



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
Ústav letecké dopravy

**Vliv specifických zvukových frekvencí na hladinu stresu pilota
v kokpitu letadla**
**Effect of Specific Sound Frequencies on the Level of Pilot Stress
in the Cockpit**

Bakalářská práce

Studijní program: Profesionální pilot

Vedoucí práce: Ing. Michaela Kalivodová, Ing. Lenka Hanáková

Kateřina Vránová

Praha 2022

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K621.....Ústav letecké dopravy

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Kateřina Vránová

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – PIL – Profesionální pilot

Název tématu (česky): **Vliv specifických zvukových frekvencí na hladinu stresu pilota v kokpitu letadla**

Název tématu (anglicky): Effect of Specific Sound Frequencies on the Level of Pilot Stress in the Cockpit

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je zjištění vlivu specifických zvukových frekvencí na psychofyzilogický stav jedince v pilotní kabině pomocí dotazníkového šetření a na základě objektivního hodnocení.
- Vykonejte analýzu současného stavu zaměřenou na problematiku zvuků v kokpitu letadla a jejich vliv na psychofyzilogický stav jedince.
- Na základě analýzy současného stavu vyberte vhodné parametry pro sledování psychofyzilogického stavu. Navrhněte a realizujte experiment, prostřednictvím něhož bude možné zhodnotit vliv zvuků v kokpitu na psychofyzilogický stav člověka.
- Získaná data vyhodnoťte prostřednictvím vhodných metod.
- Výsledky interpretujte a diskutujte.
- Formulujte závěry a limitace práce.



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: J. Bao, Y. Sun and X. Liu (2019) Research on Pilot Situation Awareness in Noise Environment
Phil Leather, Diane Beale, Lucy Sullivan (2003) Noise, psychosocial stress and their interaction in the workplace

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Michaela Kalivodová

Ing. Lenka Hanáková

Datum zadání bakalářské práce:

8. října 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 bakalářské práce:

30. listopadu 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



prof. Ing. Ondřej Příbyl, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Kateřina Vránová
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 9. srpna 2022

Abstrakt

Specifické zvuky a hluk, pro letectví tak běžné stresory, avšak často opomíjené. Každý, kdo cestuje letadlem jako pilot, cestující, či palubní průvodčí je vystavován nepřebornému množství zvuků, které vyvolávají ať už vědomé či podvědomé reakce. Protihluková opatření na letištích, v obydlených oblastech okolo letišť, nebo dokonce hlukové limity pro pracovníky letišť jsou v dnešní době jedním z nejdiskutovanějších témat. Na piloty, nejzranitelnější a zároveň nejdůležitější články celé rovnice, se ovšem zapomíná. Cílem této práce bylo zaměřit se právě na piloty a zjistit, jak působí specifické zvukové frekvence na jejich psychofyzilogický stav. Bylo tak provedeno pomocí objektivního experimentálního měření na simulátoru Beechcraft 58 a pomocí subjektivního dotazníkového šetření. Během simulovaného letu na simulátoru byly subjektům pouštěny předem vybrané specifické zvuky. Vliv specifických zvuků byl monitorován pomocí EKG měření, ze kterého byla nakonec získána výsledná data. Z výsledků této práce je vidět, že určité zvuky skutečně měly vliv na hladinu stresu pilota, avšak pro detailnější data k této problematice je potřebný navazující výzkum. Tato práce může sloužit jako podklad pro další výzkumy v problematice vlivu specifických zvukových frekvencí v kokpitu letadla.

Klíčová slova: EKG, specifické zvuky, stres, letectví



Abstract

Specific sounds and noises are stressors so common in the aviation industry are often overlooked. Anyone who travels by air as a pilot, passenger, or cabin crew is exposed to many kinds of sounds that trigger either conscious or subconscious reactions. Noise control measures at airports, in populated areas around airports, or even noise limits for airport staff are one of the most discussed topics these days. However, pilots, the most vulnerable and the most important part of the equation are often neglected. This paper aimed to focus on pilots and to find out how specific sound frequencies affect their psychophysiological state. This was done through objective experimental measurements on a Beechcraft 58 simulator and a subjective questionnaire survey. During a simulated flight on the simulator, subjects were played pre-selected specific sounds. The effect of the specific sounds was monitored using ECG measurements, from which the final data were obtained. From the results of this work, it can be seen that certain sounds did indeed affect the pilot's stress level, however, follow-up research is needed for more detailed data on this issue. This work can serve as a basis for further research into the problem of the influence of specific sound frequencies in the cockpit of an aircraft.

Keywords: aviation, EKG, specific sounds, stress



Poděkování

Ráda bych tímto poděkovala svým vedoucím bakalářské práce paní Ing. Michaele Kalivodové a paní Ing. Lence Hanákové za jejich ochotu, velkou trpělivost a cenné připomínky, které mi v průběhu vypracovávání této práce poskytly. Osobní poděkování patří mé rodině, kamarádům a spolužákům, kteří mi byli nekončící oporou a podporovali mne po celou dobu studia. Velký dík patří v neposlední řadě i všem pilotům, kteří se zúčastnili měření, jelikož bez nich by tato práce nikdy nevznikla.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Vliv specifických zvukových frekvencí na hladinu stresu pilota v kokpitu letadla vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské 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).

V Sokolově dne 30. listopadu 2022

.....
Podpis



Obsah

Úvod	13
1. Analýza současného stavu v oblasti zkoumání hluku v kokpitu letadla	15
1.1 Zdroje hluku	20
1.2 Protihluková opatření	23
1.3 Lidské ucho	24
1.4 Elektrocardiografie	26
1.5 Variabilita srdeční frekvence	27
1.5.1 Analýza v časové oblasti	29
1.5.2 Popis ve frekvenční oblasti	30
1.5.3 Nelineární analýzy	32
1.5.4 Shrnutí	33
2. Metodologie	34
2.1 Vybavení	34
2.2 Subjekty	37
2.3 Experiment.....	37
2.4 Dotazník.....	40
2.5 Zpracování dat	40
3. Prezentace výsledků	43
3.1 Experiment.....	43
3.2 Dotazník.....	46
4. Diskuse	51
5. Závěr	54
Seznam použité literatury	55
Seznam příloh	62

Seznam obrázků

Obrázek 1: Vliv výkonnosti na vzrušení organismu [7].....	14
Obrázek 2: PRISMA Flow Diagram pro objektivní hodnocení	15
Obrázek 3: PRISMA Flow Diagram pro subjektivní hodnocení	16
Obrázek 4: Popis lidského ucha [18]	25
Obrázek 5: Zobrazení systoly, diastoly a RR intervalu v rámci vln [25]	27
Obrázek 6: Pohled na kabinu simulátoru Beechcraft 58 na Ústavu letecké dopravy FD ČVUT	34
Obrázek 7: Detail PFD a MFD simulátoru Beechcraft 58 na ÚLD FD ČVUT	35
Obrázek 8: Poloha reproduktorů při experimentálním měření na ÚLD FD ČVUT	35
Obrázek 9: Jednorázové elektrody použité pro snímání EKG pomocí přístroje VLV Lab a znázornění jejich umístění na těle při měření	36
Obrázek 10: Náhled do prostředí aplikace VLV Scope	36
Obrázek 11: Letěná trasa zobrazená na navigačním displeji.....	39
Obrázek 12: Diagram trasy se zvuky	39
Obrázek 13: Zobrazení parametru RMSSD pomocí párových boxplotů.....	43
Obrázek 14: Zobrazení parametru SD1 pomocí párových boxplotů.....	44
Obrázek 15: Zobrazení parametru pNN50 pomocí párových boxplotů.....	44
Obrázek 16: Zobrazení parametru LF pomocí párových boxplotů	45
Obrázek 17: Zobrazení parametru HF pomocí párových boxplotů.....	45
Obrázek 18: Zobrazení parametru NN50 pomocí párových boxplotů.....	46
Obrázek 19: Vyhodnocení otázek 1 a 2 z dotazníku	46
Obrázek 20: Vyhodnocení otázek 3 a 4 z dotazníku	47
Obrázek 21: Vyhodnocení otázky č. 5 z dotazníku	47
Obrázek 22: Vyhodnocení otázky č. 6 z dotazníku	48
Obrázek 23: Vyhodnocení otázky č. 7 z dotazníku	48
Obrázek 24: Vyhodnocení otázky č. 8 z dotazníku	49
Obrázek 25: Vyhodnocení otázky č. 9 z dotazníku	49
Obrázek 26: Vyhodnocení otázky č. 10 z dotazníku	50



