 3D prostoru, byla vypočítána sestupová rovina. Tento výpočet vycházel z rovnice pro úhel α mezi dvěma vektory v trojrozměrném prostoru, a sice:

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{xu + yv + zw}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}} \right), \quad (2.4)$$

kde x, y, z jsou vektory popisující vzletovou a přistávací dráhu ve 3D prostoru a vektory u, v, w popisují sestupovou rovinu. V tomto kroku bylo potřeba vyjádřit w , neboli vektor výšky sestupové roviny při zachování úhlu $\alpha = 3^\circ$. Substitucí $\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ za N bylo w vyjádřeno jako:

$$w = \frac{1}{2 \left(\frac{z^2}{N^2} - \cos^2(\alpha) \right)} \left(-\frac{2uxz}{N^2} - \frac{2vyz}{N^2} + \sqrt{\left(\frac{z^2(-2ux - 2vy)}{N^4} - 4(\cos^2(\alpha) - \frac{z^2}{N^2}) \left(-\frac{u^2x^2}{N^2} - \frac{2uvxy}{N^2} - \frac{v^2y^2}{N^2} + u^2 \cos^2(\alpha) + v^2 \cos^2(\alpha) \right) \right)} \right), \quad (2.5)$$

kde $\alpha = 3^\circ$, $x=u$ a $y = v$. Vektory x, y, u a v charakterizují zeměpisnou šířku a zeměpisnou délku. Pro účely výpočtu bylo potřeba přepočíst výšku (ft) a souřadnice ($^\circ$) na společné jednotky. Sestrojená sestupová rovina, která měla počátek shodný s počátkem vzletové a přistávací dráhy, byla následně posunuta do polohy se souřadnicemi [N050.115057°, E14.270397°], které představují průmět trajektorie konečného přiblížení a přistávací dráhy. Příklad zkonstruované sestupové roviny je zobrazený na obrázku 2.5 (pozn. na obrázku je rovněž sestrojený sestupový kužel, s nímž se ovšem v práci dále nepracovalo a proto není uvedený popis jeho sestrojení).

Pro hodnocení přesnosti a správnosti přiblížení bylo potřeba určit vertikální a laterální odchylky od ideální sestupové trajektorie. Ačkoli se může tento způsob vyhodnocení zdát jednoduchý, je potřeba si uvědomit, že pro takový výpočet odchylek je nutné nejprve transformovat souřadnicový systém na systém referenční, aby bylo možné vyjádřit kolmé vzdálenosti sestupové trajektorie subjektu od ideální sestupové roviny. Data proto byla

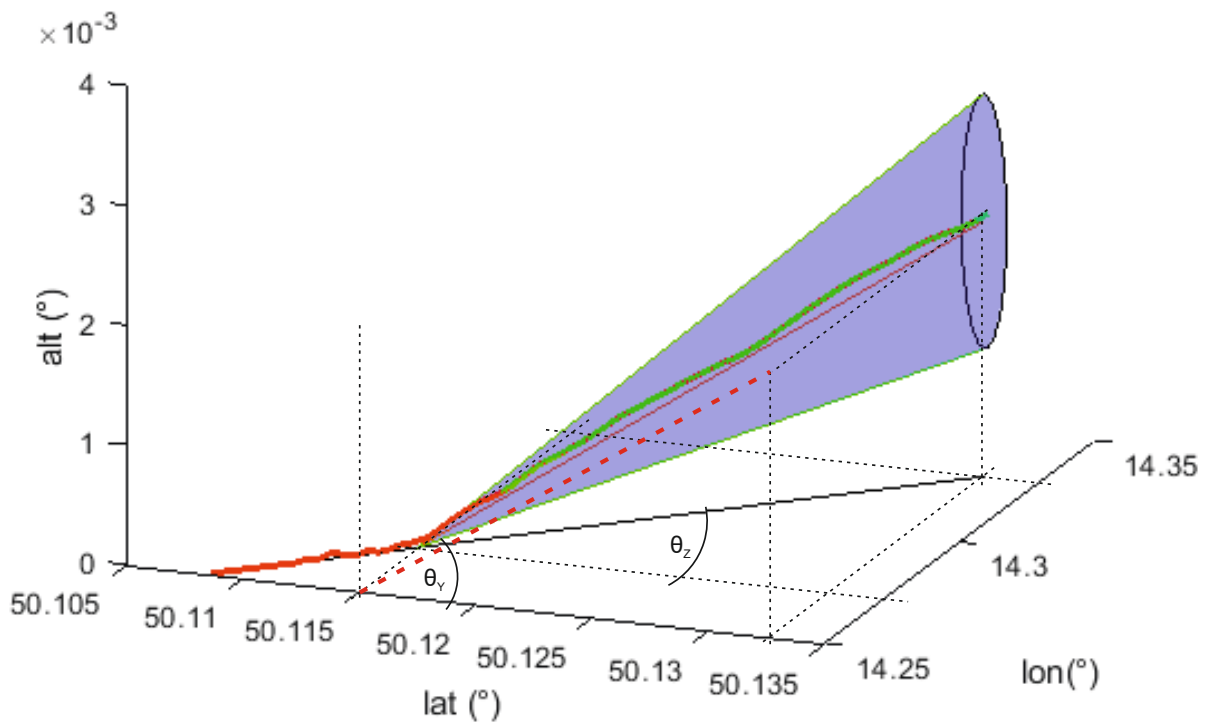


transformována jejich rotací okolo referenčních os o úhly Θ_Y a Θ_Z , jak jsou znázorněny na obrázku 2.5. Tato transformace byla provedena pomocí rotačních matic v následujícím pořadí:

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \cos(\Theta_Y) + Z \sin(\Theta_Y) \\ Y \\ Z \cos(\Theta_Y) - X \sin(\Theta_Y) \end{bmatrix}, \quad (2.6)$$

kde X, Y, Z jsou původní data a X', Y', Z' jsou transformovaná data. Následovala další transformace, tentokrát okolo osy z , a sice pomocí:

$$\begin{bmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X' \cos(\Theta_Z) - Y' \sin(\Theta_Z) \\ X' \sin(\Theta_Z) + Y' \cos(\Theta_Z) \\ Z' \end{bmatrix}. \quad (2.7)$$



Obrázek 2.5: Vytvořená sestupová rovina spolu se zobrazením letových dat

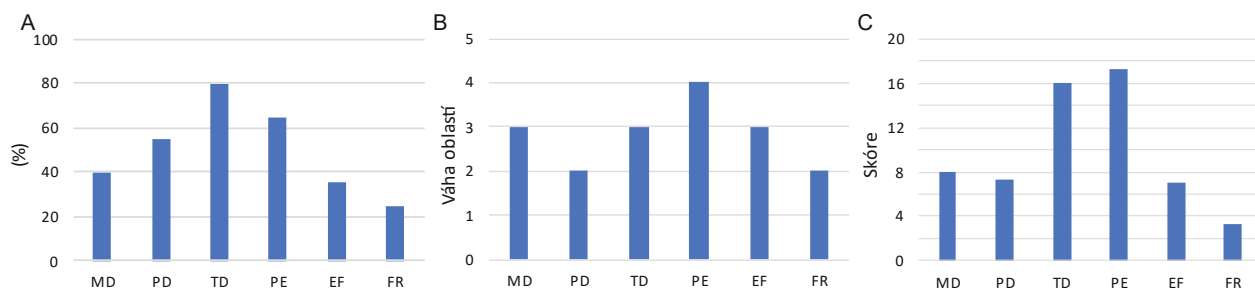


S takto upravenými daty bylo možné určit odchylky od ideální sestupové trajektorie. Laterální odchylka pro datové body i byla určena pomocí vzorce $E_l = X''_{let}(i) - X''_{zos}(i)$. Obdobně by byla určena odchylka ve vertikální rovině. Z takto získaných vektorů bylo následně možné určit průměrnou chybu spolu s hodnotou směrodatné odchylky. Narozdíl od hodnocení letových manévřů nebyla pro účely hodnocení počítána hodnota RMSE.

Díky určení RMSE, průměrné hodnoty a sd pro popis správnosti a přesnosti letu bude možné provést porovnání naměřených letových dat mezi skupinami subjektů. Přístup ke statistickému zpracování dat s ohledem na přesnost a správnost je popsán v kapitole 2.4.

2.3.2 NASA Task Load Index

Za účelem subjektivního posouzení vnímané zátěže byl využit tzv. NASA Task Load Index. Každý subjekt po absolvování letu vyplnil elektronický dotazník, kde měl za úkol na stupnici 1 - 20 posoudit, jakou roli při jeho výkonu hrálo 6 definovaných oblastí. Těmito oblastmi byly Psychická zátěž (Mental Demand), Fyzická zátěž (Physical Demand), Zátěž plynoucí z tempa experimentu (Temporal Demand), Spokojenost s výkonností (Performance), potřebné Úsilí (Effort) a pocit Frustrace (Frustration). Hodnoty na stupnici 1 - 20 byly následně vynásobením hodnotou 5 převedeny na procenta (5 % - 100 %). Příklad je uveden na obrázku 2.6 A.



Obrázek 2.6: Příklad výsledků NASA Task Load dotazíku se specifickým zobrazením subjektivního hodnocení dopadu jednotlivé oblasti zátěže na výkon pilota (A), váhou dané oblasti přiřazené subjektem (B) a výsledné skóre zatížení jednotlivými oblastmi (MD - Mental Demand, PD -Physical Demand, TD - Temporal Demand, PE - Performance, EF - Effort, FR - Frustration)



Po dokončení první části dotazníku subjekt pokračoval druhou částí, kde vybíral ze dvou nabízených oblastí tu, která se více podílela na jeho zatížení v průběhu experimentu. Při celkem 15 porovnáváních došlo ke vzájemnému porovnání mezi všemi oblastmi, každá tak mohla získat v rozmezí 0 - 5 bodů. Tyto body při dalším výpočtu představovaly váhu dané oblasti a znázorněny jsou na obrázku 2.6 B.

Procentuální ohodnocení oblasti z první části dotazníku bylo dále vynásobeno váhou příslušné oblasti a vyděleno hodnotou 15 (počet vzájemných porovnávání). Tímto bylo získáno skóre jednotlivých oblastí (Adjusted Rating, AR), které je znázorněno na obrázku 2.6 C.

Po sečtení hodnot skóre z jednotlivých oblastí dostaneme tzv. Raw Index, tedy celkové výsledné zatížení subjektu. Hodnota AR pro danou oblast mohla dosáhnout maximální hodnoty 20 bodů, nikoli však ve všech oblastech současně. Díky tomu je maximální možná hodnota Raw Indexu 100 bodů. Je možné mezi subjekty porovnávat celkové zatížení, tedy hodnotu Raw indexu, avšak větší informační hodnotu přinese porovnání, jakou měrou se u subjektů na celkovém zatížení podílejí jednotlivé oblasti [24, 28]. Tyto oblasti lze podle [24] blíže popsat a specifikovat jako:

Psychická zátěž (Mental demand)

Definice: Jaké množství mentální a percepční aktivity (přemýšlení, rozhodování, provádění výpočtů, pamatování si, pozorování, hledání, atd.) bylo zapotřebí? Byly zadané úkony snadné nebo náročné, jednoduché nebo komplexní, přesné nebo vágní?

Při posuzování Psychické zátěže hodnotil subjekt mentální náročnost požadovaných úkonů, tedy jak intenzivně se musel soustředit, přemýšlet či využívat paměť. Psychickou náročnost experimentu zvyšovala rovněž simulace okolního provozu prostřednictvím audionahrávek komunikace řídicího letového provozu a posádek druhých letadel.

Fyzická zátěž (Physical demand)

Definice: Jaké množství fyzické aktivity (tlačení, tahání, otáčení, ovládání, aktivování, atd.) bylo zapotřebí? Byly zadané úkony snadné nebo náročné, pomalé nebo svižné, nenáročné nebo pracné?



V případě fyzické zátěže subjekt hodnotil potřebu využívat fyzickou sílu při ovládní simulátoru. Do hodnocení fyzické zátěže spadala rovněž situace, pokud by subjekt vnímal síly v řízení jako nízké a řízení příliš citlivé a měl by potřebu provádět kontinuální zásahy do řízení, která by zvyšovala náročnost provádění předepsaných úkonů.

Zátěž plynoucí z tempa (Temporal load)

Definice: Jaké množství stresu jste pociťovali z důvodu tempa, ve kterém se jednotlivé úkony odehrávaly? Bylo tempo pomalé a plynulé, nebo spíše svižné?

Při posuzování zátěže plynoucí z tempa experimentu subjekt hodnotil stres, který mohl pramenit z nedostatku času v průběhu provádění jednotlivých manévrů. Posuzoval, zdali měl dostatek času provést požadované procedury a checklisty, bylo-li to třeba.

Vlastní výkonnost (Performance)

Definice: Jak hodnotíte svou úspěšnost při plnění svěřených úkonů v rámci experimentu? Jak jste spokojeni se svými výkony při plnění těchto úkonů?

Při posuzování vlastní výkonnosti měl subjekt možnost ohodnotit svůj výkon z průběhu experimentu. Hodnotil zejména vnímanou přesnost provádění předepsaných manévrů a letu konečného přiblížení.

Úsilí (Effort)

Definice: Jak moc jste se museli snažit (jak psychicky tak i fyzicky), abyste dosáhli předvedeného výkonu?

Při posuzování úsilí subjekt hodnotil, jak náročné pro něj bylo udržovat předepsané letové parametry či zvládat management letu.

Frustrace (Frustration level)

Definice: Popište své pocity při vykonávání úkonů na stupnici od sebejistý, spokojený a uvolněný do nejistý, odražený, vystresovaný či otrávený.

V případě hodnocení míry Frustrace posuzoval subjekt, jestli u něj v průběhu experimentu převažovaly pozitivní či negativní emoce. Zdrojem pozitivních emocí mohla



být spokojenost s vlastním výkonem, nízká potřeba kontinuálního zasahování do řízení letadla či uspokojivá míra situačního povědomí. Zdrojem negativních emocí mohla být nespokojenost s vlastním výkonem, nutnost neustále zasahovat do řízení, neschopnost dostatečně přesně provádět předepsané manévry či zmatenost a nejistota.

2.3.3 Test SOP

Po ukončení letové části experimentu byl každý subjekt požádán o vyplnění testu zkoumajícího znalost vybraných Standardních provozních postupů (SOP).

Test byl rozdělen do dvou částí, kdy první požadovala chronologické sepsání úkonů spadajících do procedury před spouštěním motorů (Before Start Procedure - First Officer) [23]. Úkolem subjektu bylo vyplnit prázdnou tabulku do podoby uvedené v tabulce 2.2.

Tabulka 2.2: Postupy spadající do procedury Před spouštěním motorů - První důstojník

Úkon	Before start procedures - First Officer
1.	Flight deck door door - closed & locked
2.	CDU display - take off page
3.	N1 bugs set
4.	IAS bugs - set
5.	Exterior doors - Verify closed
6.	Flight deck windows - closed and locked
7.	Fuel panel - set
8.	Hydraulic panel - set
9.	Anti-collision light switch - on
10.	

Za uvedení správného úkonu získal subjekt 0.5 bodu. Pokud jej uvedl ve správném chronologickém pořadí, získal rovněž 0.5 bodu. Za daný úkon procedury tak mohl subjekt získat nejvíce 1 bod a celkový možný bodový zisk za první část testu znalostí SOP byl 9 bodů.



Tabulka 2.3: Chronologická posloupnost vybraných panelů spadajících do procedury Preflight Procedure - První důstojník

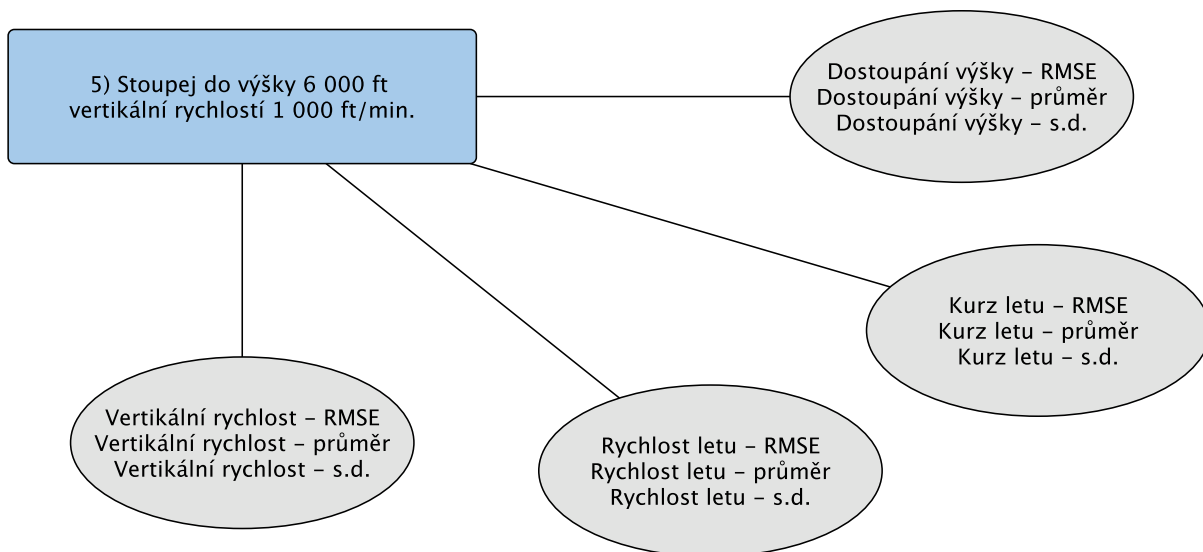
Preflight Procedure - First Officer	Správná posloupnost
Window heat	4
Fuel panel	2
Probe heat	5
Ground proximity panel	9
Auto brake select switch	10
Flight control panel	1
Hydraulic panel	6
EFIS control panel	8
Cabin pressurization panel	7
Electrical panel	3

Druhá část testu nabízela 10 panelů, jejichž kontrolu pilot provádí v rámci předletové procedury (Preflight Procedure - First Officer). Úkolem pilota bylo tyto panely očíslovat tak, jak po sobě následují v dané proceduře. Vybrané panely jsou spolu s uvedením správné chronologické posloupnosti zobrazené v tabulce 2.3.

Pokud subjekt danému panelu přiřadil správné číslo v rámci chronologické posloupnosti, získal 1 bod. Pokud subjekt danému panelu přiřadil nesprávné číslo v rámci chronologické posloupnosti, ale uvedl jej ve správné návaznosti na předcházející panel, získal 0.5 bodu. Pokud subjekt danému panelu přiřadil nesprávné číslo v rámci chronologického pořadí a uvedl jej v nesprávné návaznosti na předcházející panel, nezískal za daný panel žádný bod. Jelikož se druhá část testu skládala z 10 panelů, mohl subjekt za tuto část získat nejvíce 10 bodů. Maximální bodový zisk za obě části testu znalostí SOP byl 19 bodů.

2.4 Statistické hodnocení

Letová část experimentu zaměřující se na přesnost a správnost pilotáže při provádění předepsaných manévru se skládala z osmi úkonů, jejichž průběh byl popsán v předcházejících kapitolách. Úkony sestávaly z kombinace udržování výšky, kurzu nebo rychlosti letu, případně náklonu a vertikální rychlosti. Při potřebě dosáhnout stanovené výšky či kurzu letu pak byla hodnocena správnost a přesnost daného manévru. Popis vyhodnocovaných parametrů je na obrázku 2.7 ilustrován na úkonu č. 5, kdy bylo úkolem pilota stoupat s letounem do výšky 6 000 stop vertikální rychlostí 1 000 ft/min, udržovat kurz letu 240° a rychlost letu 210 kt.



Obrázek 2.7: Příklad vyhodnocování RMSE, průměrné hodnoty a sd u sledovaných parametrů letu u úkonu č.5

Jak je patrné z obrázku 2.7, u každého pilota byla v rámci konkrétního úkonu vypočtena hodnota Relativní střední kvadratické chyby (RMSE), průměrná hodnota a směrodatná odchylka pro každý parametr zohledňovaný u daného manévru. Data byla následně uspořádána do tabulky odpovídající skupiny pilotů. Po zpracování bylo získáno 28 hodnot RMSE, 28 hodnot průměru a 28 hodnot směrodatné odchylky pro každého pilota, celkem tedy 84 hodnot pro každého pilota.



Po získání hodnot RMSE, aritmetického průměru a směrodatné odchylky bude provedena analýza naměřených dat pomocí Mann-Whitneyova U-testu, nazývaného rovněž Mann-Whitney-Wilcoxonův test [29]. V programovém prostředí Matlab k jeho provedení slouží funkce `ranksum`. Jedná se o neparametrický test nulové hypotézy, kterou je předpoklad, že mezi oběma skupinami existuje statisticky významný rozdíl. Alternativní hypotézou je, že mezi oběma skupinami neexistuje statisticky významný rozdíl. K posouzení slouží parametr p , který získáme provedením Mann-Whitneyova testu a jež nabývá hodnot v intervalu $p \in < 0; 1 >$.

Jako hladina významnosti je určena standardní hodnota $\alpha = 5\%$. Pokud bude parametr p menší než 0.05, přijmeme Nulovou hypotézu a odmítneme Alternativní hypotézu. Pokud bude parametr p větší než 0.05, odmítneme Nulovou hypotézu a přijmeme Alternativní hypotézu.

Grafická prezentace naměřených dat je provedena pomocí krabicových grafů. Zobrazeno je vždy vzájemné porovnání obou skupin, kdy jeden krabicový graf v sobě obsahuje souhrn naměřených dat všech pilotů dané skupiny. Nejsou tedy vzájemně porovnávány výsledky jednotlivých pilotů. Prezentovány jsou ty parametry, u kterých byl mezi skupinami nalezen statisticky významný rozdíl. Pro přehlednost jsou výsledky rozděleny podle úkonů, ke každému jsou navíc doplněny vyhodnocované parametry.

Krabicový graf [30] se skládá ze středového boxu, krabice, jejíž spodní ohraničení představuje hranici mezi 1. a 2. kvartilem dat a vrchní ohraničení představuje hranici mezi 3. a 4. kvartilem dat. Střední linie grafu znázorňuje medián. Rozsah čárkované křivky vystupující ze spodního a vrchního ohraničení krabice nazýváme vousy a jejich maximální délka je vypočítána jako $1.5 \times IQR$, kde IQR je mezikvartilové rozpětí (interquartile range). Naměřené hodnoty za tímto rozpětím označujeme jako odlehlé.

Výše popsaný princip Mann-Whitneyova testu a grafické prezentace byl použitý ve všech případech hodnocení, resp. porovnání rozdílů mezi skupinami u sledovaných parametrů s výjimkou hodnocení ILS přiblížení. Konkrétně byl tento test využitý při hodnocení přesnosti a správnosti pilotáže, NASA Task Load Indexu a hodnocení výsledků testů znalosti SOP.

Pro účely hodnocení ILS přiblížení byl vytvořen model pro opakovaná měření, který zahrnoval skupiny sledovaných subjektů s ohledem na opakování tohoto manévru. Tento



model byl následně využitý pro hodnocení rozdílů mezi skupinami prostřednictvím analýzy rozptylu pro opakovaná měření, tzv. rANOVA testu [31]. Tento model je možné zapsat pomocí Wilkinsonovi notace jako:

$$f1 - f3 \approx Group, \quad (2.8)$$

kde $f1 - f3$ reprezentuje pořadí vykonaného přiblížení (čas) a $Group$ je nezávislá kategorická proměnná reprezentující dvě sledované skupiny subjektů.

Využití rANOVA vyžaduje splnění podmínky rozdělení a sféricity dat, respektive datových podmnožin podléhajících analýze. Navzdory tomu, že test normality nepotvrdil předpoklad normálního rozdělení v rámci jednotlivých datových podmnožin, tak byl vzhledem ke komplexnosti analýzy využit rANOVA test. Důvodem je, že neparametrické testy nenabízí možnost provedení srovnatelně robustní analýzy. Ačkoli tedy porušení podmínky normality může zvýšit chybu I-druhu, je rANOVA poměrně robustní metoda odolávající porušení podmínek normálního rozdělení dat [32, 33].

Pro účely testování sféricity, tedy zdali mají jednotlivé skupiny dat v partikulárních časových bodech u jednotlivých skupin shodný rozptyl, byl využit Mauchlyho test [34]. Tento test nepotvrdil předpoklad o sféricitě, a proto nebyla provedena korekce p-hodnoty pomocí Greenhouse-Geisser korekce [35].

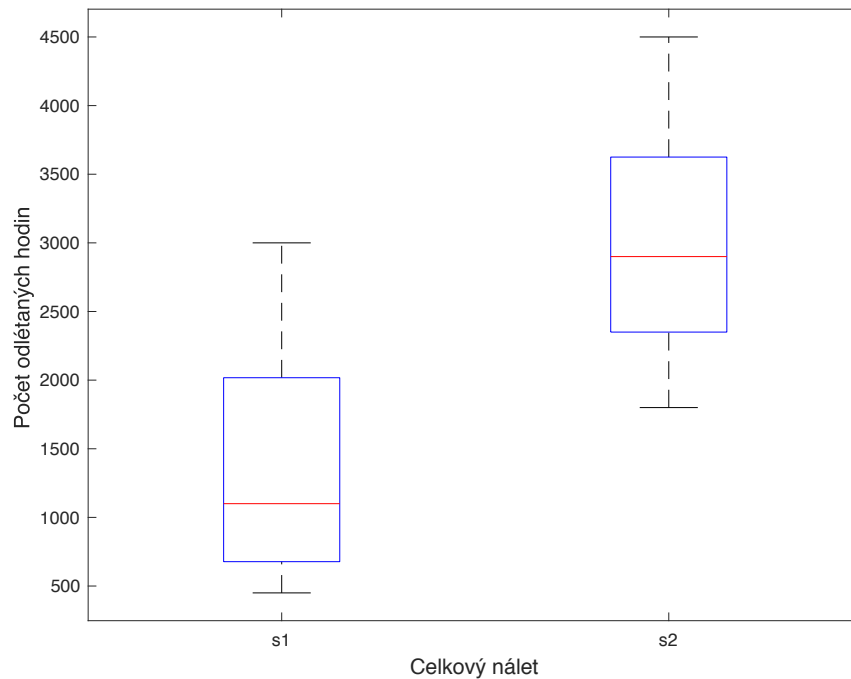
Výše uvedený přístup byl v případě vyhodnocení ILS přiblížení aplikovaný u všech sledovaných parametrů, tedy při hodnocení průměrné vertikální i laterální odchylky i pro hodnocení směrodatné odchylky.

3 Prezentace výsledků

3.1 Vyhodnocení náletu

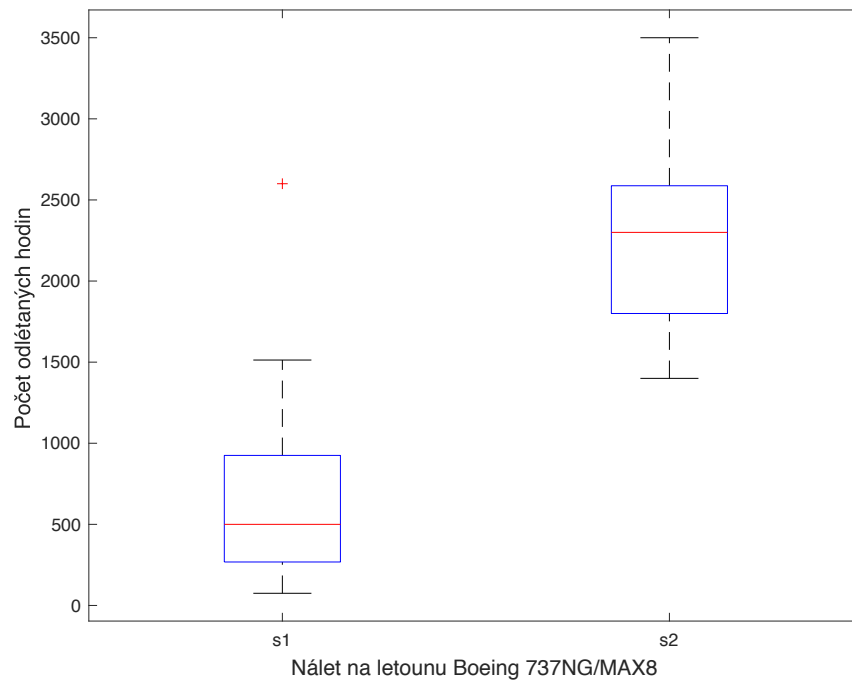
Porovnávání celkového náletu bylo provedeno pomocí Wilcoxonova testu v programovém prostředí Matlab 2019b. Při hladině významnosti $\alpha = 5\%$ byla v případě celkového náletu hodnota parametru p určena jako menší než 0.05. Mezi skupina pilotů existuje z hlediska celkového náletu na všech typech letounů statisticky významný rozdíl (Obr. 3.1).

V případě náletu na letounu Boeing 737NG / MAX8 byla při provedení Wilcoxonova testu a stanovení hladiny významnosti $\alpha = 5\%$ hodnota parametru p určena jako menší než 0.05. Mezi skupinami pilotů existuje z hlediska náletu na letounu B737 statisticky významný rozdíl (Obr. 3.2).



Obrázek 3.1: Distribuce celkového náletu pilotů skupiny charakterizované přestávkou v létání (s1) a pilotů skupiny dosud aktivně působících (s2)

Piloti skupiny s1 toho času nelétali, piloti skupiny s2 průměrně udávali měsíční nálet 6 hodin.



Obrázek 3.2: Distribuce náletu na letounu Boeing 737NG / MAX8 pilotů skupiny charakterizované přestávkou v létání (s1) a pilotů skupiny dosud aktivně působících (s2)

Důležitou orientační hodnotou je rovněž doba od posledního letu. V případě toho času neaktivních pilotů uběhlo od jejich posledního letu s letounem B737 průměrně 255 dní, u aktivních pilotů tato doba odpovídala 28 dnům.



3.2 Vyhodnocení letových manévrů

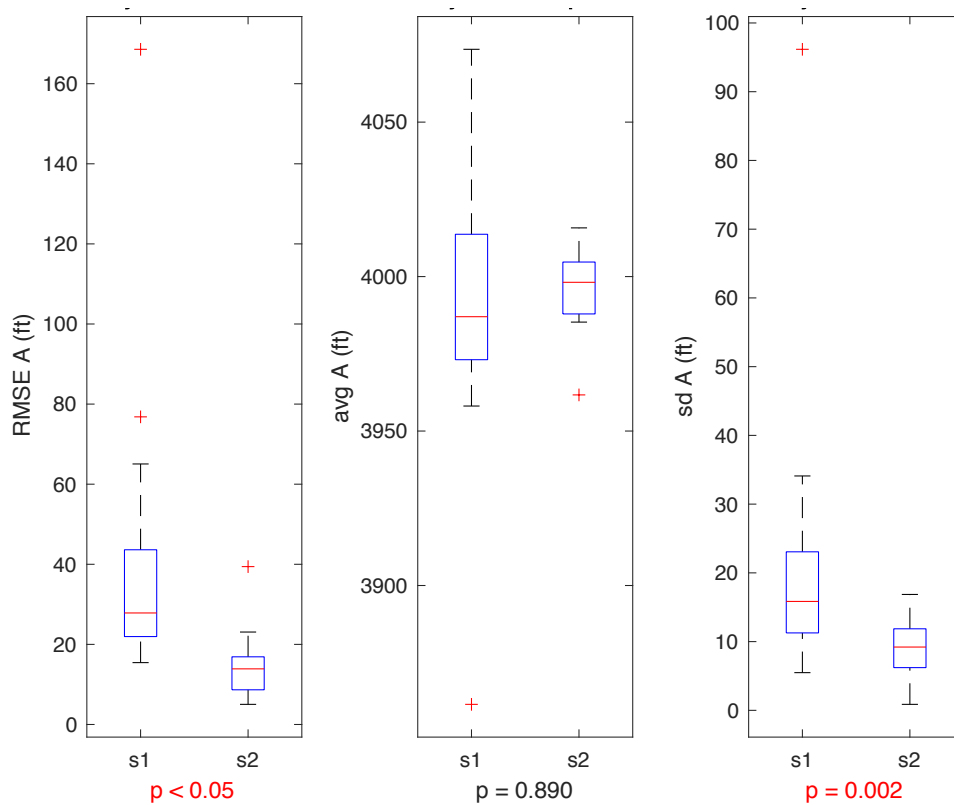
Ve 22 případech byla prokázána platnost nulové hypotézy, tedy, že mezi naměřenými daty existuje statisticky významný rozdíl. V případě udržování předepsané výšky letu byl u úkonů 1 až 4 prokázán statisticky významný rozdíl u parametru RMSE i u směrodatné odchylky. U úkonů 7 a 8, které kombinovaly změnu výšky letu se změnou kurzu, byl rovněž prokázán statisticky významný rozdíl v případě hodnoty RMSE i směrodatné odchylky, přičemž u úkonu 8 se statisticky významně lišila i průměrná hodnota výšky, kterou piloti po dosažení 4000 stop udržovali. Ve čtyřech případech byl zjištěn významný rozdíl mezi hodnotou směrodatné odchylky, se kterou piloti udržovali předepsanou rychlost 210 kt. Ve dvou případech byl nalezen významný rozdíl ve směrodatné odchylce od průměrného kurzu letu, přičemž se vždy jednalo o let stálým kurzem, nikoli dotáčení do stanoveného kurzu. Jedním z vyhodnocovaných parametrů byl rovněž náklon, který měli piloti udržovat v rámci úkonu č. 4. Zde byl nalezen statisticky významný rozdíl u hodnoty RMSE i směrodatné odchylky.

Ve všech případech, kdy byl mezi naměřenými daty nalezen statisticky významný rozdíl, bylo z následné analýzy zjištěno, že s vyšší správností či přesností letěli piloti toho času aktivně létající.

Úkon č. 1

- Instrukce: Udržuj výšku 4000 ft a kurz 240°
- výška, kurz

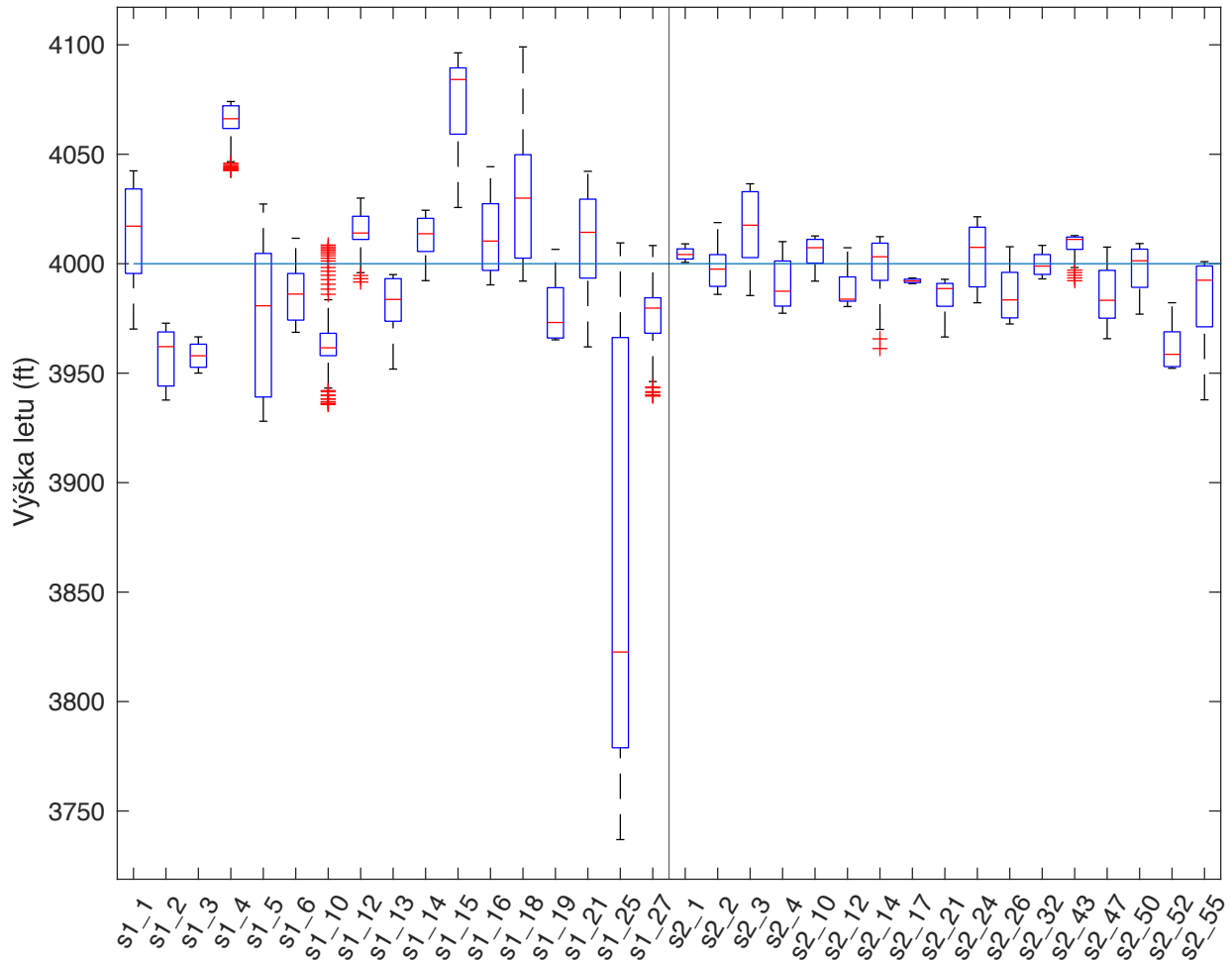
Z hodnot naměřené výšky letu byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi odchylkami od předepsané výšky letu (RMSE) a směrodatnými odchylkami, se kterými piloti udržovali průměrnou výšku. Ačkoli byla hodnota parametru p pro průměrnou výšku letu vysoko nad hranicí 0.05, je z grafického zobrazení na obrázku 3.3 patrné, že i zde se hodnota mediánu udržované výšky nacházela u pilotů skupiny s2 blíže k požadovaných 4000 ft a byla doprovázena menším rozptylem dat.



Obrázek 3.3: Úkon 1 - Distribuce naměřených dat pro RMSE, průměrné hodnoty (avg) a směrodatné odchyly (sd) pro výšku (A) u skupiny subjektů charakterizovaných přestávkou v létání (s1) a skupiny subjektů dosud aktivně působících (s2), spolu s vyznačením signifikantních rozdílů mezi distribucemi prostřednictvím p-hodnot (signifikantní rozdíl pro $p < 0.05$)

Výškový profil letu jednotlivých subjektů je na obrázku 3.4 prezentován pomocí krabicových grafů. Modrá horizontální křivka na úrovni hodnoty 4000 ft představuje výšku, kterou měli piloti udržovat. Krabicové grafy zobrazují medián a rozptyl naměřených hodnot pro jednotlivé subjekty. Vertikální křivka rozděluje graf na poloviny, přičemž levá polovina odpovídá naměřeným datům subjektů spadajících do skupiny s1 a pravá polovina odpovídá naměřeným datům subjektů spadajících do skupiny s2.