Seznam tabulek

Tabulka 1: Hlavní zdroje hluku letadel [3]	22
Tabulka 2: Hladiny hluku pro různé zvuky a umístění [18]	26
Tabulka 3: Přípustné vystavení hluku v závislosti na čase [2]	26
Tabulka 4: Parametry získané při analýze v časové oblasti [36]	29
Tabulka 5: Parametry získané při analýze ve frekvenční oblasti [36]	31
Tabulka 6: Parametry nelineární analýzy [36]	33



Seznam symbolů a zkratek

\bar{x}		Medián
X_{25}		Dolní kvartil
X_{50}		Druhý kvartil, medián
X_{75}		Horní kvartil
ANS	Autonomic Nervous System	Autonomní nervová soustava
ATC	Air Traffic Control	Řízení letového provozu
BPM	Beats per minute	Údery za minutu
CAVOK	Clouds (ceiling) and Visibility OK	
CB	Cumulonimbus	
CI	Confidence Interval	Konfidenční interval
CTR	Control Traffic Zone	Řízený okresek
ČSA	Czech Airlines	České aerolinie
ČVUT		České vysoké učení technické v Praze
D2	Correlation Dimension	Korelační dimenze
dB	Decibel	Decibel
DFA	Detrended Fluctuation Analysis	Detrendovaná analýza fluktuace
EKG	Electrocardiography	Elektrokardiografie
EMG	Electromyography	Eketromyografie
FFT	Fast Fourier Tranformation	Rychlá Fourierova transformace
ft	Feet	Stopy
HF	High Frequency	Vysoké frekvence
HR	Heart Rate	Srdeční frekvence
HRV	Heart Rate Variability	Variabilita srdeční frekvence
Hz	Hertz	Hertz
IFR	Instrument Flight Rules	Let podle přístrojů
ILS	Instrument Landing System	Přístrojový přistávací systém
km	Kilometer	Kilometr
kt	Knots	Uzly
LF	Low Frequency	Nízké frekvence
LKKV		Letiště Karlovy Vary
LKMR		Letiště Mariánské Lázně
max	Maximum	Maximum
MFD	Multi-functional Display	
min	Minimum	Minimum
ms	Milisecond	Milisekunda
NM	Nautical miles	Nautická míle
NN		
interval	Normal to Normal interval	Úseky mezi normálními údery srdce
	Number of adjacent NN intervals (50 ms)	Počet přilehlých NN intervalů v úseku o délce 50 ms
NN50		
OVC	Overcast	Zataženo
PFD	Primary Flight Display	Primární letový displej



pNN50	NN50 Count Value Divided by the Total Numbers of All NN Intervals	Procentuální hodnota NN50
PPL	Private Pilot Licence	Licence soukromého pilota
QNH	Atmospheric pressure at mean sea level	Tlak přepočítaný na hladinu moře
rANOVA	Repeated Measures Analysis of Variance	
RMSSD	Root Mean Square of the Successive Differences	Kvadratický průměr délek po sobě následujících NN intervalů
RR interval	Inter beat Interval	Vzdálenost mezi dvěma tepy
s	Second	Sekunda
SampEnt	Sample Entropy	Vzorková entropie
SD1	Standard Deviation of Points Perpendicular to the Axis of Line of Identity	Směrodatná odchylka kolmá k řádce identity
SD2	Standard Deviation of Points Along the Axis of Line of Identity	Směrodatná odchylka podél linie identity
SDHR	Standard Deviation of Heart Rate	Směrodatná odchylka tepové frekvence
SDNN	Standard Deviation of All NN Intervals	Směrodatná odchylka všech NN intervalů
TCU	Towering Cumulus	
ULF	Ultra Low Frequency	Ultra nízké frekvence
USB	Universal Serial Bus	Univerzální sériová sběrnice
VFR	Visual Flight Rules	Let za viditelnosti
VIS	Visibility	Dohlednost
VLF	Very Low Frequency	Velmi nízké frekvence
VMC	Visual Meteorological Conditions	Podmínky pro let za viditelnosti
VOR	VHF Omnidirectional range	VKV všesměrový radiomaják



Úvod

Pro všechny letecké dopravce je důležité poskytnout cestujícím i zaměstnancům co největší komfort. Logicky se lidé snaží vyhýbat prostředím, kde se necítí dobře. Faktory ovlivňující pohodlí zahrnují psychický (poloha sedadla, teplota v letadle, vlhkost, tlak vzduchu), sociální (interakce s ostatními cestujícími nebo posádkou), fyzický a osobní (chci spát, pracovat nebo odpočívat během letu) faktor [1].

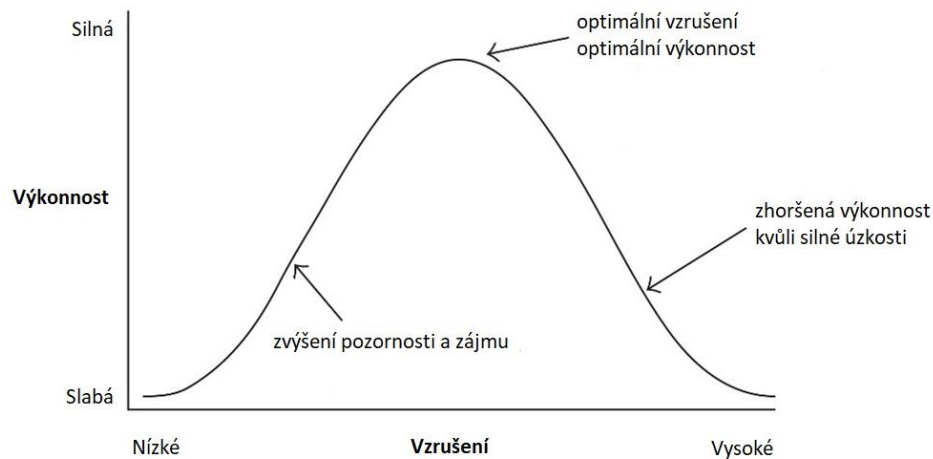
Ačkoli hluk není prvním, na co si cestující či zaměstnanci stěžují během své cesty, značně ovlivňuje vztah k létání a pohodlí během letu obecně [1].

V počátcích letectví byly studie hluku zaměřeny pouze na zlepšení pohodlí členů posádky a cestujících [2]. Zjistilo se, že hluk letadel má nepříznivý účinek nejen na cestující, letištní personál, ale i na lidi bydlící v blízkosti letišť. Je nutné zavádět protihluková opatření, která dopravcům často zvyšují náklady na provoz. Tento fakt značně omezuje kapacitu regionálních a mezinárodních letišť po celém světě [3]. V dnešní době je zkoumáno a nahlíženo spíše na pohodlí lidí bydlících v blízkosti letišť a na zaměstnance letišť [2]. Na pohodlí pilotů se zapomíná.