Ačkoli tento způsob zobrazení dat nabízí přehledným způsobem výškový profil všech subjektů tak, jak byl zaznamenán v průběhu prvního úkonu, je zde tento graf přiložen pouze



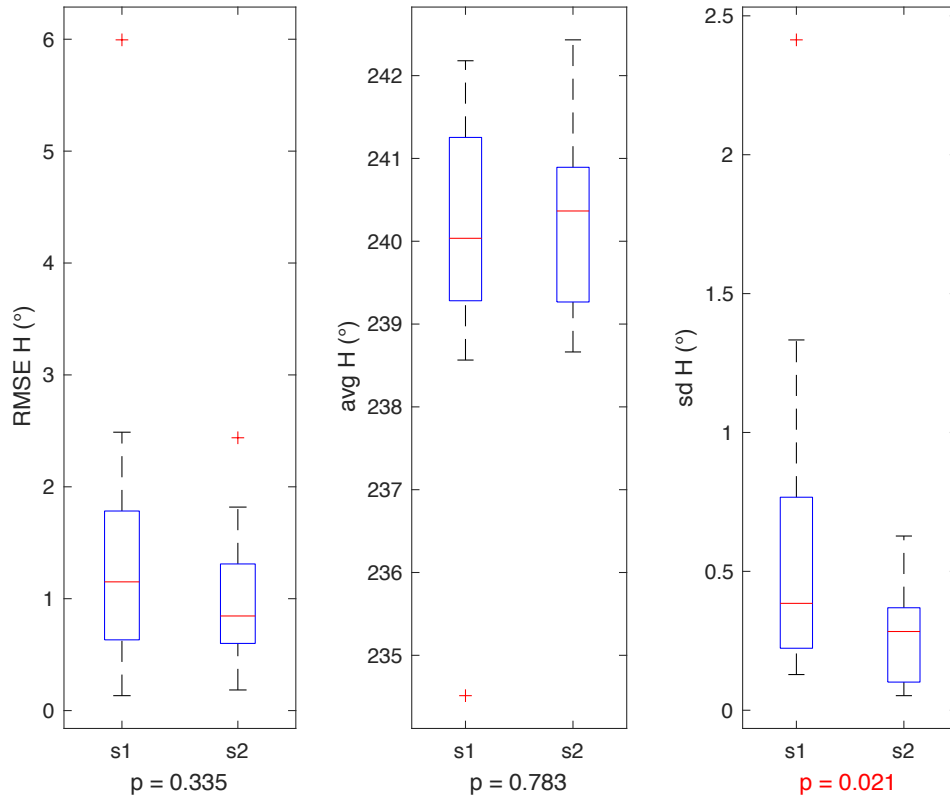
Obrázek 3.4: Výškový profil letu jednotlivých subjektů při zadání udržovat konstantní výšku 4 000 ft

pro ilustraci naměřených dat. Tato forma prezentace dat nebude v práci dále využívána, jelikož hledání statisticky významných rozdílů neprobíhalo mezi jednotlivými subjekty, ale mezi skupinami navzájem.

Druhým vyhodnocovaným parametrem prvního úkonu byla schopnost pilotů udržovat stálý kurz. Statisticky významný rozdíl byl nalezen u hodnot směrodatné odchylky, se kterou piloti udržovali průměrný kurz. Tento výsledek lze interpretovat tak, že piloti skupiny s2 osciovali méně okolo své průměrné hodnoty, tedy že letěli s vyšší přesností. V případě odchylky



od zadaného kurzu 240° i průměrných hodnot kurzu je z obrázku 3.5 patrné, že byla naměřena obdobná letová data v případě obou skupin pilotů.



Obrázek 3.5: Úkon 1 - Distribuce naměřených dat pro RMSE, průměrné hodnoty (avg) a směrodatné odchylky (sd) pro kurz (H) u skupiny subjektů charakterizovaných přestávkou v létání (s1) a skupiny subjektů dosud aktivně působících (s2), spolu s vyznačením signifikantních rozdílů mezi distribucemi prostřednictvím p-hodnot (signifikantní rozdíl pro $p < 0.05$).

Úkon č. 2

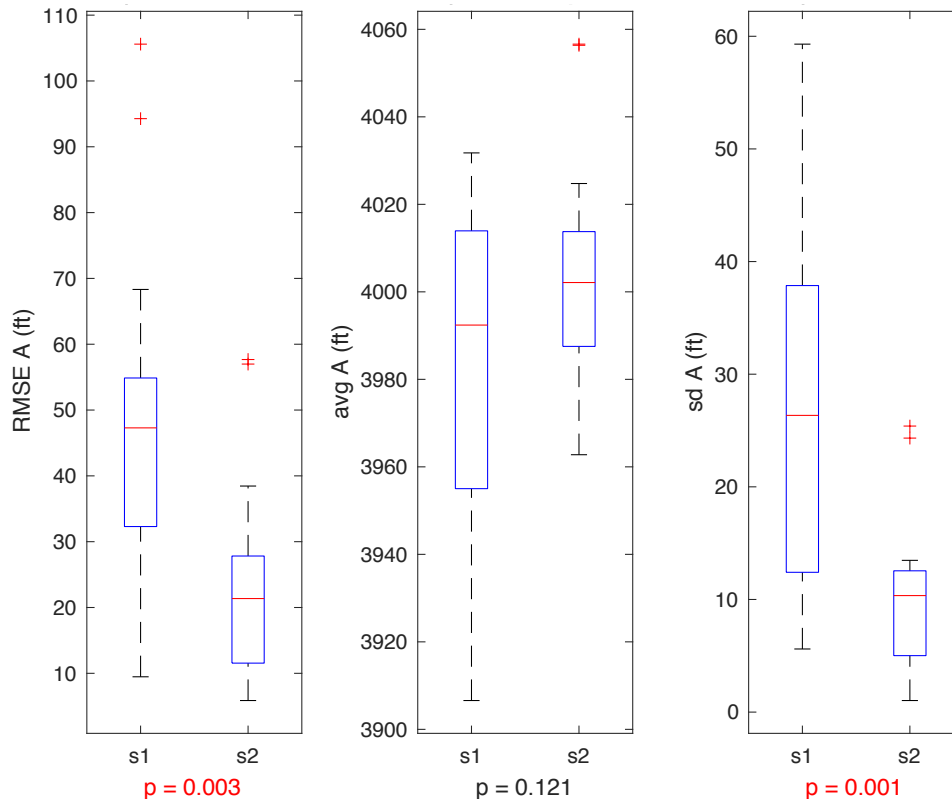
- Instrukce: Udržuj rychlost 210 kt.
- výška, kurz, rychlost

Při analýze naměřených letových dat u úkonu č. 2 byl nalezen alespoň jeden statisticky významný rozdíl u všech sledovaných parametrů. Piloti skupiny s2 udržovali menší odchylky



od požadované výšky 4000 stop a dopouštěli se menších odchylek od své průměrné výšky letu, přičemž v obou případech byla hodnota parametru p určena jako menší než 0.05.

V případě průměrné výšky letu je rovněž patrný menší rozptyl naměřených dat v případě pilotů skupiny s2, jelikož však byla výsledná hodnota parametru p určena jako 0.121, nelze říci, že by zde existoval statisticky významný rozdíl. Výsledky jsou zobrazeny na obrázku 3.6.

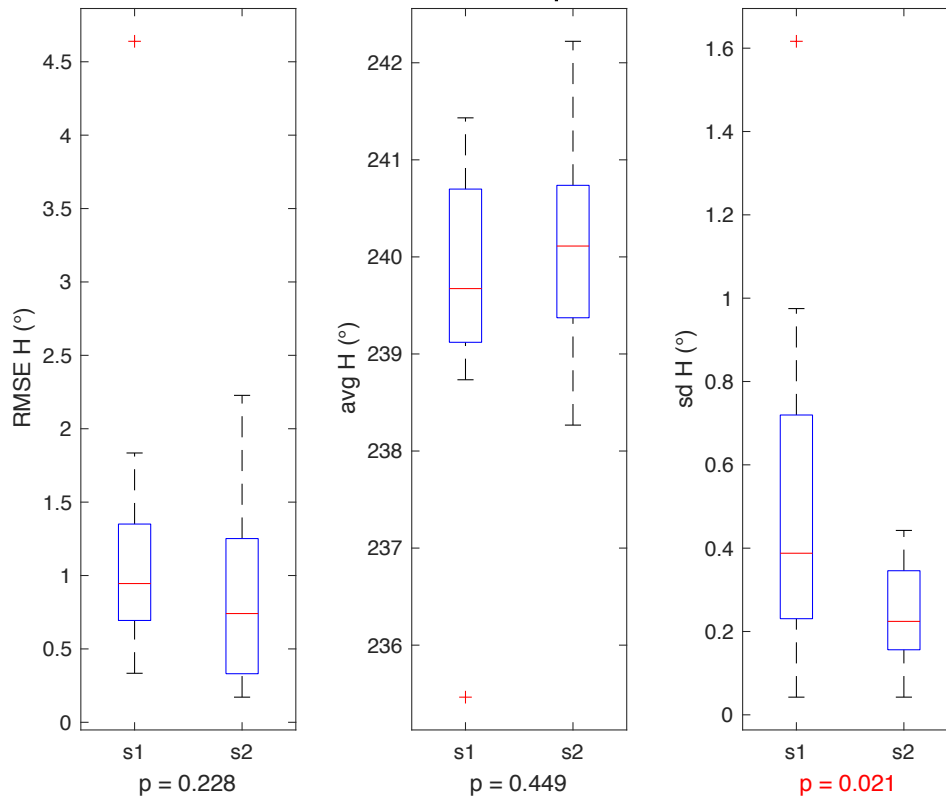


Obrázek 3.6: Úkon 2 - Distribuce naměřených dat pro RMSE, průměrné hodnoty (avg) a směrodatné odchylky (sd) pro výšku (A) u skupiny subjektů charakterizovaných přestávkou v létání (s1) a skupiny subjektů dosud aktivně působících (s2), spolu s vyznačením signifikantních rozdílů mezi distribucemi prostřednictvím p -hodnot (signifikantní rozdíl pro $p < 0.05$).

V případě udržování konstantního kurzu letu dosáhl parametr p v případě směrodatné odchylky hodnoty 0.021, u průměrného kurzu ani odchylky od zadaného kurzu vyjádřeného

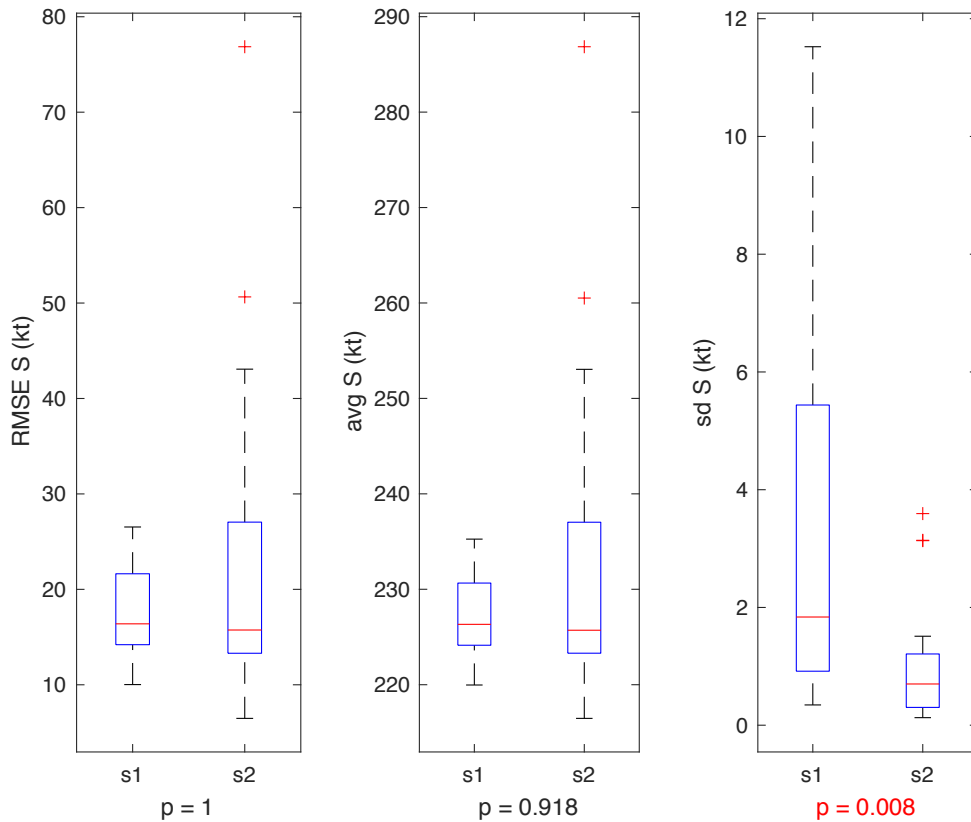


pomocí RMSE však nebyl nalezen statisticky významný rozdíl. Grafická prezentace dat je na obrázku 3.7.



Obrázek 3.7: Úkon 2 - Distribuce naměřených dat pro RMSE, průměrné hodnoty (avg) a směrodatné odchylky (sd) pro kurz (H) u skupiny subjektů charakterizovaných přestávkou v létání (s1) a skupiny subjektů dosud aktivně působících (s2), spolu s vyznačením signifikantních rozdílů mezi distribucemi prostřednictvím p-hodnot (signifikantní rozdíl pro $p < 0.05$).

Porovnání směrodatné odchylky od průměrné rychlosti letu určilo statisticky významný rozdíl mezi daty ($p = 0.008$). Ačkoli je z obrázku 3.8 patrný větší rozptyl RMSE i průměrné rychlosti letu u pilotů skupiny s2, hodnota parametru p jednoznačně odmítla, že by mezi daty existoval statisticky významný rozdíl.

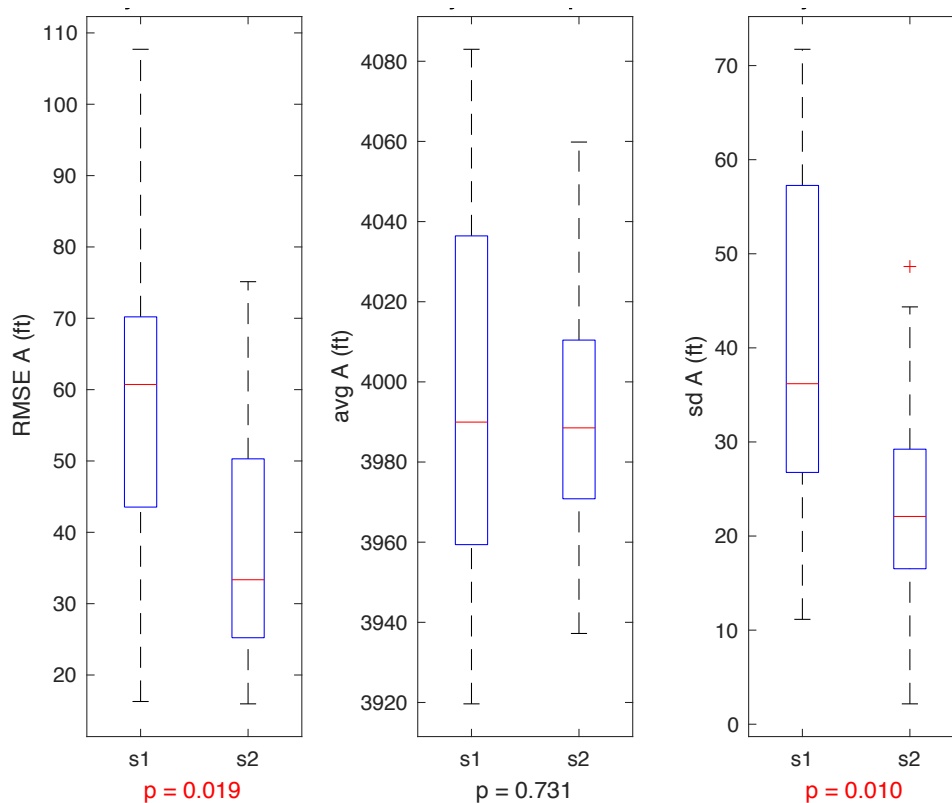


Obrázek 3.8: Úkon 2 - Distribuce naměřených dat pro RMSE, průměrné hodnoty (avg) a směrodatné odchylky (sd) pro rychlost (H) u skupiny subjektů charakterizovaných přestávkou v létání (s1) a skupiny subjektů dosud aktivně působících (s2), spolu s vyznačením signifikantních rozdílů mezi distribucemi prostřednictvím p-hodnot (signifikantní rozdíl pro $p < 0.05$).

Úkon č. 3

- Instrukce: Toč doprava do kurzu 330°
- výška, dotočení kurzu, rychlost

Při vyhodnocování letových dat naměřených v průběhu třetího úkonu nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl u parametru dotočení do kurzu 330°. Naproti tomu v udržování konstantní výšky a rychlosti letu v průběhu točení do stanoveného kurzu byl nalezen statisticky významný rozdíl, který prezentují grafy na obrázku 3.9 a 3.10.



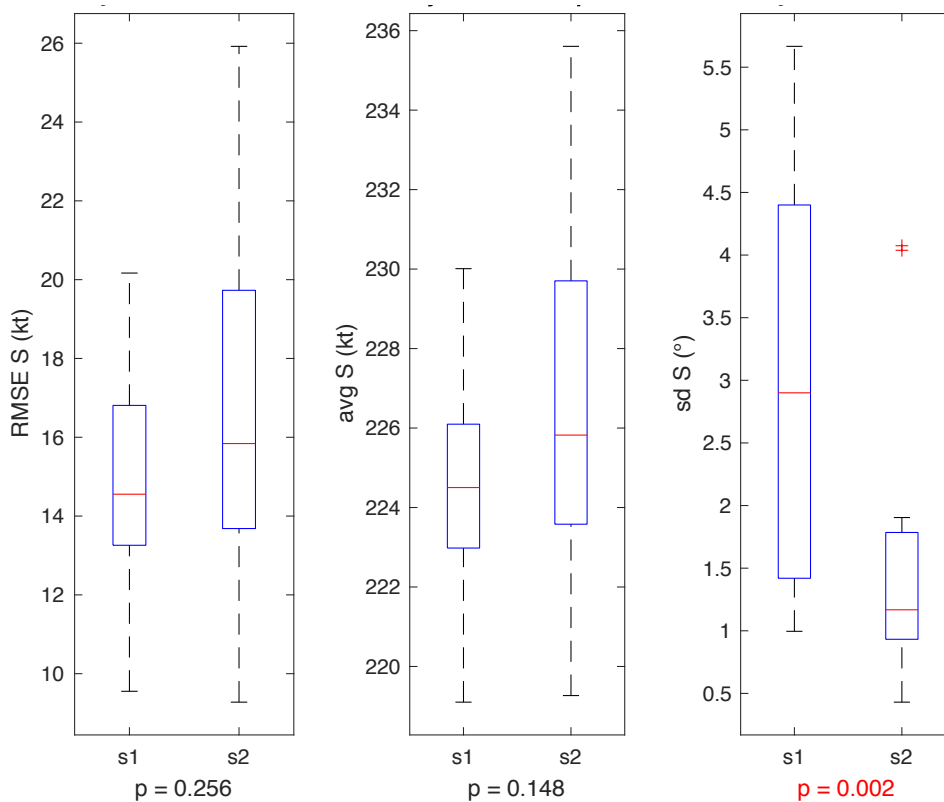
Obrázek 3.9: Úkon 3 - Distribuce naměřených dat pro RMSE, průměrné hodnoty (avg) a směrodatné odchylky (sd) pro výšku (A) u skupiny subjektů charakterizovaných přestávkou v létání (s1) a skupiny subjektů dosud aktivně působících (s2), spolu s vyznačením signifikantních rozdílů mezi distribucemi prostřednictvím p-hodnot (signifikantní rozdíl pro $p < 0.05$)

V průběhu točení do kurzu 330° udržovali piloti skupiny s2 předepsanou výšku s vyšší správností ve srovnání s piloty skupiny s1. Medián průměrné výšky pilotů byl srovnatelný, z grafického zobrazení lze však říci, že piloti skupiny s2 ji udržovali s menšími odchylkami. Důsledkem toho dosáhl parametr p v případě RMSE a směrodatné odchylky hodnoty nižší než 0.05. Díky tomu byla potvrzena nulová hypotéza, tedy že mezi skupinami existuje statisticky významný rozdíl. Ten byl opět prokázán ve prospěch skupiny s2 (Obr. 3.9).

V průběhu manévru bylo úkolem pilota udržovat konstantní rychlost 210 kt. Ze zobrazení výsledné RMSE lze říci, že piloti skupiny s2 udržovali mírně vyšší rychlost, stejně tak



medián průměrné rychlosti byl u nich vyšší než u skupiny s1. Rozdíl však nedosáhl statistické významnosti. Naproti tomu vyhodnocení hodnot směrodatných odchylek ukázalo, že piloti skupiny s2 průměrnou rychlost udržovali statisticky významně přesněji, kdy hodnota parametru p byla určena jako 0.002. Lze tedy říci, že piloty s2 udržovali průměrnou rychlost přesněji (Obr. 3.10).



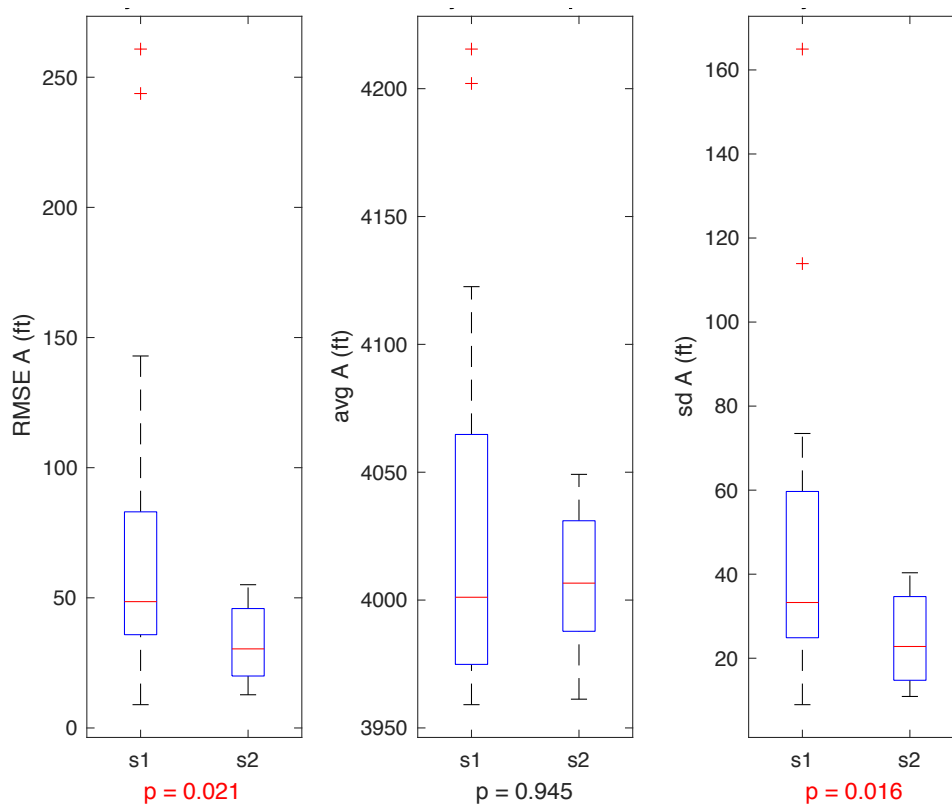
Obrázek 3.10: Úkon 3 - Distribuce naměřených dat pro RMSE, průměrné hodnoty (avg) a směrodatné odchylky (sd) pro rychlost (S) u skupiny subjektů charakterizovaných přestávkou v létání (s1) a skupiny subjektů dosud aktivně působících (s2), spolu s vyznačením signifikantních rozdílů mezi distribucemi prostřednictvím p-hodnot (signifikantní rozdíl pro $p < 0.05$).



Úkon č. 4

- Instrukce: Toč doleva do kurzu 240°, udržuj náklon 20°
- výška, dotočení kurzu, rychlost, náklon

Úkon č. 4 byl obdobný s předcházejícím úkonem, po pilotovi bylo pouze navíc požadováno, aby zatáčkou prováděl s náklonem 20°.



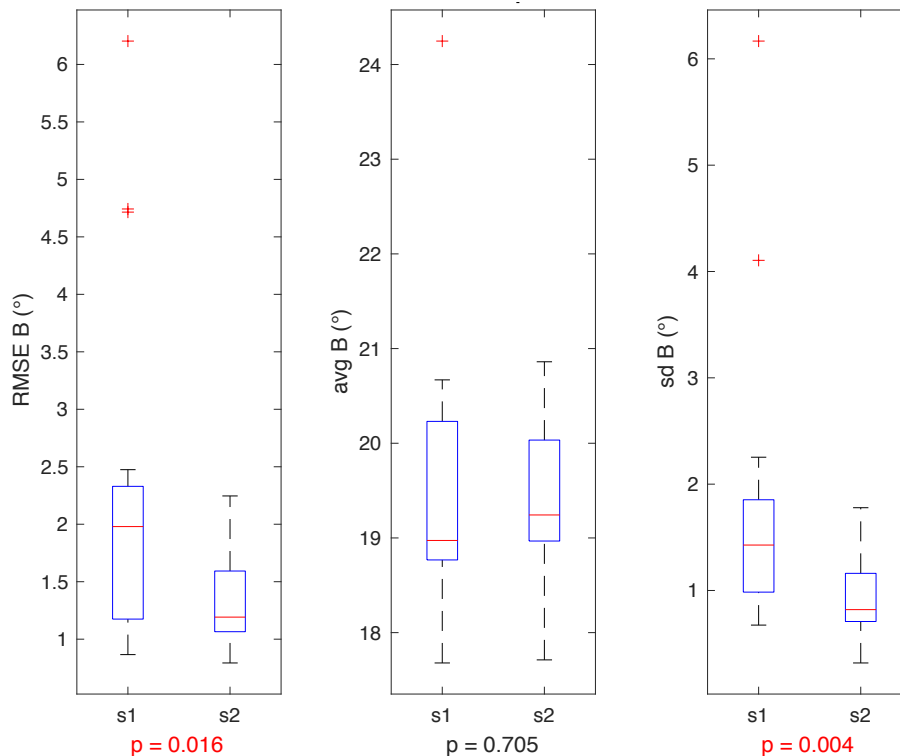
Obrázek 3.11: Úkon 4 - Distribuce naměřených dat pro RMSE, průměrné hodnoty (avg) a směrodatné odchylky (sd) pro výšku (A) u skupiny subjektů charakterizovaných přestávkou v létání (s1) a skupiny subjektů dosud aktivně působících (s2), spolu s vyznačením signifikantních rozdílů mezi distribucemi prostřednictvím p-hodnot (signifikantní rozdíl pro $p < 0.05$)

Oproti úkonu č. 3 nebyl prokázán statisticky významný rozdíl v udržování předepsané rychlosti, byl však pozorován ve schopnosti udržovat zadaný náklon. Shodně s předcházejícím



úkonem dosáhl parametr p hodnoty nižší než 0.05 rovněž v případě RMSE a směrodatné odchylky v případě výšky. Hodnoty týkající se naměřené výšky jsou zobrazené na obrázku 3.11.

Zatímco medián průměrné výšky napovídá vyšší správnost udržování požadované výšky u pilotů skupiny s1, rozptyl dat je nižší u pilotů skupiny s2. Parametr p zde žádný rozdíl neodhalil. Naproti tomu hodnota p pro RMSE i směrodatnou odchylku klesla pod hranici 0.05. Z obou grafů je skutečně patrné, že piloti s2 dosahovali nižších odchylek od výšky 4000 stop a méně oscilovali okolo své průměrné hodnoty.



Obrázek 3.12: Úkon 4 - Distribuce naměřených dat pro RMSE, průměrné hodnoty (avg) a směrodatné odchylky (sd) pro náklon (B) u skupiny subjektů charakterizovaných přestávkou v létání (s1) a skupiny subjektů dosud aktivně působících (s2), spolu s vyznačením signifikantních rozdílů mezi distribucemi prostřednictvím p -hodnot (signifikantní rozdíl pro $p < 0.05$).



V případě náklonu byl nalezen statisticky významný rozdíl v případě hodnot RMSE a směrodatných odchylek, se kterými piloti udržovali svůj průměrný náklon. Piloti prováděli zatáčku z kurzu 330° do kurzu 240°. Aby nebyly výsledné hodnoty průměrného náklonu ovlivněny částí letu před zahájením točení a při dosahování kurzu 240°, byl náklon hodnocen mezi kurzy 325° a 245°. Grafická prezentace dat je na obrázku 3.12.

Úkon č. 5

- Instrukce: Stoupej do výšky 6 000 ft vertikální rychlostí 1 000 ft/min.
- dostoupání výšky, kurz, rychlost, vertikální rychlost

Pátý úkon kombinoval let konstantním kurzem a stoupání předepsanou vertikální rychlostí, přičemž ani v jednom z těchto parametrů nebyl mezi skupinami nalezen statisticky významný rozdíl. Parametr p však dosáhl hodnoty nižší než 0.05 v případě přesnosti, s jakou piloti dostoupali výšku 6 000 stop a přesnosti udržování předepsané rychlosti 210 kt.

Z obrázku 3.13 je patrné, že odchylky od předepsané výšky po jejím dosažení určené pomocí RMSE byly pro obě skupiny pilotů přibližně shodné, stejně jako rozptyl průměrných hodnot této výšky. Statisticky významný rozdíl byl však nalezen pouze v případě směrodatné odchylky od průměrné výšky, kde parametr p dosáhl hodnoty 0.004. Lze tedy říci, že po dosažení cílové výšky piloti skupiny s2 okolo této výšky méně oscilovali.

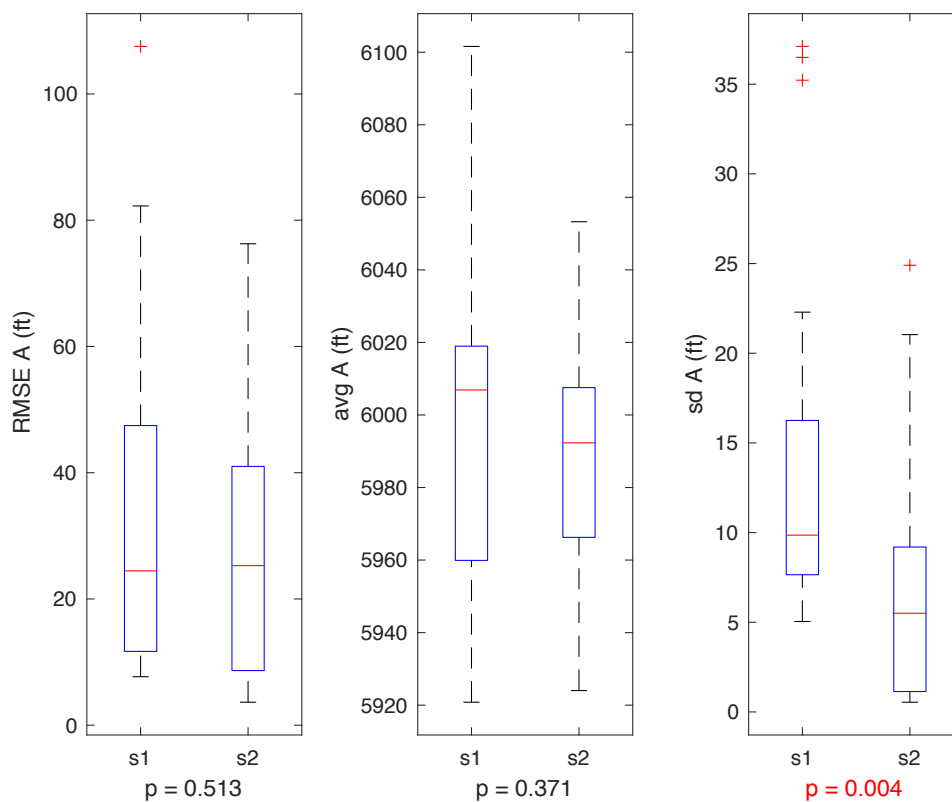
Obdobná situace byla identifikována v případě udržování předepsané rychlosti (Obr. 3.14). Zatímco hodnoty RMSE a hodnoty průměrné rychlosti se statisticky významně nelišili, medián hodnot směrodatné odchylky byl v případě pilotů skupiny s2 významně nižší.

Úkon č. 6

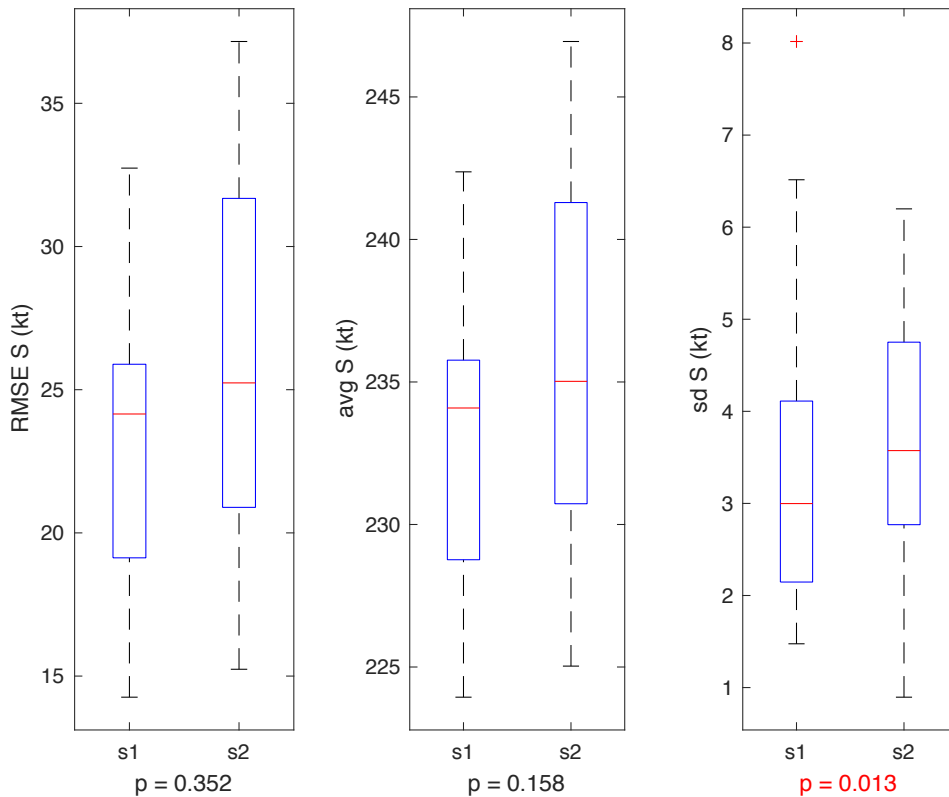
- Klesej do výšky 4 000 ft vertikální rychlostí 1 000 ft/min
- sklesání do výšky, kurz, rychlost, vertikální rychlost



Úkon č. 6 byl obdobný s úkonem č. 5, pilot v jeho průběhu pouze namísto stoupání klesal. V žádném ze sledovaných parametrů nebyl mezi skupinami pilotů identifikován statisticky významný rozdíl.



Obrázek 3.13: Úkon 5 - Distribuce naměřených dat pro RMSE, průměrné hodnoty (avg) a směrodatné odchylky (sd) pro dostoupání výšky (A) u skupiny subjektů charakterizovaných přestávkou v létání (s1) a skupiny subjektů dosud aktivně působících (s2), spolu s vyznačením signifikantních rozdílů mezi distribucemi prostřednictvím p-hodnot (signifikantní rozdíl pro $p < 0.05$).



Obrázek 3.14: Úkon 5 - Distribuce naměřených dat pro RMSE, průměrné hodnoty (avg) a směrodatné odchytky (sd) pro rychlost (S) u skupiny subjektů charakterizovaných přestávkou v létání (s1) a skupiny subjektů dosud aktivně působících (s2), spolu s vyznačením signifikantních rozdílů mezi distribucemi prostřednictvím p-hodnot (signifikantní rozdíl pro $p < 0.05$).

Úkon č. 7

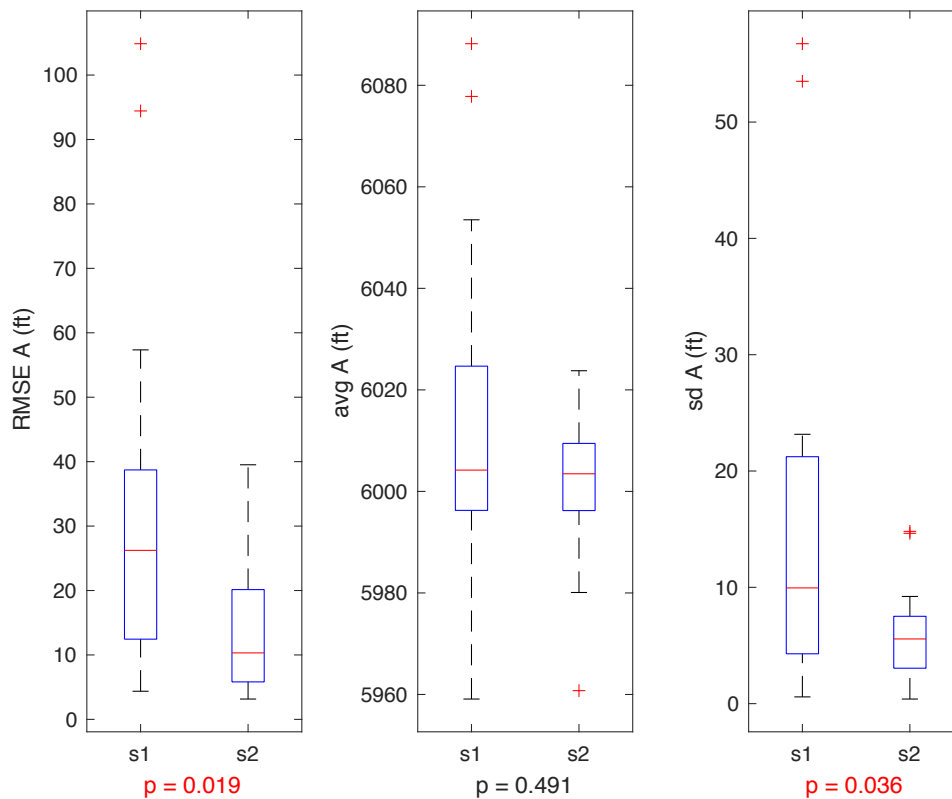
- Stoupej do výšky 6 000 ft vertikální rychlostí 1 000 ft/min, toč doprava do kurzu 330°
- dostoupání výšky, dotočení kurzu, rychlost, vertikální rychlost

Při vyhodnocení sedmého úkonu kombinujícího točení do požadovaného kurzu a stoupání předepsanou vertikální rychlostí byl identifikován statisticky významný rozdíl v případě udržování výšky, do které piloti dostoupali a odchylek od průměrné rychlosti letu. V dotočení



požadovaného kurzu ani v zaznamenané vertikální rychlosti nedosáhl parametr p hodnoty nižší než 0.05, a proto zde nebyl identifikován statisticky významný rozdíl.