Jak dobře pilot vykonává jednotlivé úlohy, výrazně ovlivňuje nejen efektivitu letu, ale také jeho bezpečnost. Výkonnost pilota závisí na několika faktorech. Ze studie [4] bylo zjištěno, že hluk uvnitř kokpitu má na výkonnost pilota určitý vliv.

Hluk je obecně definován jako jakýkoli nežádoucí zvuk. Veškeré dopravní prostředky, včetně letadel, generují určité hluky. Tyto hluky jsou slyšitelné jak uvnitř letadla, tak zvenku [5]. Zvýšená pozornost a pracovní zátěž během neustávajícího hluku může vést ke ztrátě koncentrace, vnímání a k chybným úsudkům. Také se prodlužuje reakční doba. Všechny tyto ukazatele mohou negativně ovlivnit výkonnost pilota. Nadměrné vystavování se hluku může pak vést až k sluchovým poruchám [4].

Studie se často rozbíhají v tvrzení, zda je hluk pozitivním přínosem při dané aktivitě, či zda naši výkonost snižuje. Nejlépe vztah popsali psychologové Robert M. Yerkes a John Dillingham Dodson v roce 1908 pomocí Yerkes-Dodson diagramu [6]. Hluk, jež navozuje vzrušení organismu, naši výkonost zlepšuje, avšak pouze do určitého bodu. Zlomový bod lze vidět na obrázku 1. Toto vzrušení bychom mohli chápat jako míru stresu způsobenou daným hlukem. Od tohoto bodu na nás pak působí negativně. Tento negativní vliv pak může způsobovat nepřesnost pilotáže, stres a celkové nepohodlí pilota [4].

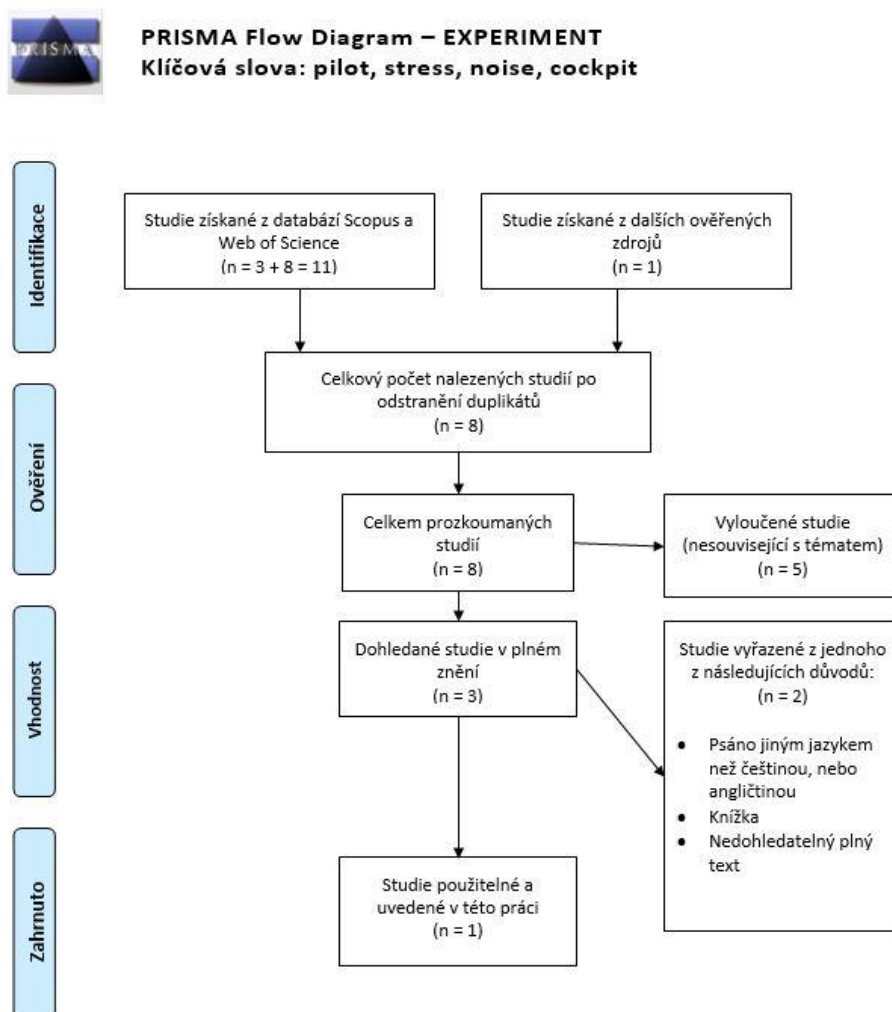


Obrázek 1: Vliv výkonnosti na vzrušení organismu [7]

Je nutné vzít v potaz charakteristiku hluku, kterým jsme nejen v letadlech, ale ve všech motorových vozidlech vystavováni. Hluk vozidla je neustále přítomný po celou dobu jízdy/letu, proto bychom ho mohli klasifikovat jako hluk kontinuální, kdy si na něj jedinec dokáže zvyknout a přestat ho vnímat jako rušivý efekt. Avšak náhlé nepředvídatelné zvýšení daného hluku může působit jako stresor, a tedy ovlivnit výkonnost pilota. V současné vědecké literatuře se nedostalo danému problému stále dostatečné pozornosti [4]. Z tohoto důvodu je cílem této práce zaměřit se na specifické zvukové frekvence a zkoumat jejich vliv na psychofyziologický stav jedince v pilotní kabině pomocí subjektivního dotazníkového šetření a na základě objektivního hodnocení.

1. Analýza současného stavu v oblasti zkoumání hluku v kokpitu letadla

K analýze současného stavu byla udělána meta-analýza pomocí PRISMA Flow Diagramu. Tento vývojový diagram systematicky ukazuje počet identifikovaných, zahrnutých a vyloučených záznamů získaných z rešerše pomocí předem definovaných klíčových slov. Jelikož bylo v této práci využito dvou pohledů při zkoumání vlivu specifických zvukových frekvencí – objektivního a subjektivního, byly udělány i dvě meta-analýzy. První pro objektivní hodnocení (viz obrázek 2) a druhá pro subjektivní dotazníkové šetření (viz obrázek 3). Výstupem z diagramu jsou studie, které se týkají problematiky zkoumané v této práci a které byly pro tuto práci použity.