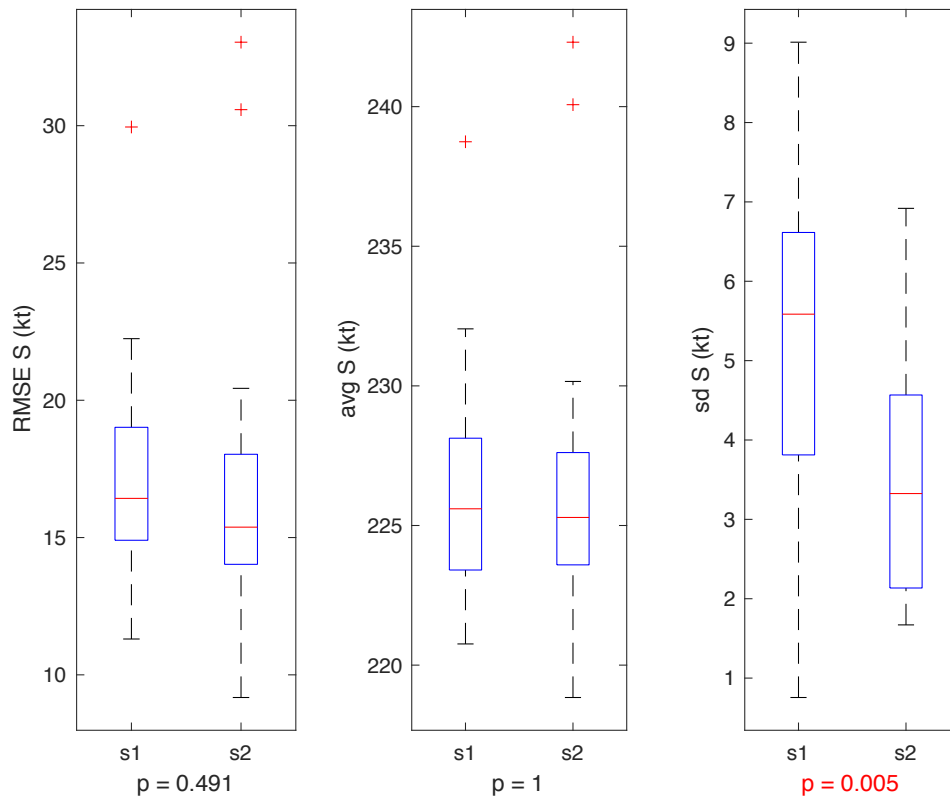
V případě výšky byl nalezen statisticky významný rozdíl u střední kvadratické chyby mezi požadovanou výškou pro stoupání a skutečnou výškou letu (RMSE). Shodně byla hodnota p určena pod hranicí 0.05 v případě směrodatných odchylek při udržování průměrné výšky letu. Medián průměrných hodnot po ukončení stoupání byl pro obě skupiny shodně těsně nad hranicí 6 000 stop (Obr. 3.15).



Obrázek 3.15: Úkon 7 - Distribuce naměřených dat pro RMSE, průměrné hodnoty (avg) a směrodatné odchylky (sd) pro dostoupaní výšky (A) u skupiny subjektů charakterizovaných přestávkou v létání (s1) a skupiny subjektů dosud aktivně působících (s2), spolu s vyznačením signifikantních rozdílů mezi distribucemi prostřednictvím p -hodnot (signifikantní rozdíl pro $p < 0.05$)



Orázek 3.16 pak porovnává naměřená data v případě udržování předepsané rychlosti letu. Zde byly identifikovány statisticky významně menší odchylky od průměrné rychlosti letu v podobě směrodatné odchylky. Obě skupiny pilotů udržovali rychlost shodně o přibližně 15 kt vyšší, než byla předepsaná rychlost.



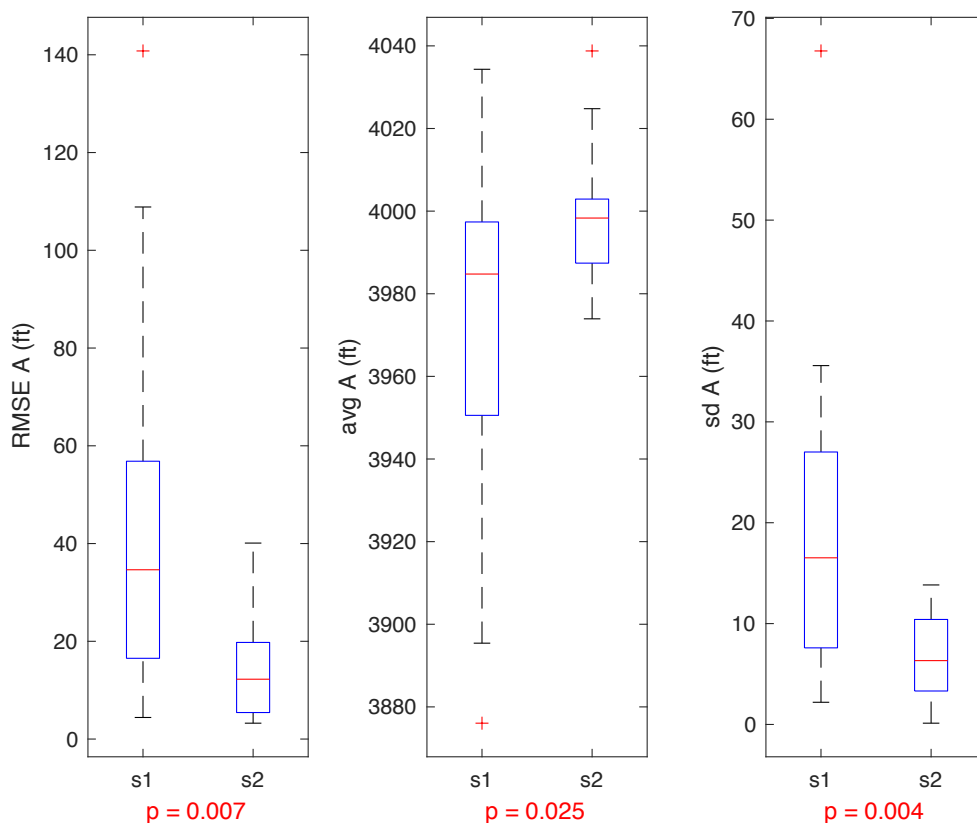
Obrázek 3.16: Úkon 7 - Distribuce naměřených dat pro RMSE, průměrné hodnoty (avg) a směrodatné odchylky (sd) pro rychlost (S) u skupiny subjektů charakterizovaných přestávkou v létání (s1) a skupiny subjektů dosud aktivně působících (s2), spolu s vyznačením signifikantních rozdílů mezi distribucemi prostřednictvím p-hodnot (signifikantní rozdíl pro $p < 0.05$).

Úkon č. 8

- Klesej do výšky 4000 ft vertikální rychlostí 1000 ft/min, toč doleva do kurzu 240°
- sklesání do výšky, dotočení kurzu, rychlost, vertikální rychlost



Poslední ze série letových manévřů kombinoval klesání předepsanou vertikální rychlostí a točení do požadovaného kurzu. Svým obsahem byl tedy shodný s úkonem č. 7. Statisticky významné rozdíly ve schopnosti udržet stálou výšku či do ní dostoupat či doklesat byly opakovaně identifikovány v průběhu předešlých letových manévřů, stejně tak tomu bylo i v případě posledního manévru. Hodnota parametru p klesla pod 0.05 při porovnávání hodnot RMSE, průměrné výšky po sklesání a směrodatných odchylek od průměrné výšky. Grafické i číselné znázornění se nachází na obrázku 3.17.



Obrázek 3.17: Úkon 8 - Distribuce naměřených dat pro RMSE, průměrné hodnoty (avg) a směrodatné odchylky (sd) pro sklesání do výšky (A) u skupiny subjektů charakterizovaných přestávkou v létání (s1) a skupiny subjektů dosud aktivně působících (s2), spolu s vyznačením signifikantních rozdílů mezi distribucemi prostřednictvím p -hodnot (signifikantní rozdíl pro $p < 0.05$)



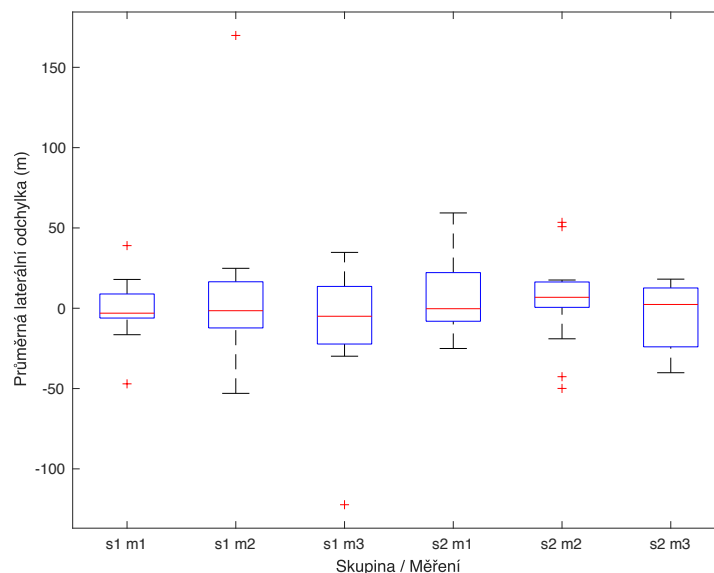
Úkon č. 9, 10 a 11

- Proved' ILS přiblížení a přistání
- vertikální odchylka, laterální odchylka

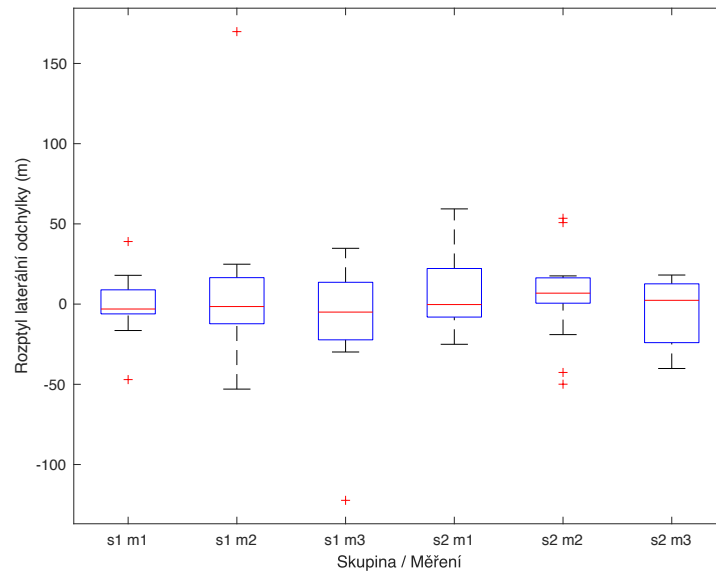
Výsledky této analýzy ukazují, že neexistuje dostatek důkazů o tom, že mezi třemi sledovanými skupinami měření ILS přiblížení existuje statisticky významný rozdíl. Uvedené platí pro všechny sledované parametry, a tedy pro průměrné odchylky a rozptyl těchto odchylek od ideální sestupové roviny ve vertikálním a laterálním směru.

Analýza také nenašla statisticky významné rozdíly mezi skupinami. To znamená, že obě skupiny prováděli ILS přiblížení s rovnakoou chybou.

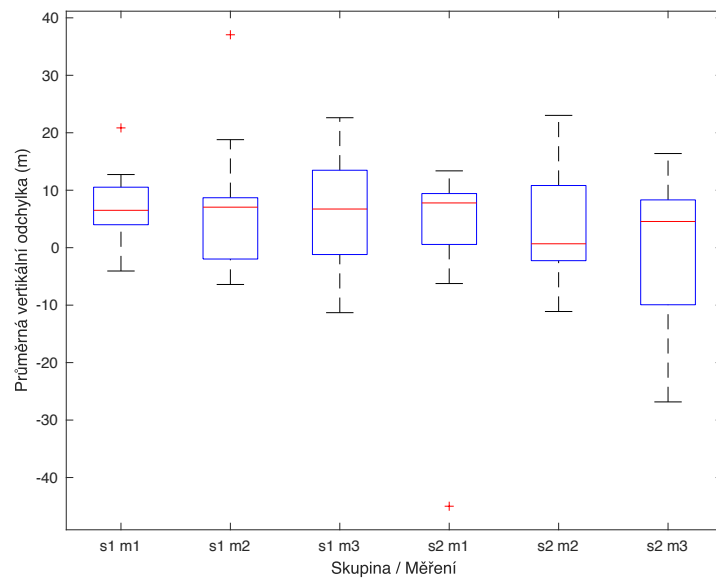
Grafická prezentace výsledků je znázorněna na obrázcích 3.18, 3.19, 3.20 a 3.21



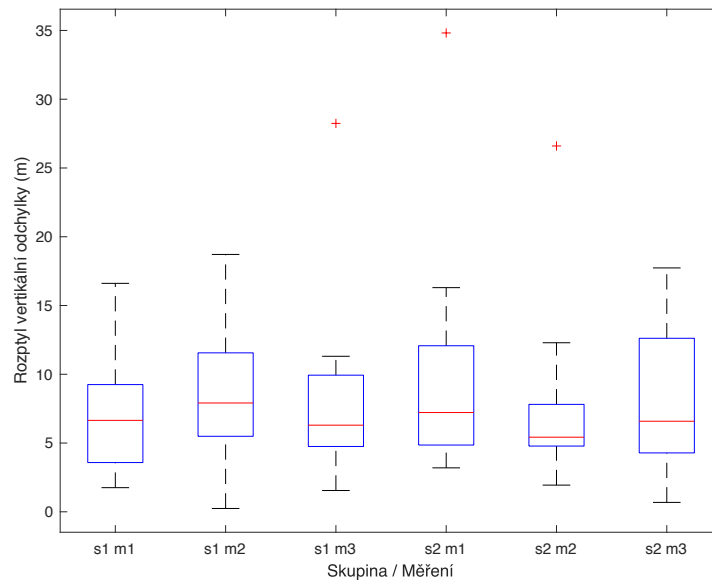
Obrázek 3.18: Distribuce průměrné laterální odchylky od trajektorie definované systémem ILS pro skupinu pilotů charakterizovanou přestávkou v létání (s1) a pilotů dosud aktivně působících (s2) pro první (m1), druhý (m2) a třetí (m3) let úseku konečného přiblížení



Obrázek 3.19: Distribuce rozptylu laterální odchylky od trajektorie definované systémem ILS pro skupinu pilotů charakterizovanou přestávkou v létání (s1) a pilotů dosud aktivně působících (s2) pro první (m1), druhý (m2) a třetí (m3) let úseku konečného přiblížení



Obrázek 3.20: Distribuce průměrné vertikální odchylky od trajektorie definované systémem ILS pro skupinu pilotů charakterizovanou přestávkou v létání (s1) a pilotů dosud aktivně působících (s2) pro první (m1), druhý (m2) a třetí (m3) let úseku konečného přiblížení

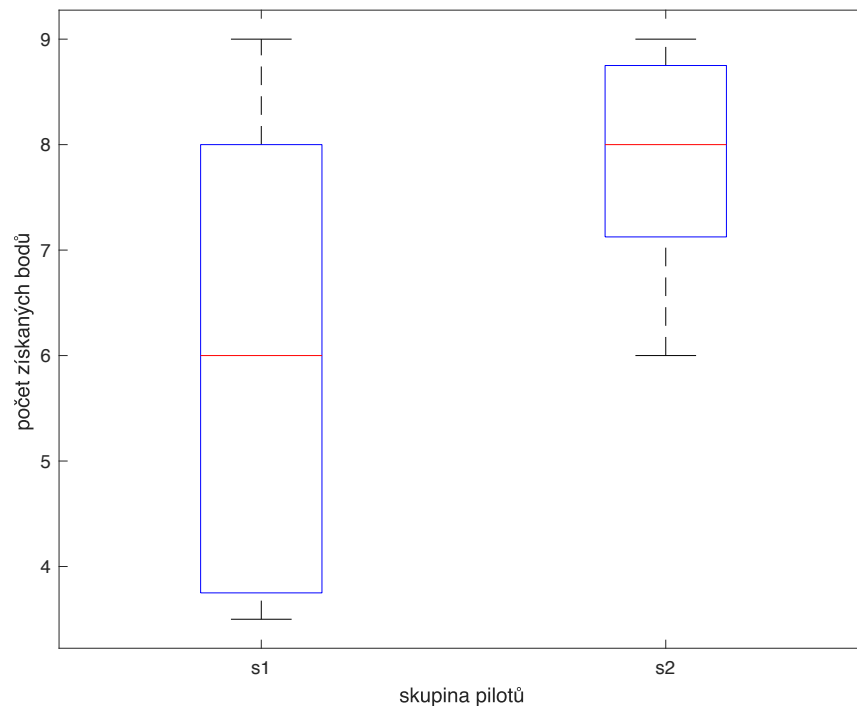


Obrázek 3.21: Distribuce rozptylu vertikální odchylky od trajektorie definované systémem ILS pro skupinu pilotů charakterizovanou přestávkou v létání (s1) a pilotů dosud aktivně působících (s2) pro první (m1), druhý (m2) a třetí (m3) let úseku konečného přiblížení

3.3 Vyhodnocení znalostí SOP

V první části testu znalostí SOP bylo úkolem subjektu uvést úkony spadající do Procedury před spouštěním motorů (Before start procedures - First Officer). Maximální možný bodový zisk byl 9 bodů a způsob vyhodnocení byl popsán v kapitole 2.3.3. Jelikož ze skupiny s1 a s2 pracoval vždy právě jeden subjekt pro odlišného leteckého dopravce ve srovnání s ostatními piloty, lišila se odpovídající procedura a uvedené výsledky nebylo možné použít k vyhodnocení. Dále bylo zjištěno, že jeden z pilotů skupiny s2 uvedl postupy odlišné procedury, kvůli čemuž musely být i tyto vyřazeny z dalšího zpracování. Výsledná analýza první části testu znalosti SOP tedy probíhala nad 16 piloty skupiny s1 a 15 piloty skupiny s2.

Vyhodnocení probíhalo v programovém prostředí Matlab 2019b. Bylo zjištěno, že průměrný bodový zisk první části testu znalosti SOP byl u subjektů skupiny s1 6 bodů, což představovalo 67 % možného bodového zisku. U skupiny s2 byl průměrný bodový zisk 7.8 bodů, což představovalo 86.7 % možného bodového zisku. Grafy rozptylů bodového zisku pro obě skupiny jsou zobrazeny na obrázku 3.22.



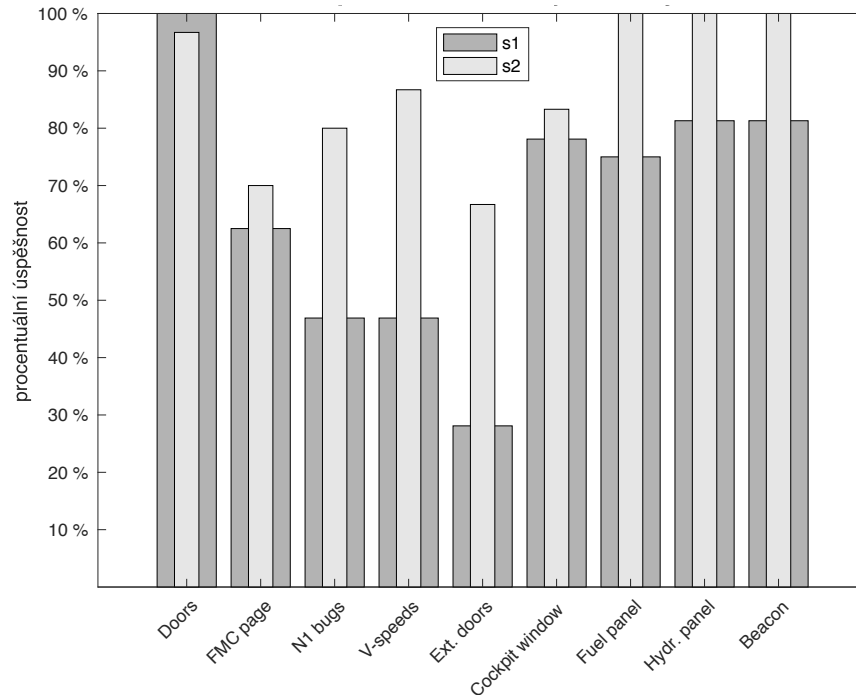
Obrázek 3.22: Distribuce bodového zisku z 1. části testu znalostí standardních provozních postupů u skupiny subjektů charakterizovaných přestávkou v létání (s1) a skupiny subjektů dosud aktivně působících (s2)

Pomocí Mann-Whitneyova neparametrického testu s hladinou významnosti α opět rovnou hodnotě 0.05 bylo zjištěno, že mezi úspěšnostmi obou skupin pilotů v první části testu znalostí SOP existuje statisticky významný rozdíl, přičemž hodnota parametru p je rovna hodnotě 0.012. Lze tedy říci, že toho času aktivně působící piloti dosáhli v první části testu znalostí SOP významně lepšího výsledku.

Dále byla vyhodnocena procentuální úspěšnost, s jakou piloti dané skupiny uváděli správně konkrétní krok procedury Before Start Procedures - First Officer. Výsledek je graficky znázorněn na obrázku 3.23.

Z grafu (Obr. 3.23) je patrné, že úspěšnost obou skupin pilotů je nejnižší u úkonu kontroly zavření všech dveří letadel. Zatímco u pilotů skupiny s2 se úspěšnost pohybuje okolo 70 %, u pilotů skupiny s1 je to 30 %. Pod 70 % pak klesá úspěšnost alespoň jedné skupiny pilotů rovněž u kontroly správně zvolené stránky na displeji palubního počítače (FMC page) a zadání

výkonu a rychlostí pro vzlet (N1 bugs & V-speeds) do palubního počítače. Kromě prvního úkonu však byla zjištěna vyšší průměrná úspěšnost pilotů skupiny s2 u všech zbývajících úkonů.



Obrázek 3.23: Úspěšnost uvedení konkrétního úkonu procedury Před spuštěním motorů u skupiny subjektů charakterizovaných přestávkou v létání (s1) a skupiny subjektů dosud aktivně působících (s2)

Od pilota se předpokládá správné provedení všech úkonů procedury. Pokud budeme pro analýzu rizik uvažovat úkony s úspěšností nižší než 70 %, zaměříme se na FMC page, N1 bugs, V-speeds a Ext. doors.

Kontrolu zvolené stránky na displeji palubního počítače provádějí oba piloti, přičemž v průběhu následného čtení checklistu z jedné ze stránek odečítají hodnoty. Existuje proto vysoká pravděpodobnost odhalení této chyby. Dále můžeme uvažovat, že se nejedná o kritickou položku z hlediska bezpečnosti, neboť jde pouze o zobrazovanou stránku na displeji, nikoli o vložení dat do systému. Ačkoli na základě zjištěných dat můžeme říci, že existuje pravděpodobnost vzniku této chyby, šance na její odhalení je vysoká a její následky



zanedbatelné. Z hlediska bezpečnosti tedy nevzniká dodatečné riziko, které by bylo třeba dále řídit.

Úspěšnost na shodné úrovni 47 % byla identifikována u úkonu kontroly vzletových výkonů (N1 bugs) a rychlostí pro vzlet (V-speeds). Z pohledu bezpečnosti se jedná o kriticky důležitý úkon, neboť piloti tato data potřebují pro bezpečné provedení vzletu. Ačkoli byla pravděpodobnost výskytu této chyby identifikována jako vysoká, pravděpodobnost jejího následného odhalení je rovněž vysoká, neboť shodnou kontrolu provádí oba piloti a hodnoty výkonu i rychlostí jsou následně kontrolovány v průběhu čtení checklistu. Z hlediska bezpečnosti tedy nevzniká dodatečné riziko, které by bylo třeba dále řídit.

Nejnižší úspěšnost, konkrétně 28 %, byla určena u kontroly zavření externích dveří letadla. Tento úkon provádí pouze druhý pilot, z vnějšku letadla kontrolu zavření dveří provádí agent asistující odbavení letadla. V případě oboustranného přehlédnutí nezavřených dveří však checklist kontrolovaný před zahájením poježdění letadla požaduje po posádce stisknutí panelu Recall, po němž by se na přilehlém tablu rozsvítila kontrolka indikující nezavřené vnější dveře. Ačkoli by zahájení letu s nesprávně zavřenými dveřmi představovalo vysoké riziko vůči bezpečnosti letu, pravděpodobnost odhalení této chyby je velmi vysoká. Z hlediska bezpečnosti tedy nevzniká dodatečné riziko, které by bylo třeba dále řídit.

Ve druhé části testu znalostí SOP bylo úkolem subjektu uvést posloupnost panelů, které pilot kontroluje v rámci Předletové procedury (Preflight procedures - First Officer). Jelikož ze skupiny s1 a s2 pracoval vždy právě jeden subjekt pro odlišného leteckého dopravce ve srovnání s ostatními piloty, lišila se odpovídající procedura a uvedené výsledky nebylo možné použít k vyhodnocení. Analýza proto byla provedena nad výsledky 16 subjektů z každé ze skupin pilotů.

Obrázek 3.24 je fotografií kokpitu letounu Boeing 737NG, v němž jsou zvýrazněny a chronologicky očíslovány jednotlivé panely, které se nacházely v zadání druhé části testu zaměřeného na SOP.

Maximální počet získaných bodů byl 10 a způsob vyhodnocení byl popsán na začátku kapitoly Hodnocení SOP. Vyhodnocení probíhalo v programovém prostředí Matlab 2019b. Bylo zjištěno, že průměrný bodový zisk subjektů spadajících do skupiny s1 byl 6.9 bodů, což

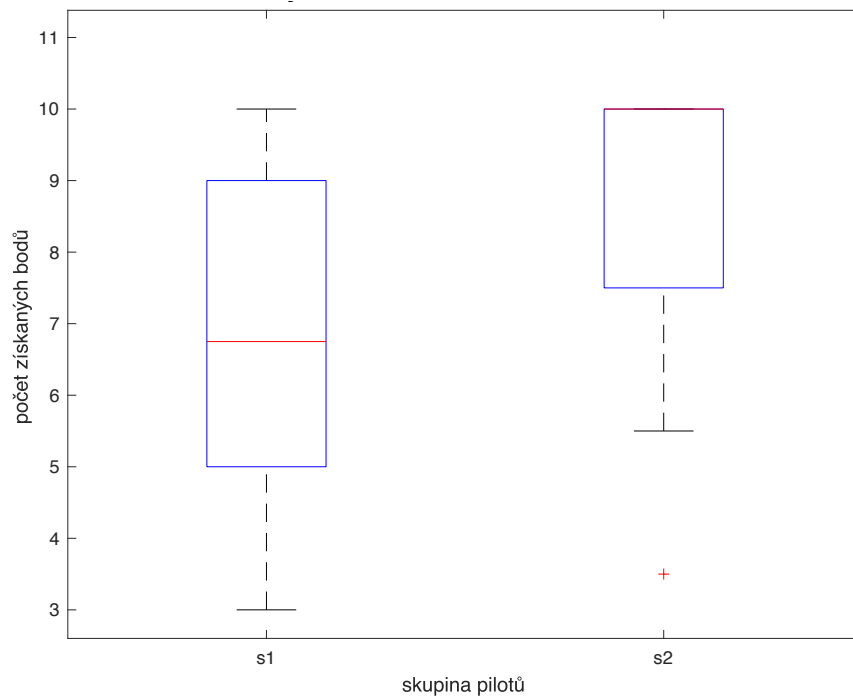


Obrázek 3.24: Kokpit letounu Boeing 737NG s označenými panely (1 - Flight control panel, 2 - Fuel panel, 3 - Electrical panel, 4 - Window heat panel, 5 - Probe heat panel, 6 - Hydraulic panel, 7 - Cabin pressurization panel, 8 - EFIS control panel, 9 - Ground proximity panel, 10 - Auto brake select switch)

představovalo 69 % možného bodového zisku. U skupiny s2 byl průměrný bodový zisk 8,6 bodů, což představovalo 86 % možného bodového zisku. Grafy rozptylů bodového zisku pro obě skupiny jsou zobrazeny na obrázku 3.25.

Pomocí Mann-Whitneyova neparametrického testu s hladinou významnosti α rovnou hodnotě 0.05 bylo zjištěno, že úspěšností obou skupin pilotů v první části testu znalostí

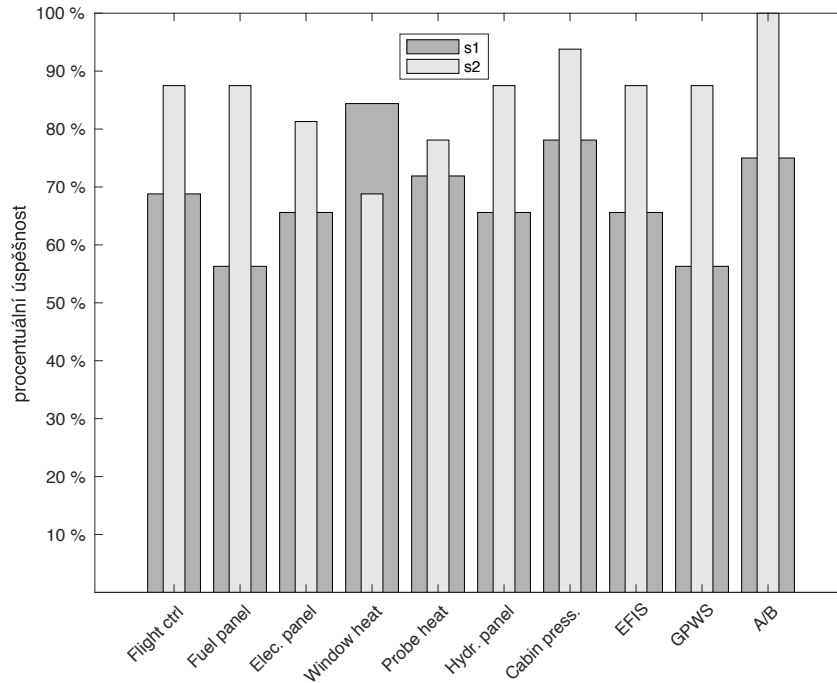
SOP existuje statisticky významný rozdíl, přičemž hodnota parametru p je rovna hodnotě 0.0497. Lze tedy říci, že toho času aktivně působící piloti dosáhli ve druhé části testu znalostí SOP významně lepšího výsledku.



Obrázek 3.25: Distribuce bodového zisku z 2. části testu znalostí standardních provozních postupů u skupiny subjektů charakterizovaných přestávkou v létání (s1) a skupiny subjektů dosud aktivně působících (s2)

Následně byla provedena analýza hodnotící úspěšnost uvedení správné chronologické posloupnosti u jednotlivých panelů. S výjimkou panelu vyhřívání oken (Window Heat), dosáhla skupina pilotů s2 ve všech případech vyšší průměrné úspěšnosti. Při zvolené proceduře pilot vizuálně kontroluje ovládací panely systémů, které jsou umístěné v kokpitu letounu. Jelikož na sebe tyto panely navazují, nemusí pilot bezpodmínečně znát z paměti jejich posloupnost podle názvů, ale spíše podle umístění. Tento test tedy ověřoval schopnost pilota prostorově zařadit vybraný panel do kokpitu letounu. Pokud v testu uvedl nesprávnou posloupnost, nelze říci, že by i ve skutečnosti uvedené panely kontroloval v nesprávném pořadí. Dá se tedy říci, že vyhodnocení druhé části testu znalosti SOP prokázalo statisticky

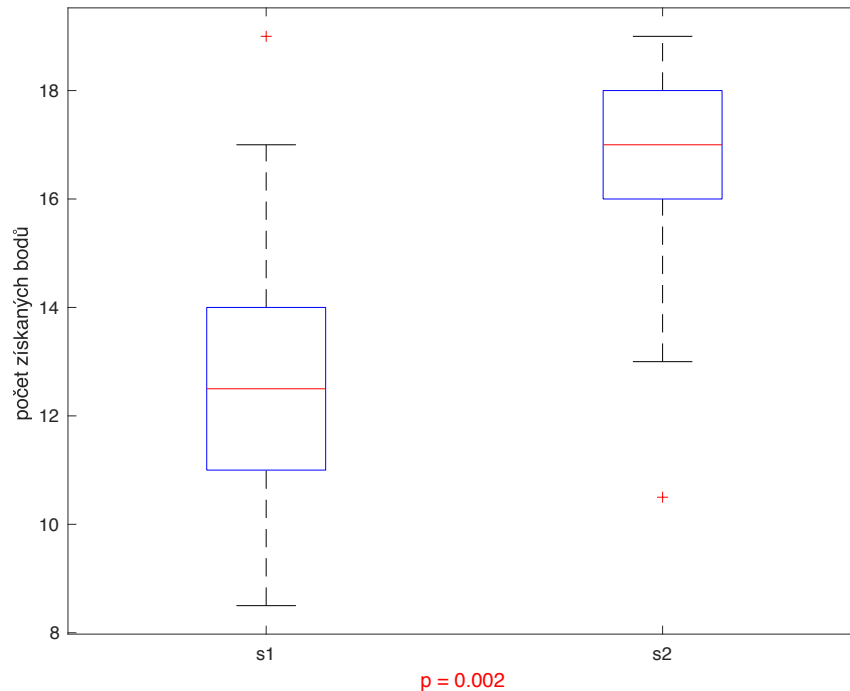
významný rozdíl ve schopnosti pilotů přiřadit konkrétní panel na správné místo v kokpitu letounu. Tento závěr odpovídá předpokladu, že se pilot s nedávnou letovou zkušeností bude s vyšší úspěšností orientovat v kokpitu letadla.



Obrázek 3.26: Úspěšnost uvedení správné chronologické posloupnosti úkonů spadajících do Předletové procedury u skupiny subjektů charakterizovaných přestávkou v létání (s1) a skupiny subjektů dosud aktivně působících (s2)

Porovnání úspěšnosti uvedení chronologické posloupnosti jednotlivých ovládacích panelů v kokpitu letounu je na obrázku 3.26.

Maximální možný souhrnný bodový zisk subjektu z testu znalostí SOP byl 19 bodů. Průměrný bodový zisk skupiny s1 byl 12.9 bodů, zatímco průměrný bodový zisk skupiny s2 byl 16.5 bodů. Při porovnání dosažených bodových zisků pomocí Mann-Whitneyova testu byl nalezen statisticky významný rozdíl mezi skupinami pilotů ve prospěch toho času aktivně působících pilotů, parametr p byl určen jako 0.002. Obrázek 3.27 nabízí grafické porovnání obou skupin pilotů.



Obrázek 3.27: Distribuce celkových bodových zisků z testu znalostí standardních provozních postupů mezi skupinou pilotů charakterizovaných přestávkou v létání (s1) a skupinou pilotů dosud aktivně působících (s2), spolu s vyznačením signifikantních rozdílů mezi distribucemi prostřednictvím p-hodnot (signifikantní rozdíl pro $p < 0.05$).

3.4 Vyhodnocení NASA Task Load Index

V první části dotazníku přiřazoval subjekt na stupnici 1 - 20 každému parametru váhu na základě toho, jakou měrou se podle něj podílel na celkovém subjektivně vnímaném zatížení v průběhu experimentu. Ve druhé části dotazníku pilot porovnával vždy dvojici parametrů a přiřadil preferenci tomu, který více ovlivňoval jeho zátěž v průběhu letu.

Kombinací obou částí dotazníku bylo pro každou oblast zatížení určeno hodnocení (AR), přičemž jejich součtem byl získán Raw Index, tedy hodnota reprezentující celkovou subjektivně vnímanou zátěž pilota. Dále bylo provedeno porovnání hodnot AR pro jednotlivé druhy zátěže mezi skupinami pilotů s cílem zjistit, zdali existuje statisticky významný rozdíl ve vlivu dané zátěže mezi skupinami pilotů. Při hladině významnosti $\alpha = 5 \%$ nebyl



nalezen statisticky významný rozdíl mezi vlivem kterékoli zátěže na skupiny pilotů. Hodnoty dopočítaných parametru p jsou uvedené v tabulce 3.1.

Tabulka 3.1: Výsledky Mann-Whitneyova testu ve formě p-hodnot při porovnání sledovaných skupin pilotů v jednotlivých oblastech zatížení hodnocených v rámci NASA Task Load Indexu (MD - Psychická zátěž, PD - Fyzická zátěž, TD - Zátěž plynoucí z tempa, EF - Úsilí, FR - Frustrace)

Hodnocená oblast	MD	PD	TD	PE	EF	FR	Raw Index
p-hodnota	0.55	0.9	0.84	0.5	0.63	0.52	0.93

Výsledný Raw Index subjektu byl získán součtem zatížení v jednotlivých oblastech, díky čemuž je možné určit, jakým procentuálním podílem jej každá z oblastí utváří. Průměrná hodnota Raw Indexu pilotů skupiny s1 dosáhla 41.6 bodů, u skupiny s2 pak 45 bodů, přičemž jeho maximální hodnota mohla dosáhnout hodnoty 100 bodů. Po výpočtu procentuálního podílu jednotlivých oblastí na celkovém zatížení pilotů bylo možné určit jejich průměrný podíl na celkovém zatížení u obou skupin pilotů. Přehled je zobrazený v tabulce 3.2.

Tabulka 3.2: Procentuální účast jednotlivých oblastí zatížení na celkovém zatížení pilotů charakterizovaných přestávkou v létání (s1) a pilotů dosud aktivně působících (s2)

Oblast zatížení	s1	s2
Psychická zátěž	27.9 %	22.4 %
Fyzická zátěž	4.5 %	4.9 %
Zátěž plynoucí z tempa	12.8 %	19 %
Spokojenost s výkonem	22.2 %	18.6 %
Úsilí	20.9 %	21.2 %
Frustrace	11.7 %	14 %

Z tabulky je patrné, že fyzická zátěž a vynakládané úsilí se u obou skupin pilotů na celkové zátěži podílely shodnou měrou. Zatímco u skupiny s1 se na celkové zátěži více podílela psychická náročnost a piloti se museli více soustředit na vlastní letový výkon, skupina



s2 více pociťovala zátěž plynoucí z tempa experimentu a rovněž na piloty nepatrně více doléhala frustrace z průběhu experimentu. V žádné z pozorovaných kategorií však na základě provedení Mann-Whitneyova testu a hodnot parametru p prezentovaných v tabulce 3.2 nebyl identifikován statisticky významný rozdíl mezi skupinami pilotů.