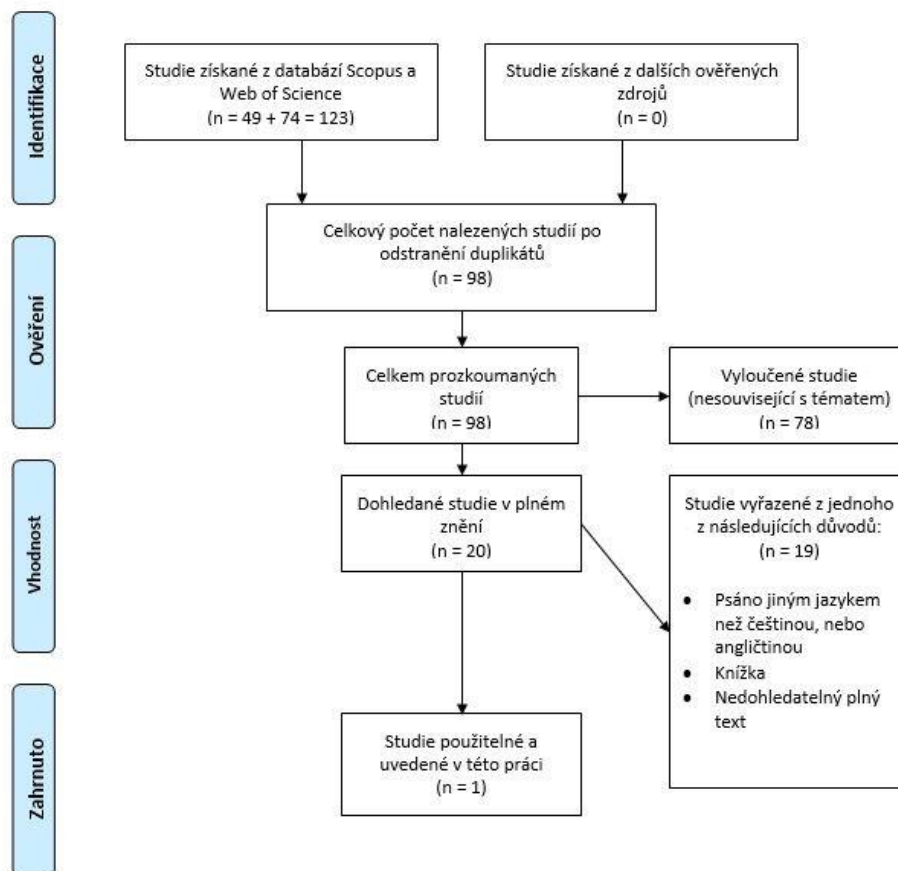


Obrázek 2: PRISMA Flow Diagram pro objektivní hodnocení



PRISMA Flow Diagram – SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ

Klíčová slova: subjective, survey, noise, stress



Obrázek 3: PRISMA Flow Diagram pro subjektivní hodnocení

Provedená analýza současného stavu naznačuje, že problematikou hluku v kokpitu se moc studií do dnešního dne nezabývalo. Mnoho prací je starších, prováděných na simulátorech, které se od dnešních moderních letadel liší mnoha faktory. Konkrétně protihluková opatření jsou tématem, které se v posledních letech hodně řeší, a je na ně kladen velký důraz [8]. Pohonná jednotka, hlavní zdroj hluku, také prošla určitými změnami. Vlastnosti motorů – jak aerodynamické, tak výkonnostní jsou v dnešní době neustále vylepšovány.

Efekt hluku v kabině letadla byl zkoumán několika možnými způsoby a z různých úhlů pohledu. V roce 2012 zkoumali v Cologni v Institute of Aerospace Medicine subjektivní pohodlí cestujících [1]. Byly provedeny dva experimenty – jeden ve zvukové laboratoři a druhý v reálném letovém simulátoru. Subjekty byly vystaveny 9 různým hlukům – od 66 do 78 dB. Tyto hluky byly kombinovány se třemi úrovněmi frekvenčního spektra. Je známo, že frekvenční



spektrum hluku je závislé na poloze sedadla v letadle. Bylo prokázáno, že nižší hladiny zvuku jsou pro cestující příjemnější. Co se týká metodologie, k experimentu ve zvukové laboratoři bylo pozváno 90 lidí ve věku od 18 do 69 let. Celkem 43 žen a 47 mužů. Subjektům byly pouštěny 3 různé hluky (3 různé úrovně akustického tlaku) o 3 různých frekvencích, které byly založeny na poloze sedadla – vpředu, ve středu, vzadu. Celkem tedy byli vystaveni 9 hlukům, které byly náhodně přehrávány. Každý hluk byl přehráván po dobu 10–15 minut. Cestující své pohodlí hodnotili podle dvou dotazníků. První z nich měl stupnici pleasant (příjemný) - unpleasant (nepříjemný) zvuk. Druhý z dotazníků se zaměřoval na sílu hluku a stupnici měl od 0 = not intense (neintenzivní) po 6 = extremely intense (extrémně intenzivní) (The Berlin Everyday Language Mood Inventory) [9]. Měření na simulátoru se zúčastnilo 59 mužů a 50 žen v rozmezí od 20 do 38 let. Byl jim simulován let v noci. Co se týče hluků byly nastaveny stejné podmínky. Rozdíl byl ve třetím dotazníku, který dostali navíc. Zkoumal, zda je daný zvuk pro simulovaného cestujícího přijatelný, či nikoli. Hluky okolo 66 dB byly přijatelné pro více než 80 % cestujících, 74 dB už pouze pro 60 % cestujících a hluky nad 78 dB byly nepřijatelné pro všechny. Celkově z experimentu vyplynulo, že zvuky pocházející ze zadní části kabiny jsou mnohem přijatelnější pro cestující, než ty pocházející zpredu [1].

Efekt hluku na výkonnost pilota byl zkoumán ve dvou případech. První v roce 1977 Allanem M. Stavem, který zkoumal efekt hluku a vibrací na výkonnost pilotů vrtulníků [10]. Druhým výzkumem je diplomová práce z Embry–Riddle Aeronautical University z roku 2001, kde byl zkoumán vliv hluku na přesnost pilotáže a výkonnost pilota na simulátoru letounu C172N [2]. Obě práce pracovaly s hypotézou, že při vyšší pracovní zátěži by byl pilot náchylnější na vnější vlivy ovlivňující jeho koncentraci – hluk a vibrace. Metodologie výzkumu pilotů vrtulníků byla založena na simulovaném IFR letu, ze kterého byly sbírány odchylky od trati a výšek. Simulátor byl fixní a pro experiment tedy nebyl zahrnut pohyb jako další vnější faktor. Testování piloti provedli let se zastávkami kolem New Yorku. Na každé zastávce měli pauzu 4 minuty bez možnosti opustit simulátor. Během simulovaného letu byla pouze jedna pauza na 8 minut, kde měli piloti možnost na chvíli opustit simulátor. Let probíhal v cyklech po 4 hodinách. Základními měřenými parametry byly navigace za letu a přesnost zaletění ILS přiblížení. Experimentu se účastnilo 5 subjektů. Všichni z jedné firmy. Měření se provádělo mezi 5. hodinou odpolední a 1. hodinou ranní poté, co si subjekty odlétaly klasický den v práci. Během 4hodinových intervalů nedošlo k poklesu výkonnosti, jak se očekávalo. Nejspíše byly 4minutové pauzy dostatečné k tomu, aby se piloti zotavili a připravili na další let. Proto se autoři rozhodli zařadit delší lety s delšími cykly. Ale ani na 6hodinovém, ani 8hodinovém letu nebyla zaznamenána data dle předpokladů. Měření bylo objektivní i subjektivní. Během letu



se objektivní data měřila pomocí „navigačního skóre“ v počítači, které měřilo, jak moc byli měření piloti mimo kurz a „přibližovacího skóre“, které hodnotilo jak přesně a stabilizovaně letí pilot dané přiblížení. Subjektivní měření bylo provedeno pomocí dotazníku vytvořeného pro tuto studii. Měření bylo zakončeno poznámkami samotného měřitele a krátkým rozhovorem s měřeným subjektem. Hodnoty hluku byly o frekvenci 17 Hz a byly převzaty z reálných podmínek, jelikož právě frekvence 17 Hz je dominantní frekvence vrtulníku S-61. Hluk ve sluchátkách pak byl o hlasitosti od 90 do 100 dB. Ve studii bylo zjištěno, že výkonnost závisí spíše na motivaci než na únavě. Na začátku letu bylo možné sledovat hojnou komunikaci mezi piloty, pískání si, zpívání si. Ke konci 6hodinových intervalů pak už byli piloti spíše podráždění, nadávali a létali nestabilizovaná přiblížení. Předpoklad studie byl, že výkonnost bude klesat s narůstající únavou pilotů. Ten se ale nepotvrdil. Bylo prokázáno, že výkonnost vzrostla při větší míře stresu. Obecně bylo dokázáno, že výkonnost není zhoršena kvůli hluku či vibracím způsobenými helikoptérou [10].