4 Diskuze

Tématem práce bylo prozkoumat dopad přestávky v létání na správnost a přesnost manuálního letu pilotů dopravních letadel. Vlivem náhlého poklesu objemu letecké dopravy v první polovině roku 2020 ztratilo mnoho dopravních pilotů možnost vykonávat svou profesi a cestou k návratu k ní bylo absolvování krátkého opakovacího scénáře na simulátoru dopravního letadla. V rámci rešerše jsem nebyl schopný dohledat studii či experiment, který by se zabýval otázkou, zdali taková forma cvičení dokáže u pilotů po několikaměsíční přestávce v létání obnovit potřebné kompetence. Její zodpovězení proto bylo náplní této práce.

Experiment provedený s držiteli platné typové kvalifikace pro Boeing 737NG předpokládal jejich rozdělení do dvou skupin podle toho, jestli splňují legislativní podmínku pro let s cestujícími v rámci obchodní letecké dopravy, tedy podmínku Nedávné praxe. Ta stanoví, že pilot nesmí působit v roli člena letové posádky dopravního letadla, pokud za období posledních 90 dní neabsolvoval minimálně tři vzlety a tři přistání na stejném typu letounu nebo simulátoru.

Piloti nesplňující tuto podmínku absolvovali nejprve na letovém simulátoru tři vzlety a tři přistání, po nichž následovala shodná letová část pro obě skupiny pilotů. V jejím průběhu s letounem manuálně prováděli sérii manévrů, po nichž následoval úsek konečného přiblížení. Z následného vyhodnocení letových dat vyplynulo, že piloti toho času aktivně působící v letecké dopravě dosahovali statisticky významně vyšší přesnosti letu zejména v oblasti udržování předepsané výšky a náklonu, v některých případech rovněž rychlosti a kurzu letu. Tato zjištění odpovídala hypotéze stanovené na začátku experimentu, stejně jako závěrům experimentu porovnávajícího vztah mezi nedávnou praxí dopravních pilotů s manuálním řízením letounu a přesností letu [9].

Letová část experimentu se v rámci této práce zaměřovala pouze na provádění standardních letových manévrů. Studie publikovaná v roce 2006 zkoumala pokles schopnosti dopravních pilotů provádět standardní i nestandardní letové manévry nejprve po uplynutí 6 měsíců a následně po uplynutí 12 měsíců od jejich posledního nácviku [36]. Po vyhodnocení



její autoři našli statisticky významný rozdíl v poklesu těchto dovedností po 12 měsících ve srovnání s poklesem zjištěným po 6 měsících od jejich posledního tréninku.

V tomto kontextu se shodují závěry této práce s výsledky studie z roku 2006, kdy piloti, od jejichž posledního letu uplynulo průměrně 8 měsíců, skutečně vykazovali statisticky nižší úroveň přesnosti či správnosti v provádění předepsaných letových manévřů ve srovnání s aktivně působícími piloty. Zmíněná studie ovšem kromě standardních manévřů zahrnovala rovněž simulaci nestandardních situací. Díky rozdílnosti v nedávné letové praxi jedné ze skupin pilotů ve srovnání se studií z roku 2006 se nabízí možnost obě práce rozšířit. Zapojení profesionálních pilotů s přestávkou v létání do experimentu simulujícího nestandardní situace se jeví jako zajímavý směr s potenciálem posoudit dopad této přestávky na další obor pilotních dovedností.

Při vyhodnocení dat naměřených v průběhu letů úseku konečného přiblížení nebyl nalezen statisticky významný rozdíl mezi skupinami pilotů v žádném ze sledovaných parametrů, což je v rozporu s hypotézou stanovenou před zahájením experimentu. Obdobná studie (Ebbatson, 2010) [10] posuzovala přesnost letu konečného přiblížení u pilotů v závislosti na počtu sektorů, které absolvovali v týdnu před konáním experimentu. Ačkoli existuje značný rozdíl v nedávné praxi pilotů účastnících se experimentu v rámci této práce, výsledky jsou shodné; v přesnosti ani správnosti letu úseku konečného přiblížení nebyl mezi skupinami pilotů nalezen statisticky významný rozdíl.

Ačkoli nebyla potvrzena hypotéza stanovená před zahájením experimentu, výsledek zapadá do kontextu opakovacích cvičení, která piloti podstupují. Jejich součástí je totiž nácvik letu úseku konečného přiblížení. Na základě dat můžeme vyslovit závěr shodný s autory práce (Haslbeck et al., 2014) [9], kteří uvádějí, že „pravidelné opakování manévřů v prostředí letových simulátorů vede ke zvýšené přesnosti při jejich provádění.“

Naproti tomu nácvik vybraných letových manévřů pravidelným předmětem opakovacích cvičení není. Data tedy ukazují, že si piloti navzdory 8měsíční přestávce v létání uchovávají na přijatelné úrovni ty dovednosti, které pravidelně cvičí.

V několika případech se piloti z důvodu odchylek od trajektorie definované systémem ILS rozhodli pro zahájení postupu nezdařeného přiblížení, na základě dat ovšem nelze říci,



že by se tento jev u některé skupiny pilotů vyskytoval ve statisticky významnějším počtu. Tyto výsledky lze interpretovat tak, že piloti navzdory přestávce v létání dokázali vyhodnotit nadměrné odchylky od trajektorie konečného přiblížení a včas zahájit postup nezdařeného přiblížení. Neprojevovali tendenci za každou cenu přistát a dbali v první řadě na bezpečné provedení letu. Jelikož je tento princip cvičen v rámci pravidelných opakovacích cvičení na simulátoru, na základě naměřených dat můžeme říci, že si piloti tento návyk uchovávají.

V průběhu rešerše nebyly nalezeny relevantní studie zkoumající úroveň znalostí standardních provozních postupů (SOP) mezi dopravními piloty. Vysvětlením může být, že za standardních podmínek se předpokládá jejich úplná znalost a není opodstatněné ji mimo pravidelná přezkoušení více posuzovat. O to zajímavější však může být jejich ověření u pilotů s nedostatečnou letovou praxí v posledním období.

Pro tento účel bylo úkolem pilotů po ukončení letové části experimentu vyplnit test znalostí SOP. Jedna jeho část požadovala uvedení úkonů spadajících do procedury před spuštěním motorů, další se pak zaměřovala na chronologické seřazení úkonů, které pilot provádí v rámci předletové přípravy letounu. U obou částí se průměrná úspěšnost pilotů s přestávkou v létání pohybovala okolo 68 %, v případě aktivních pilotů pak okolo 87 %. Tato zjištění odpovídají hypotéze stanovené před začátkem experimentu, která rovněž předpokládala vyšší úspěšnost u dosud aktivních pilotů.

U skupiny pilotů nesplňujících podmínku Nedávné praxe bylo zjištěno, že v případě čtyř úkonů jejich průměrná úspěšnost klesla pod 70 %, přičemž nejnižší úroveň úspěšnosti byla 30 %. Při analýze bezpečnostních dopadů plynoucích z možného neprovedení daného úkonu bylo určeno, že systém následné kontroly je v případě těchto úkonů natolik robustní, že případné selhání bude s vysokou pravděpodobností odhaleno a nebude mít vliv na bezpečnost letu.

Další hypotézou stanovenou před zahájením experimentu bylo, že piloti s přestávkou v létání budou v průběhu experimentu subjektivně vnímat vyšší úroveň zátěže. Ta byla hodnocena pomocí dotazníku NASA Task Load Index, který mezi skupinami nenalezl statisticky významný rozdíl ve vnímané zátěži. Pravděpodobným vysvětlením je, že



všichni zúčastnění byli profesionálními piloty, pro které simulované prostředí nebylo novou zkušeností.

Zajímavým závěrem nicméně je, že zatímco subjektivně vnímaná zátěž se mezi skupinami pilotů nelišila, správnost a přesnost provádění vybraných letových manévru se lišily. Ačkoli tedy piloti s přestávkou v létání udržovali určité letové parametry se statisticky významně nižší správností či přesností, nepociťovali v průběhu letu významně odlišnou úroveň zátěže.



5 Závěr

Následkem příchodu pandemie nemoci Covid-19 došlo v jarních měsících roku 2020 k zavedení mnohých cestovních omezení, které měly za následek značný pokles objemu mezinárodní letecké dopravy. Nižší počet letů nestačil mnoha aerolinkám pro naplánování minimálního počtu tří letů za posledních 90 dní všem pilotům, čímž nebyl splněn legislativní požadavek Nedávné praxe podmiňující platnost jejich typové kvalifikace. Pro jeho splnění tak letecké společnosti nahrazovaly chybějící letovou praxi výcvikem na simulátoru, který obsahoval scénář tří vzletů a tří přistání. Jelikož se ovšem jednalo o bezprecedentní situaci, neexistovala studie, která by posuzovala, jestli absolvování tohoto simulátorového cvičení po více než tříměsíční přestávce v létání zajistí dostatečnou úroveň schopností dopravních pilotů.

V rámci této diplomové práce byl z toho důvodu proveden experiment na simulátoru dopravního letounu Boeing 737NG v prostředí virtuální reality s piloty, kteří měli toho času platnou typovou kvalifikace na zvolený typ letounu. Piloti byli rozřazeni do dvou skupin podle toho, zdali splňovali regulatorní podmínku Nedávné praxe. Skupina pilotů s nedostatečným náletem nejprve pro splnění této podmínky absolvovala scénář tří vzletů a tří přistání. Následovala vyhodnocovaná část letu na simulátoru, která od pilota vyžadovala provedení předepsaných letových manévrů a v závěru rovněž zaletění tří ILS raw data přiblížení. Scénář se zaměřoval pouze na standardní situace, přičemž jeho záměrem byla pozdější analýza správnosti a přesnosti provedení předepsaných letových manévrů. Po absolvování letové části účastníci se pilot vyplnil rovněž test znalostí standardních provozních postupů (SOP) a dotazník zkoumající subjektivně vnímanou úroveň zátěže.

Následná analýza letových dat hodnotila správnost provedení úkonů pomocí odchylek naměřených dat od předepsaných hodnot. Přesnost letu byla hodnocena mírou oscilace okolo průměrné hodnoty. U většiny sledovaných úkonů byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi skupinami pilotů ve schopnosti udržovat předepsanou výšku letu, a to jak v případě udržování konstantní výšky, tak v případě přesnosti dostoupání či sklesání do předepsané výšky. Shodně byl nalezen statisticky významný rozdíl ve schopnosti udržovat předepsaný náklon, v jednotkách případů rovněž v udržování stálé rychlosti či kurzu letu. Ve všech



případech byla statisticky významně vyšší správnost či přesnost u pilotů toho času aktivně působících, což se shodovalo s hypotézou stanovenou před zahájením experimentu.

Analýza letových dat z úseku konečného přiblížení naproti tomu neprokázala statisticky významný rozdíl mezi skupinami pilotů, což bylo v rozporu s úvodní hypotézou. Pravděpodobným vysvětlením může být, že piloti při pravidelných přezkušováních na leteckém simulátoru trénují let úseku konečného přiblížení, stejně jako jej absolvují v průběhu každého letu. Letové manévry zahrnující změnu výšky či kurzu letu naopak nejsou běžným předmětem simulátorových cvičení a vlivem využívání systému autopilota ani běžnou součástí letů. Naměřená data tedy ukazují, že pravděpodobně díky pravidelnému opakování letu konečného přiblížení v rámci pravidelných simulátorových cvičení si piloti tuto dovednost udržují navzdory několikaměsíční přestávce v létání. V případě dovedností, které nejsou pravidelně cvičeny, dochází k rychlejšímu poklesu správnosti a přesnosti jejich provedení.

V testu znalostí SOP byla zjištěna vyšší úroveň znalostí u aktivně působících pilotů, což odpovídalo původní hypotéze. Zvolené procedury se vztahovaly k postupům předletové přípravy letounu a postupům před spouštěním motorů. Vyšší znalost těchto postupů ze strany toho času aktivně působících pilotů lze vysvětlit jejich častějším opakováním v poslední době. V případě předletové procedury se jedná o postup skládající se z desítek úkonů, které mohou piloti vykonávat spíše na základě motorické paměti než díky vybavení si jednotlivých úkonů procedury před jejich provedením. Analýzou rizik bylo dále určeno, že v případě úkonů, u kterých piloti chybovali nejvíce, existuje dostatečná kontrola, která s vysokou pravděpodobností povede k jejich následnému odhalení.

Dotazník NASA Task Load Index hodnotící subjektivně vnímanou úroveň zátěže navzdory původnímu předpokladu neidentifikoval rozdíl mezi oběma skupinami pilotů. Pravděpodobnou příčinou byla skutečnost, že se v případě všech zúčastněných jednalo o piloty s předešlou letovou praxí, pro které experiment nepředstavoval novou situaci, která by u nich způsobovala větší míru stresu. Analýzu vytížení subjektu v průběhu experimentu by mohla doplnit rovněž data záznamu srdeční aktivity, avšak ta nebyla zaznamenána v dostatečném množství.



Mezi oběma skupinami pilotů byl nalezen statisticky významný rozdíl v jejich náletu na letounu Boeing 737NG. Je otázkou, zdali vyšší letová zkušenost u pilotů skupiny s2 skutečně působila v jejich prospěch, neboť závěr již dříve citované studie [9] naznačuje možnou nepřímou úměru mezi letovou zkušeností dopravních pilotů a schopností přesného manuálního letu. Jelikož však rozdíl v náletech jednotlivých pilotů nebyl tak velký jako v případě zmíněné studie, domnívám se, že větší vliv na letový výkon měla právě přestávka v létání.

Omezením přímého aplikování závěrů této práce je samotný výběr subjektů do experimentu, kdy v případě pilotů s přestávkou v létání od jejich posledního letu uplynulo průměrně 255 dní. Letecká společnost, z jejichž přístupu práce vycházela, však u pilotů se srovnatelně dlouhou přestávkou v létání uplatňuje podstatně robustnější opakovací kurz než je scénář tří vzletů a tří přistání. Ten byl uplatňován zkraje léta roku 2020, kdy od zavedení omezení letového provozu uběhly ne více než čtyři měsíce a piloti podmínku Nedávné praxe nesplňovali teprve v řádu týdnů.

S ohledem na vývoj pandemie nemoci Covid-19 se v době psaní této práce jeví jako pravděpodobné, že útlum mezinárodní letecké dopravy bude přetrvávat i v období zimy 2021 a 2022. Lze proto předpokládat, že i v tomto období bude mít řada dopravních pilotů sice platnou typovou kvalifikaci, vlivem omezeného množství letů však nebude splňovat podmínky Nedávné praxe.

Nabízí se proto prostor na tuto práci navázat. Její scénář vycházel částečně z pilotních kompetencí definovaných sdružením IATA a zaměřoval se na zvládání standardních situací a postupů. Jak ovšem ukazují závěry studie z roku 2006, s narůstajícím časem dochází rovněž ke statisticky významnému snižování schopnosti pilotů provádět nestandardní letové manévry [36]. Tato studie ovšem byla prováděna se skupinou aktivně působících pilotů, jistě by tedy mohlo být přínosné provést obdobný experiment se skupinou pilotů s vynucenou přestávkou v létání.

V průběhu letů na simulátoru bylo snímáno více dat než bylo později vyhodnocováno. Zejména v případě záznamu pohybu očí by bylo možné ověřit platnost korelace mezi přesností letu a vzorcem rozdělení pozornosti, jak ji nastiňuje studie vedená Andreasem Haslbeckem z roku 2017 [37]. Ta poukazuje na to, že dopravní piloti dosahující vyšší přesnosti letu v průběhu



konečného přiblížení vykazovali rovnoměrnější rozdělení pozornosti mezi umělý horizont a indikátor kurzu letu (26 % a 25 %) ve srovnání s piloty dosahujícími nižší přesnosti letu (32 % / 21 %). Pro dosažení reprezentativního vzorku subjektů by ovšem bylo potřeba získat data od více než 20 pilotů, jak se to podařilo v rámci tohoto experimentu.

Existuje množství studií vyhodnocujících přesnost manuálního řízení letadla dopravními piloty. Nikdy v historii mezinárodní letecké dopravy však nedošlo vlivem náhlého poklesu a očekávaného oživení letecké přepravy k situaci, kdy skupina plně kvalifikovaných pilotů nemohla po dobu mnoha měsíců vykonávat svou profesi. Díky tomu se domnívám, že je tato práce ve své době unikátní zejména pokud jde o zapojení takové skupiny pilotů do experimentu porovnávajícího přesnost jejich letu se skupinou aktivně působících pilotů.

Závěry této práce tedy nabízí odpověď na otázku, jaká je úroveň vybraných pilotních kompetencí poté, co držitel typové kvalifikace na dopravní letoun po přestávce v létání přesahující 90 dní splní podmínku Nedávné praxe na leteckém simulátoru.



Seznam použité literatury

- [1] ICAO. *Effects of Novel Coronavirus (COVID-19) on Civil Aviation: Economic Impact Analysis*. International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada, 2021. Dostupné z: <https://www.icao.int/sustainability/Documents/COVID-19/ICAO_Coronavirus_Econ_Impact.pdf>.
- [2] ICAO. The world of air transport in 2019. In *Annual Report 2019*. International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada, 2020. Dostupné z: <<https://www.icao.int/annual-report-2019/Pages/the-world-of-air-transport-in-2019.aspx>>.
- [3] Michael McGee. Air transport pilot supply and demand: Current state and effects of recent legislation, 2015. Disertční práce. Pardee RAND Graduate School. Dostupné z: <<https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA619130.pdf>>.
- [4] European Cockpit Association. Redundancy tracker: European pilots losing their jobs, 2021. Dostupné z: <<https://www.eurocockpit.be/news/redundancy-tracker-european-pilots-losing-their-jobs>>.
- [5] ICAO. *Annex 6 - Operation Of Aircraft: Part I - International Commercial Air Transport - Aeroplanes*. International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada, 11 edition, 2018.
- [6] CAA CZ. CAA-ZLP-165: Prodlužování a obnova kvalifikací pilotů letounů, 2018. Úřad pro civilní letectví. Dostupné z: <<https://www.caa.cz/wp-content/uploads/2019/07/165-1-PR0-letoun.pdf?cb=980192c3293a6346b431a4faf6842922>>.
- [7] IATA. *Guidance for Post-COVID Restart of Operations: CBTA Training Solutions*. International Air Transport Association, Montreal, Canada, 2021.
- [8] IATA. *Guidance for Managing Pilot Training and Licensing During COVID-19 Operations*. International Air Transport Association, Montreal, Canada, 2 edition, 2020.