Cílem výzkumu z Embry–Riddle Aeronautical University bylo vyhodnotit vliv hluku v kokpitu na výkonnost pilota během simulovaného letu. Všichni účastníci měření byli piloti, kteří měli alespoň PPL licenci (Private Pilot Licence Certificate), věk v rozmezí od 18 do 38 let a celkový nálet v rozmezí 65–1200 hodin s průměrem 288 hodin. Celkem se experimentu zúčastnilo 48 pilotů. Měření probíhalo pomocí simulovaném letu, kdy se odčítala ze simulátoru každých 5 vteřin data jako výška, heading, rychlost či celková odchylka od trati. Před započnutím experimentu byl každý účastník podroben testu sluchu. Let požadoval po pilotovi, aby předvedl horizontální let na simulátoru Cessna172 od Microsoft Flight Simulator. Účastníci byli rozděleni na 2 skupiny. Náhodně pak byli vystaveni buď letu za hluku letounu (nasimulovaném v simulátoru), nebo byli členy tzv. tiché skupiny, kde nebyli vystaveni žádnému hluku. Před začátkem samotného měření měl každý z pilotů možnost si simulátor vyzkoušet a doptat se na jakékoli podrobnosti k řízení a měření. Nastavené počasí bylo OVC od 5500 ft do 6500 ft, QNH 1013,25, 15 °C, VIS 10+. Každé měření trvalo 60 minut bez přestávek. Instrukce na počátku měření zněly: vzlet z dráhy 07L, stoupat na standardní rychlosti, přejít do horizontálního letu ve 2000 ft. Po chvíli letu v horizontu přišla instrukce stoupat do 6000 ft (v mraku), držet rychlost stoupání 100 kt a kurz 042°. Po dosažení letové hladiny 060, opět horizontální let, držet 100 kt, kurz 042°. V 14., 29. a 44. minutě experimentu byli účastníci instruováni snížit rychlost na 90 kt a držet ji. Po minutě měli zvýšit rychlost na 110 kt. Tu pak měli držet až do konce experimentu. Z analýzy výsledků vyšlo najevo, že intenzita hluku a délka jejího trvání má vliv na výkonnost pilota v horizontální rovině měření. Ve vertikálních úkonech takové výchylky nebyly. Skupina vystavená hluku měla větší odchylky



ve výsledcích než skupina z tichého experimentu. S rostoucí délkou trvání letu se zvyšovaly výchyly v horizontální rovině. Bylo zjištěno, že hluk má vliv na pilotní dovednost udržet konstantní kurz v dané výšce. S hlukem tedy klesá přesnost pilota [2].

Studie z roku 2018 [4] se zabývala kumulativním vlivem hluku, který zatím zkoumán nebyl. Experiment proběhl na lehkém vrtulovém jednomotorovém letounu. Měřeno bylo 14 pilotů od 22 do 26 let s náletem od 165 do 300 hodin. Na začátku měřené subjekty vyplňovaly dotazník o tom, jak vnímají vliv hluku na jejich pilotní výkonnost. Poté byli pilotu požádáni, aby provedli běžný let se simulovaným hlukem v kokpitu. Let zahrnoval klasické letové úlohy. Simulovaný hluk kokpitu byl nahrán z letadla C 172 N. Nahrávka byla pořízena během standardního letu v Chorvatsku. Let byl proveden ve výšce 5500 ft o cestovní rychlosti 90 kt. Nahrávací mikrofon byl umístěn mezi sedadly pilota a kopilota. Byl změřen hluk o velikosti 88,9 dB. Všem účastníkům byl nejprve zkontrolován sluch, kdy se zkoumal průměrný práh slyšitelných frekvencí. Průměrné slyšitelné pásmo bylo pro všechny účastníky v rozmezí 1,25 – 18,75 dB. Po této zkoušce každý z nich vyplnil dotazník – jak hluk ovlivňuje jejich náladu, výkonnost při jednotlivých úkonech, samotné pilotování letadla, jak dlouho a na jakém typu létají atd. Piloti byli před samotným letem vystaveni dané dávce nahraného zvuku z kokpitu. Poté provedli let na simulátoru. Následně byli ještě jednou a naposledy vystaveni nahrávce hluku. Vše za účelem získání kumulativního vlivu hluku. Každé měření trvalo 15 minut, během kterých musel pilot splnit 18 po sobě jdoucích úkolů – 1 minuta rovného horizontálního letu (kurz 360°, rychlost 120 kt, výška 1500 ft), přístrojová zatáčka (konstantní rychlost 120 kt, výška 1500 ft). Úkoly byly rozděleny na 3 skupiny podle stupně komplexnosti. Aby se předešlo špatné pilotáži z důsledku neznalosti simulátoru, subjekty měly možnost 3 cvičných letů před samotným měřením. Měřený let pak každý z nich provedl 3x. V prvním případě byl let naprosto bez hluků, v druhém bylo nastaveno 20 % denní maximální povolené dávky hluku a třetí s 40 % denní dávkou hluku. Poslední měření s 40 % bylo bráno jako typický průměr denní dávky hluku ve všeobecném letectví (general aviation). Jednotlivá měření – z celkem tří prováděných – byly uskutečněny každé v jiný den, ale ve stejný čas, aby se předešlo vlivu cirkadiánního biorytmu. Z dotazníku i ze samotného experimentu bylo zjištěno, že kumulativní vliv hluku nemá výrazný vliv na letecké a navigační schopnosti pilota za letu. V měření bez hluku byly změřeny největší výchyly při rychlosti stoupání (Rate of Climb), rychlosti klesání (Rate of Descend), dodržování výšky, rychlosti i směru letu. Mezi měřeními 2 a 3, kdy byli piloti vystaveni určitému hluku, byly výchyly daleko menší. Vliv kumulativního hluku na výkonnost pilota se neprokázal [4].



1.1 Zdroje hluku

Hluk generovaný letadly není problém, který ovlivňuje pouze lidi na zemi, ale také piloty a posádky letounů. Hladiny a intenzity hluku jsou rozdílné pro různé typy letounů. U vrtulového letounu je hluk největší při stoupání a manévrech. Hluk v kokpitu se pohybuje okolo 50–120 dB. Následky hluku v letadle mohou mít jak dočasný, tak trvalý následek na sluchové schopnosti pilotů. Vlivem hluku může být narušena koncentrace pilota na let, což představuje určité riziko pro leteckou bezpečnost [2].

Například studie [11] z americké armády z roku 1945 uvádí, že ve vojenském letounu B-25 byl naměřen průměrný hluk o 120–125 dB. Tyto hodnoty nejenom způsobují sluchovou únavu, ale zároveň se blíží i prahu bolesti. Většina letových posádek je povinna nosit sluchátka, která by měla tlumit okolní hluk o 15–30 dB. Vojenským letcům je navíc doporučeno nosit bavlněné špunty do uší pro další utlumení [11].

Ne každý hluk musí mít nutně negativní vliv na výkonnost pilota. Například kontinuální hluk o síle 62–65 dB může mít dokonce kladný účinek. Maskuje jiné zvuky a během letu podporuje u cestujících, ale i pilotů soustředění např. při čtení, nebo při usínání [1].

Pracovní cyklus letadla je možné rozdělit na jednotlivé části – zážeh motoru, motorová zkouška, poježdění, akcelerace na dráze s plným plynem, vzlet, let v hladině, přistání a vypnutí motoru. Maximální hodnoty hluku se naměřily při akceleraci během vzletu a vzletu samotném. Tyto etapy jsou všechny poměrně krátkého trvání. Větším problémem jsou zkoušky motorů a údržby, které se vykonávají v blízkosti lidských obydlí a trváním jsou delší [3].

Hlavními zdroji zvuku jsou motor a vrtule, které dohromady vytváří potřebný vztlak a tah při vysokých rychlostech. Dalším je aerodynamický hluk, nebo také hluk mezní vrstvy způsobený turbulentním prouděním vzduchu přes různé hrany a výstupky na draku letadla. Hluk vrtule obecně převyšuje hluk od pohonné jednotky a má tak vyšší rušivý účinek na člověka. Celkově jsou vrtulová letadla podstatně hlučnější než ostatní [2].

Jak bylo zmíněno, letadlo je komplexní zdroj hluků. Proto se musí používat různé druhy ochrany jak uvnitř letadel, tak například na letištích. Aerodynamický hluk, který se vytváří při pohybu letounu, je nejvíce slyšitelný při přiblížení a přistávání těžkých proudových letadel, kdy jsou motory staženy na nízký tah [3]. Aero akustika zkoumá aerodynamický hluk podmíněný turbulentním nestacionárním prouděním. Typickými hluky pro proudová letadla



jsou hluk proudění, hluk jádra, hluk vstupního a zadního dmychadla, hluk turbíny a hluk draku letadla (viz tabulku 1) [3].

U turbovrtulových letadel je hlavním zdrojem hluku vrtule. Vzniká v důsledku periodického přemísťování vzduchu objemem procházejícího listu. Kolísání tlaku v důsledku narušení vztlaku a tahu způsobuje hluk zatížení vrtule. Šumové spektrum vrtule obsahuje širokopásmový a harmonický šum. Rychlost špičky listu vrtule je pro nás důležitým parametrem. Se snižující se rychlostí otáčení listu vrtule se nám snižuje i vzniklý hluk. Zvýšením počtu listu vrtulí se nám také snižuje vzniklý hluk, ale pouze pro nízké rychlosti – do 240 m/s [3].

Mezi vedlejší zdroje hluku lze zařadit například generátory, hydraulické systémy, klimatizační a přetlakové systémy, nebo například komunikační zařízení (viz tabulku 1) [3]. Obecně nízké tóny mají velkou energii a je pro ně snadné projít „stěnou“ konstrukce letadla a rozvibrovat konstrukci, čímž jsou slyšitelné i v kabině. Zvuky o vysokých frekvencích pronikají hůře kvůli jejich menší energii [11].

Zdroj a intenzita hluku se bude výrazně lišit dle typu pohonu, velikosti letounu a počtu motorů. Obecně dle typu pohonu můžeme letouny rozdělit na pístové, turbovrtulové a tryskové.

Letouny poháněné pístovými motory jsou nejstarším typem motorových letadel. Mají jeden nebo více pístových motorů propojených s vrtulí, která zajišťuje tah letadla. Tyto letadla jsou menší, typicky pro jednoho až šest cestujících. Současně s tím je spojený dolet, který zpravidla bývá okolo 400 NM. Letadla s pístovými motory se nejčastěji využívají ve všeobecném letectví [12]. Zkráceně pístový motor je spalovací motor, který využívá pohybu jednoho nebo více pístů k přeměně tlakové energie na rotační pohyb vrtule. Pro zlepšení výkonu jsou k pístovým motorům často přidávány turbodmychadla a kompresory [13]. Mezi nejznámější letadla poháněná pístovými motory patří například C152, Antonov An-2, L-200 Morava nebo Piper PA-34-200 Seneca [12].

Turbovrtulová letadla mají jeden nebo více motorů, u kterých se turbína používá nejen k pohonu kompresoru, ale i reduktoru otáček, přes který se pohání vrtule, která následně vytváří tah stejně, jako u motorů pístových. Turbivrtulová letadla jsou často větší než letadla s pístovým pohonem, což jim umožňuje nést více zatížení a cestujících. Obvykle tato letadla létají ve výškách kolem 30 000 stop. Oproti proudovým letadlům, mají turbivrtulová nižší provozní náklady, avšak jsou značně pomalejší. Z toho důvodu jsou atraktivní a využívané hlavně soukromníky, kteří potřebují létat na pracovní schůzky a vyžadují přistání například



na malých letištích všeobecného letectví [12]. Mezi zástupce turbovrtulových letadel patří například Pilatus PC-12, L410 Turbolet nebo Piper PA-46-500TP Malibu [14].

Tabulka 1: Hlavní zdroje hluku letadel [3]

zdroj hluku	charakteristika hluku	podmínky, za kterých je nejvíce znatelný	komentář
podvozek	širokopásmový hluk způsobený turbulentním prouděním na různých prvcích podvozku a hluk způsobený dutinami	při nízkých otáčkách motoru (na konečném přiblížení)	těžká letadla vytahují podvozek přibližně 15 km před dráhou, hluk podvozku je ovlivňován obtékáním vzduchu kolem křídel
klapky	širokopásmový hluk způsobený turbulencemi okolo postranních hran a mezer	nízké otáčky motoru, nebo při volnoběhu během přiblížení	klapky jsou důležitým prvkem pro let, ale zároveň také produkují nadměrný hluk, hlavní zdroj hluku je na hraně klapky
sloty	širokopásmový hluk způsobený turbulencemi v mezerách	nízké otáčky motoru, nebo při volnoběhu během přiblížení	produkují nadměrný hluk, zamezují laminárnímu obtékání
křídlo	širokopásmový hluk způsobený turbulencemi na odtokových hranách	nízké otáčky motoru, čistá konfigurace – počáteční fáze přiblížení	málo naměřených dat – špatně měřitelné
aerodynamická brzda	odtržení proudění	nízké otáčky motoru, přiblížení	hluk spoileru může být snížen, pokud je uzavřena mezera mezi křídlem a spoilerem
dmychadlo	hluk způsobený interakcí rotoru a statoru, vzpěrami, vzduchem proudícím dmychadlem	vždy	šíření širokopásmového hluku se stává důležitým pro budoucí návrhy motorů, hluk ventilátoru se zvyšuje v důsledku zvýšeného zkreslení přítoku instalací motoru, hluk ventilátoru je snížen díky obložení, hluk ventilátoru může být vystaven významnému snížení díky konstrukčním prvkům
tryska	turbulentní míchání vzduchu	vzlet	zdroj hluku za motorem
spalování	především širokopásmový hluk, expanze směsi plynů ve spalovací komoře, nepřímý příspěvek hluku v důsledku konvekce nerovnoměrností tlakovými gradienty v turbíně	přiblížení, při odletu po snížení tahu	---
turbína	hluk způsobený interakcí rotoru a statoru, vzpěrami, vzduchem proudícím dmychadlem	přiblížení, při odletu po snížení tahu	charakteristický širokopásmový hluk turbíny
kompresor	širokopásmový hluk podobný dmychadlu	přiblížení, při odletu po snížení tahu	---



Tryskové neboli proudové letouny mají jeden nebo více motorů, které dodávají tah pro pohyb letounu po zemi i ve vzduchu. Proudové letouny jsou rychlejší než výše zmiňované turbovrtulové. V závislosti na výkonostních charakteristikách létají nejčastěji ve výškách okolo 25 000-40 000 stop. Velikost a dolet není tak jednoznačně definovaný, některé proudové letouny mají malou kabinu pro jednoho pilota, kdežto jiné jsou uzpůsobeny pro dva piloty a jsou určeny na mezinárodní lety. Mezi nejznámější výrobce proudových letadel patří Boeing, Airbus, Gulfstream či Bombardier [12]. Podle typu letadla jsou na každém letišti následně definována i protihluková opatření, které musí každý dopravce dodržovat [15].