- [9] Andreas Haslbeck, Paul Kirchner, Ekkehart Schubert, and Klaus Bengler. A flight simulator study to evaluate manual flying skills of airline pilots. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 58(1):11–15, September 2014.
- [10] Matt Ebbatson, Don Harris, John Huddleston, and Rodney Sears. The relationship between manual handling performance and recent flying experience in air transport pilots. *Ergonomics*, 53(2):268–277, January 2010.
- [11] ŘLP. Letecký předpis L8168/1: Letové postupy. Řízení letového provozu České republiky, s. p. - Letecká informační služba, 2019. Dostupné z: <<https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>>.
- [12] EASA. EASA Safety Information Bulletin - Manual Flight Training and Operations. European Union Aviation Safety Agency, 2013. Dostupné z: <<https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>>.
- [13] FAA. SAFO 13002. Federal Aviation Administration, 2013. Dostupné z: <https://www.faa.gov/other_visit/aviation_industry/airline_operators/airline_safety/safo/all_safos/media/2013/SAFO13002.pdf>.
- [14] EASA. EASA declares Boeing 737 MAX safe to return to service in Europe, 2021. European Union Aviation Safety Agency. Dostupné z: <<https://www.easa.europa.eu/newsroom-and-events/press-releases/easa-declares-boeing-737-max-safe-return-service-europe>>.
- [15] BAE. Final Report On the accident on 1st June 2009, to the Airbus A330-203 registered F-GZCP, operated by Air France, flight AF 447 Rio de Janeiro - Paris. Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile, 2018. Dostupné z: <<https://www.bea.aero/docspa/2009/f-cp090601.en/pdf/f-cp090601.en.pdf>>.
- [16] National Transport Safety Board. Asiana airlines flight 214, accident report, 2021. Dostupné z: <<https://www.ntsb.gov/investigations/AccidentReports/Reports/AAR1401.pdf>>.



- [17] Aircraft Accident Investigation Board Pakistan. Preliminary Report: Crash of PIA AP-BLD 22 May 2020 , 2021. Aircraft Accident Investigation Board Pakistan. Dostupné z: <<https://www.caapakistan.com.pk/Upload/SIBReports/AAIB-431.pdf>>.
- [18] Interstate Aviation Committee. Boeing 737-8KN A6-FDN fatal accident - final report, 2021. Dostupné z: <https://www.mak-iac.org/upload/iblock/3d1/report_a6-fdn_eng.pdf>.
- [19] ICAO. Global Aviation Safety Plan, 2020-2022. International Civil Aviation Organization, 2020. Dostupné z: <https://www.icao.int/meetings/anconf13/documents/doc_10004_gasp_2020_2022_edition.pdf>.
- [20] IATA. *Loss of Control In-Flight Accident Analysis Report*. International Air Transport Association, Montreal, Canada, 2019 edition, 2019.
- [21] EASA. Upset prevention and recovery training, 2021. European Union Aviation Safety Agency. Dostupné z: <<https://www.easa.europa.eu/the-agency/faqs/upset-prevention-and-recovery-training>>.
- [22] World Medical Association. World medical association declaration of helsinki. *Journal of the American Medical Association (JAMA)*, 310(20):2191, November 2013.
- [23] J. A. Granberg. *737 NG Flight Crew Training Manual. Document Number FCT 737 NG (TM)*. Boeing, Seattle, WA, 19 edition, 2020.
- [24] Sandra G Hart. NASA-task load index (NASA-TLX); 20 years later. *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting*, 50(9):904–908, 2006.
- [25] Peter Hoonakker, Pascale Carayon, Ayse P. Gurses, Roger Brown, Adjhaporn Khunlertkit, Kerry McGuire, and James M. Walker. Measuring workload of ICU nurses with a questionnaire survey: the NASA task load index (TLX). *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering*, 1(2):131–143, 2011.



- [26] Antonio Menditto, Marina Patriarca, and Bertil Magnusson. Understanding the meaning of accuracy, trueness and precision. *Accreditation and Quality Assurance*, 12(1):45–47, 2006.
- [27] Adam Oliva. Návrh algoritmů pro identifikaci letových manévrů, 2020. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Dostupné z: <<https://dspace.cvut.cz/handle/10467/90536>>.
- [28] Vladimír Socha, Lenka Hanáková, Michal Freigang, Jakub Kraus, Slobodan Stojic, Lubos Socha, and Peter Hanak. Impact of pilots' tiredness on the outcome of psychological testing. *Transport Problems*, 14(2):55–67, 2019.
- [29] Myles Hollander. *Nonparametric statistical methods*. John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey, 2013.
- [30] Paul Velleman. *Applications, basics, and computing of exploratory data analysis*. Duxbury Press, Boston, Mass, 1981.
- [31] Geoffrey Norman. *Biostatistics: the bare essentials*. B.C. Decker, Hamilton, ON, 2008.
- [32] Emanuel Schmider, Matthias Ziegler, Erik Danay, Luzi Beyer, and Markus Bühner. Is it really robust? *Methodology*, 6(4):147–151, January 2010.
- [33] Stacey Plichta. *Statistics for nursing and allied health*. Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins Health, Philadelphia, 2009.
- [34] John W. Mauchly. Significance test for sphericity of a normal n -variate distribution. *The Annals of Mathematical Statistics*, 11(2):204–209, June 1940.
- [35] Brani Vidakovic. *Statistics for bioengineering sciences : with MATLAB and WinBUGS support*. Springer, New York, 2011.
- [36] Stacey M. L. Hendrickson, Timothy E. Goldsmith, and Peder J. Johnson. Retention of airline pilots' knowledge and skill. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50(17):1973–1976, October 2006.



- [37] Andreas Haslbeck and Bo Zhang. I spy with my little eye: Analysis of airline pilots' gaze patterns in a manual instrument flight scenario. *Applied Ergonomics*, 63:62–71, September 2017.



Přílohy

Príloha A - Všeobecný dotazník

Príloha B - Principy vizuálního okruhu

Príloha C - Test SOP

Príloha D- Trainee Survey: Postflight



Příloha A

Všeobecný dotazník

Subjekt	S _
---------	-----

Následující dotazník slouží pro vzájemné porovnání naměřených letových parametrů.

Tabulka 1 Všeobecný otazník

Základní údaje	
Pohlaví	muž / žena
Věk	let

Vyplňte podle skutečnosti

Orientační celkový nálet na letounech B737NG / MAX 8	hodin
Orientační celkový nálet na všech typech letounů	hodin
Jaký je v současné době váš průměrný měsíční nálet na B737 NG?	hodin
Pokud jste u předchozí otázky odpověděl/a 0, kdy jste absolvoval/a poslední let na B737 NG?	
Máte v současnosti platnou typovou kvalifikace pro Boeing 737 NG?	ano / ne
Kdy jste naposledy absolvoval/a přezkoušení odborné způsobilosti na simulátoru B737?	
Působíte v současné době jako instruktor létání?	ano / ne
Pokud ano, uveďte prosím orientační nálet za období březen 2020 - současnost	hodin
Uveďte orientačně typ letadla, na kterém výcvik poskytujete	
Přicházíte v současné době do styku s letovými simulátory, případně s Full flight simulátory kategorií a úrovní odpovídajícími B737NG ?	ano / ne
Pokud ano, uveďte prosím četnost za období březen 2020 - současnost	
Vlastní komentář	<i>*Uveďte skutečnosti, které pokládáte za relevantní k vyhodnocení výsledků letu</i>



Příloha B

Principy vizuálního okruhu

Co tě čeká?

Předmětem letu na simulátoru bude posoudit dopad přestávky v létání na letové schopnosti držitelů typové kvalifikace letounu B737 NG. Na začátku absolvuješ 3 vizuální lety po okruhu, nejprve ve dne za dobrého počasí, poté ve dne při snížené dohlednosti a nakonec v noci.

Dále bude následovat let, v jehož průběhu budeš mít za úkol postupně udržovat předepsané letové parametry, tedy rychlost, výšku a směr letu, případně náklon či vertikální rychlost. Na závěr hodnocené části zaletíš 3 ILS přiblížení, opět za různého počasí. Bude se hodnotit pouze úsek letu do dosažení DA, nikoli podrovnání a přistání.

Před příchodem na simulátor není potřeba si nic opakovat, naopak cílem je posoudit tvoje aktuální letové schopnosti a znalosti.

3 vizuální okruhy

Všechny lety absolvuješ v pozici pilota letícího (PF), bez použití autopilota a A/T. První 3 lety po okruhu nebudou vyhodnocovány a slouží pro seznámení se se simulátorem a obnovení tvých pilotních dovedností. Z role PF se předpokládá, že budeš volat o provedení potřebných checklistů, změnu konfigurace letadla či nastavování MCP. Komunikace se službami ATC nebude předmětem tohoto simulátoru.

Let po okruhu

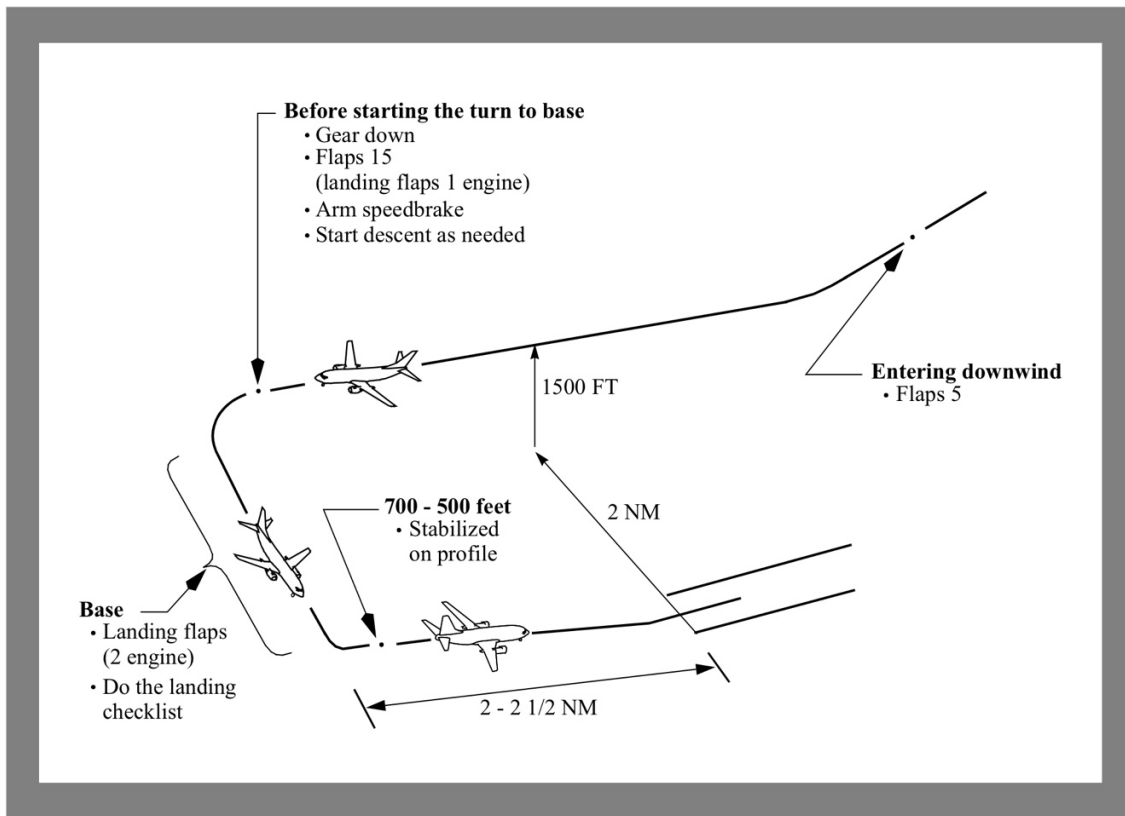
Po vzletu z dráhy 24 Letiště Václava Havla Praha stoupej do výšky 3 000 stop AMSL. První zatáčku proved' po dosažení výšky 1 000 stop AGL. Vztlakové klapky ponech v poloze 1 ° a v bezpečné výšce požádej o přečtení After Takeoff Checklist. První a druhou zatáčku proved' současně a toč do kurzu 061 °. Doporučený paralelní odstup od vzletové a přistávací dráhy je minimálně 2 NM. Po dotočení vytáhni vztlakové klapky do polohy 5 °. Po přeletu bodu paralelního s prahem dráhy určené pro přistání vytáhni podvozek a klapky do polohy 15 °, uveď speedbrake do polohy „arm“, řekni si o úpravu rychlosti na MCP a zpomal na manévrovací rychlost pro klapky 15 °. Při změně konfigurace letadla není potřeba náhlá změna výkonu motorů.

Při zahájení třetí okruhové zatáčky uprav výkon motorů a zahaj klesání vertikální rychlostí 600 - 700 fpm. Před započítím čtvrté okruhové zatáčky vytáhni klapky do polohy 30 °. Nechej rychlost klesnout k rychlosti konečného přiblížení, vyvaž letadlo pomocí trimu a požádej o přečtení Landing checklistu.

Rozpočet prováděj tak, abys prodlouženou osu dráhy nalétl ve vzdálenosti 2 NM od prahu dráhy ve výšce přibližně 600 stop AGL, tedy přibližně 1 800 stop AMSL (můžeš k tomu využít VDP ve vzdálenosti 2 NM od prahu dráhy). Následně udržuj vertikální rychlost v rozsahu 700 - 900 fpm, při konečném přiblížení sleduj Indikátor úhlu konečného přiblížení (PAPI).

Polohu letadla a rychlost klesání je možné řídit výškovým kormidlem a změnou tahu motorů, pro plynulost řízení používej drobné korekce výkonu motorů. Velké změny ve výkonu motorů znesnadňují ovládání letadla a jsou projevem nestabilizovaného přiblížení. Vyšší výkon může být potřeba při stabilizování se na rychlosti konečného přiblížení.

Letadlo by mělo být stabilizované nejpozději ve výšce 500 stop nad prahem dráhy. Vertikální rychlost klesání by po celou dobu přiblížení neměla přesáhnout hodnotu 1 000 fpm.^[1]



Obrázek 1 Vizualní přiblížen, 737 NG FCTMí

Zdroj:

[1] 737 NG Flight Crew Training Manual, Copyright © 1999-2010 The Boeing Company, All rights reserved, Revision Number: 19, Revision Date: October 30, 2020



Příloha C

Test SOP

Standard Operating Procedures

IATA definuje základní pilotní kompetence, na které má letecký provozovatel klást důraz při pravidelném přezkušování pilotů. Jednou z nich je znalost a aplikování naučených procedur. Následující dvě tabulky proto cílí na vaši znalost Standardních provozních postupů (SOP).

1) V tabulce 1 uveďte úkony spadající do Before Start Procedures - First Officer (počet řádků nemusí odpovídat počtu úkonů, hodnotí se posloupnost a význam úkonů, nikoli správná terminologie)

Tabulka 1 Úkony spadající do procedury Before Start Procedures - First Officer

Before start procedures - First Officer	
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	
8.	
9.	
10.	
11.	
12.	

2) V tabulce 2 očísľujte chronologicky posloupnost kroků spadajících do Preflight Procedure - First Officer (z celkového množství je uvedeno pouze 10 ovladačů / panelů)

Tabulka 2 Chronologická posloupnost vybraných panelů spadajících do procedury Preflight Procedures - First Officer

Preflight Procedures - First Officer	
Uveďte posloupnost	Úkon
	Window heat
	Fuel panel
	Probe heat
	Ground proximity panel
	Auto brake select switch
	Flight control panel
	Hydraulic panel
	EFIS control panel
	Cabin pressurization panel
	Electrical panel



Příloha D

Trainee Survey: Postflight



VR 737 Instructor Grading Sheet

Rev 0

Instructor Number:

Trainee Number:

Part 1: Three take offs, patterns and landings performed to a complete stop

Level 0 Grading: Record training outcome (circle one):

Competent

Not Competent

Not performed

Remarks (provide if Not Competent, otherwise optional):

Part 2 and 3: Airwork and Approaches

Level 1 Grading: Record one grade for each competency as observed throughout Part 2 and 3:

Competency	Grading					
Application of knowledge (KNO)	1	2	3	4	5	0
Application of procedures and compliance with regulations (PRO)	1	2	3	4	5	0
Communication (COM)	1	2	3	4	5	0
Aeroplane flight path management — automation (FPA)	1	2	3	4	5	0
Aeroplane flight path management — manual control (FPM)	1	2	3	4	5	0
Leadership & teamwork (LTW)	1	2	3	4	5	0
Problem-solving — decision-making (PSD)	1	2	3	4	5	0
Situation awareness and management of information (SAW)	1	2	3	4	5	0
Workload management (WLM)	1	2	3	4	5	0

Remarks (optional):

Level 3 Grading: Describe the last ILS approach (circle one answer for each statement):

Trainee's workload was high	True	False	Unidentifiable
Trainee was stressed	True	False	Unidentifiable
Trainee's performance was good	True	False	Unidentifiable

Training Session

Level 0 Grading: Record training outcome (circle one):

Competent

Not Competent



Competency Grading Aid

Rev 0

Level 0 Grading

Grade	Description
Competent	May perform line duties
Not Competent	Additional training required prior release for line duties

Level 1 Grading

Grade	TEM	Observable behaviors		
	Outcome	How well?	How many?	How often?
1	Unsafe situation	Ineffectively	Hardly any	Rarely
2	Not an unsafe situation	Minimally acceptable	Some	Occasionally
3	Safe situation	Adequately	Many	Regularly
4	Safe situation	Effectively	Most	Regularly
5	Enhanced safety, effectiveness and efficiency	In an exemplary manner	All	always
0	Not observed			

Level 3 Grading

Grade	Description
True	Instructor agrees with the statement
False	Instructor disagrees with the statement
Unidentifiable	Instructor is unable to determine whether the statement is true or false

Competency	Description
Application of knowledge (KNO)	Demonstrates knowledge and understanding of relevant information, operating instructions, aircraft systems and the operating environment
Application of procedures and compliance with regulations (PRO)	Identifies and applies appropriate procedures in accordance with published operating instructions and applicable regulations
Communication (COM)	Communicates through appropriate means in the operational environment, in both normal and non-normal situations
Aeroplane flight path management — automation (FPA)	Controls the flight path through automation
Aeroplane flight path management — manual control (FPM)	Controls the flight path through manual control
Leadership & teamwork (LTW)	Influences others to contribute to a shared purpose. Collaborates to accomplish the goals of the team
Problem-solving — decision-making (PSD)	Identifies precursors, mitigates problems, and makes decisions
Situation awareness and management of information (SAW)	Perceives, comprehends and manages information and anticipates its effect on the operation
Workload management (WLM)	Maintains available workload capacity by prioritising and distributing tasks using appropriate resources



Instructor Survey – Preflight

Rev 0

Instructor Number:

Total Flight Hours:

Rated on Type(s):

Instructor Ratings: TRI(A) FI(A) IRI(A) Other:

Have you ever used Competency Based Assessment?

yes no

Does your present/last company use Competency Based Assessment?

yes no

How comfortable do you feel using Competency Based Assessment?

Comfortable

neither comfortable nor uncomfortable

uncomfortable



Instructor Survey – Postflight

Rev 0

Instructor Number:

Have you been able to observe all flight parameters and crew behavior to provide fair grading?

yes no unsure

Has the VR impacted your observation?

yes no unsure

How do you feel about the impact of ATC communication simulation?

It increased realism It caused distraction It had no effect

Have eye-tracking data affected your grading?

yes no unsure not aplicable

Was the grading sheet easy to use?

yes no unsure

Do you consider the Competency Grading Aid helpful?

yes no unsure

Can you imagine use of VR in airline crew training environment?

yes no unsure

Please provide any comments (optional):



Trainee Survey – Postflight

Rev 0

Trainee Number:

Have you enjoyed the VR training experience?

yes

no

unsure

How do you feel about impact of ATC communication simulation?

It increased realism

It caused distraction

It had no effect

Please provide any comments (optional):