1.2 Protihluková opatření

Obecně hluk, ať už v letectví, nebo v jiných odvětvích je chápán jako negativní složka. Cílem je hluk neustále snižovat ať už v okolí staveb, letišť, ale i přímo uvnitř budov, či letadel. Hlukem a protihlukovými postupy se zabývá Annex 16 [15]. V České republice je možné jej dohledat v Leteckých předpisech, konkrétně jako L16 – Ochrana životního prostředí [16]. Pro tuto práci je nejdůležitější Svazek I, který se zabývá hlukem letadel. Lze v něm najít rozdělení dle typů pohonu a hmotnosti. Každé skupině letadel je pak přiřazena působnost, hodnocení hluku, referenční měřicí místa, maximální hladiny hluku atd. Ani v předpisu L16 nenajdeme hodnocení hluku v kokpitu letadla. Celý předpis se zaměřuje spíše na ochranu životního prostředí v okolí letišť a na komfort lidí bydlících/pracujících blízko přibližovacích či odletových tratí [16].

Protihluková opatření zvyšují pracovní zátěž pilota i řídících a často mohou zvyšovat provozní náklady dopravce. Avšak pro určitá letiště a postupy jsou nezbytná. Bezpečnost je v letectví stále na prvním místě, má tedy prioritu i nad protihlukovými postupy. Kapitán rozhodne, zda je bezpečné daný protihlukový postup provést, nebo zda by bylo pro let nebezpečné se těmito postupy držet. Například při selhání motoru kapitán určitě nebude řešit protihluková opatření a postupy, ale bude se soustředit na to, aby bezpečně přistál na letišti určené [3].

Způsobů, jak hluk omezit, je hned několik. Pro co největší redukci hluku je důležité, aby byl zdroj hluku umístěn, co nejdále od pozorovatele. Samotný hluk by měl být redukován na nejnižší možnou hladinu, kterou je možné dosáhnout v dané situaci. Samozřejmě, že pokud se budeme bavit o snížení hluku letadel, tato problematika zahrnuje studii několika akustických zdrojů, tj. proud výfukových plynů, dmychadlo motoru, turbínu, spalovací komoru, vrtuli a drak letounu. Protihluková opatření na letadlech jsou realizována v podobě nových vylepšených designů, či ve změnách v operačních procedurách. Míra hluku způsobená letounem v blízkosti



letišť závisí samozřejmě i na typu letounu, počtu letů daného typu za den, denní době provozu letounu či na meteorologických podmínkách. Propagace hluku není jednosměrná. Zahrnuje přímý přenos vzduchem, odraz, difrakci a rozptyl od povrchu Země, budov a od terénu. Lidská obydlí nejsou jedinými budovami citlivými na hluk. Ten ovlivňuje i školy, nemocnice, či dokonce samotné budovy letišť. Snížení nežádoucího hluku vyžaduje přesnou identifikaci zdrojů hluku, posouzení přínosu k celkovému akustickému poli a propojení s nashromážděnými znalostmi o účinnosti dostupného hluku [3].

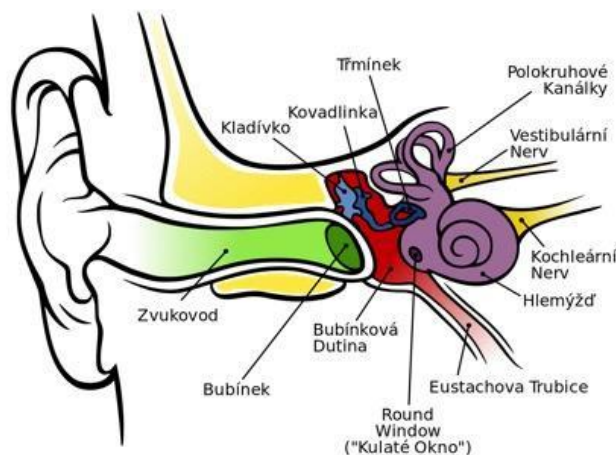
Pro tuto práci jsou podstatnější vnitřní opatření v letadlech a přímo v kokpitu. Skutečnost byla konzultována s dopravním pilotem Dr. Ing. Milanem Kameníkem, který dlouhé roky létal pro ČSA a aktuálně vyučuje na ČVUT. Uvedl, že piloti mají jediné omezení, a to na časovou normu denního/měsíčního/ročního náletu. Tato doba může být navíc ovlivněna počtem přistání, typem letu apod. Co se týká požadavků na sluchátka, jediným je, že musí být letecká s homologací a schválená výrobcem letadla. Mezi piloty jsou nejoblíbenější sluchátka s aktivním potlačením hluku např. od značky Bose A20 Aviation Headset (Bose Corporation, Framingham, MA, USA), která disponují elektronickou eliminací hluku. Avšak ani toto není povinnou výbavou pilota. Schopnost pilota dobře slyšet a správně vnímat hluky generované systémy či letadlem samotným je pro pilota velmi důležitá. Na sluch a zdraví lidského ucha se bere velký zřetel i při každoročních lékařských prohlídkách, které jsou pro dopravní piloty povinné pro udržení si Medical Certification Class 1 [17].

1.3 Lidské ucho

Hlavním receptorem náchylným na hluk je lidské ucho, které má dvě základní, avšak poměrně rozdílné funkce. Je receptorem sluchu, vnímá zvuky a vibrace v okolí, které následně posílá do mozku, který vjem vyhodnocuje. Zároveň slouží jako rovnovážný orgán [18].

Samotné ucho můžeme rozdělit na 3 hlavní části – vnější, střední a vnitřní ucho. Vnější ucho je složeno z boltce, který zachytává vlnění a soustřeďuje jej na bubínek, zvukovodu, který vede zvukové vlny na bubínek, a samotný bubínek, který zakončuje vnější ucho. Střední ucho se skládá z převodního aparátu, tří kůstek – kladívka, kovadlinky a třmínku, kochleárního okénka, které rozděluje střední a vnitřní ucho a Eustachovy trubice, která propojuje střední ucho s nosohltanem a slouží k vyrovnávání tlaku na obou stranách bubínku. Střední ucho přeměňuje zvukové vlny na mechanický pohyb sluchových kůstek a vnitřní ucho převádí tento mechanický pohyb na nervové impulsy, které cestují podél sluchových nervů do mozku. Ve vnitřním uchu se nachází hlemýžď, trubice stočená do spirály, vyplněná kapalinou

s názvem endolymfa. Cortiho orgán neboli sluchový receptor, vybavený vláskovými buňkami, které se vlivem zvuku rozkmitávají a vytváří tak nervový vzruch, který putuje do mozku. Poslední částí vnitřního ucha je vestibulární neboli rovnovážný systém, který detekuje pohyb a zrychlení – to se dále dělí na lineární a úhlové [18]. Jednotlivé části lidského ucha lze vidět na obrázku 4.



Obrázek 4: Popis lidského ucha [18]

Proč vůbec zkoumat lidské ucho a jevy, které na něj mají vliv? Hladiny zvuku jsou nyní v industrializované společnosti velmi vysoké a mnoho jedinců je vystaveno intenzivnímu hluku, který může vést až k poškození sluchu (viz tabulku 2). Vystavování se hluku také vede k podráždění a únavě. Ta může pak zvyšovat riziko incidentu či nehody [2]. Zjištění, jaký vliv má hluk na naše subjektivní vnímání umožňuje efektivněji snižovat nežádoucí hluky a zvyšovat výkonnost při práci. Bylo přijato několik zákonů týkajících se hluků na pracovišti, vydaných The Occupational Health and Safety Act v roce 1969. Tyto předpisy v USA požadují, aby zaměstnavatelé zavedli program ochrany sluchu, pokud je pracovník vystaven hluku 85 dB nebo více po dobu 8 hodin v jeden pracovní den [19]. Předpis zároveň umožňuje vystavení se hluku o 5 dB vyšším, avšak pak se pracovní doba v tomto prostředí musí zkrátit na polovinu (viz tabulku 3) [2, 19].

Cílem této práce je zkoumat, zda i hluky v kokpitu nepůsobí výrazně na výkonnost pilota a zda by neměly být nějakým stylem regulovány, či alespoň kontrolovány. Jako věrohodný nástroj pro měření a následné analyzování míry zátěže se často využívá elektrokardiografie (EKG), což je neinvazivní metoda lehce měřitelná v různých situacích [24]. Z toho důvodu byla vybrána i pro tuto práci.



Tabulka 2: Hladiny hluku pro různé zvuky a umístění [18]

zvuk	hladina hluku (dB)
šustění listů v lehkém vánku	10
šeptání	20
tichá konverzace	30
kancelářský hluk	40
konverzace v hlučné továrně	50
hlasité zvuky z ulice (kamiony apod.)	60
stání v blízkosti těžkých strojů	80
max hladina hluku doporučená pro 8hodinovou expozici	87
max hladina hluku doporučená pro 2hodinovou expozici	100
max hladina hluku doporučená pro 30minutovou expozici	110
stání v blízkosti nastartovaného letadla s pístovým motorem	120
stání v blízkosti nastartovaného proudového letadla	140

Tabulka 3: Přípustné vystavení hluku v závislosti na čase [2]

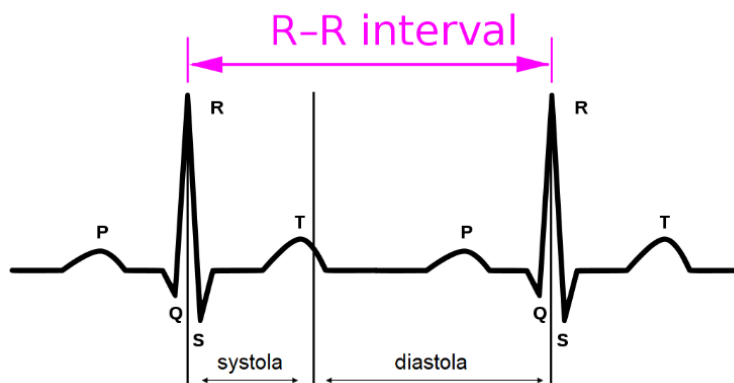
hladina hluku (dB(A))	Povolená délka expozice (h)
85	16
90	8
95	4
100	2
105	1
110	0,5
115	0,25

1.4 Elektrokardiografie

Elektrokardiogram je grafické znázornění elektrické aktivity srdce během srdečního cyklu [20]. Srdeční cyklus je obecně období mezi začátkem dvou po sobě jdoucích srdečních stahů. Skládá se z pravidelného střídání systoly (stah srdečního svalu) a diastoly (uvolnění srdečního svalu) viz obrázek 5 [21]. Právě systola je zahájena vznikem elektrického impulsu, který srdeční cyklus doprovází. Tyto elektrické děje jsme následně schopni zaznamenávat pomocí elektrokardiografie [22].

Obraz EKG se skládá z vln, intervalů (kmitů), segmentů a jednoho komplexu. Vlna je vždy kladná nebo záporná výchylka, která indikuje specifickou elektrickou událost [23]. Závisí na směru šíření vlny depolarizace. Pokud se šíří vlna k elektrodě, která je umístěna na povrchu těla, jedná se o kladnou výchylku. Při šíření směrem od elektrody je výchylka záporná [24].

Na EKG rozlišujeme vlny typu P, Q, R, S a T (viz obrázek 3). Intervalem pak nazýváme čas mezi dvěma specifickými událostmi (vlnami). Intervaly měřené na EKG jsou například PR interval, QRS interval, nebo RR interval. Segmenty nám určují délku mezi dvěma konkrétními body na EKG, které se nacházejí na základní amplitudě, tudíž nejsou záporné ani kladné [23].



Obrázek 5: Zobrazení systoly, diastoly a RR intervalu v rámci vln [25]

Elektrokardiografie neboli EKG je neinvazivní vyšetřovací metoda pro zjištění zdravotního stavu srdce jedince. Potenciály vytvořené srdeční elektrickou aktivitou jsou snímány na povrchu těla (pomocí elektrod) a jsou pak po několikanásobném zesílení registrovány jako elektrokardiogram [24].

Studie [26] a [27] ukazují, že EKG je vhodný záznam, pokud chceme vyhodnocovat stres (zátěž) vytvořenou určitými podněty. Pro správné hodnocení zátěže se sleduje i funkce autonomního nervového systému (Autonomic Nervous System, ANS), která zjednodušeně popisuje, zda je tělo ve stresu, či nikoli. Obecně nejrozšířenějším signálem, který se pro analýzu zátěže využívá je variabilita srdeční frekvence (Heart Rate Variability, HRV), kterou jsme schopni zjistit právě z měření EKG [28].

1.5 Variabilita srdeční frekvence

V současné době roste četnost studií, které využívají HRV pro vyhodnocování stresu [26]. Obecně HRV udává míru kolísání délky intervalů mezi jednotlivými úderů srdce [29]. Udává, jak pravidelné jsou srdeční úder. Pokud je tepová frekvence 60 úderů/minutu, neznamená to, že úder srdce je pravidelně každou vteřinu. V rámci této minuty může být rozdíl mezi prvními dvěma úderů 0,9 s a mezi dalšími dvěma 1,15 s [30]. Platí, že čím vyšší pravidelnost rozdílů, tím nižší je HRV a naopak. Tato pravidelnost se odvozuje od času, který uplyne mezi dvěma



po sobě jdoucími srdečními tepy. Tyto intervaly jsou nazývány RR intervaly a je možné je získat z EKG měření [31]. Pokud víme, jak dlouhé jsou RR intervaly, můžeme určit jak pravidelnost srdeční aktivity, tak hodnotu srdeční frekvence, která vyjadřuje počet RR intervalů v jedné minutě [32].

Z HRV jsme schopni zjistit, jak tělo reaguje na různé psychologické či environmentální podněty [33]. Délky intervalů mezi jednotlivými údery srdce úzce souvisí s funkcí autonomního nervového systému, který reaguje na fyziologické procesy v lidském těle [26]. Hlavními dvěma motoneurony ANS jsou sympatikus a parasympatikus. Sympatikus je spojen se zvýšenou aktivitou a vysokou pozorností, je aktivněji zapojen při zvýšené hodině stresu jedince, nebo pokud se člověk nachází v ohrožení. Sympatikus tedy urychluje srdeční rytmus. V tomto případě se snižují rozestupy mezi RR intervaly. Naopak, zvýšená aktivita parasympatiku zvětšuje rozestupy mezi RR intervaly. Parasympatikus má na starost uvedení organismu zpět do klidového stavu, srdeční frekvence se zde tedy snižuje. Dalo by se říci, že tyto dvě části ANS fungují na jistém principu akce a reakce. Aktivace sympatiku v lidském těle má vždy za následek aktivaci parasympatiku a naopak [34,35].

Vzhledem k tomu, že díky datům z neinvazivního měření EKG je možné získat data variability srdeční frekvence, které lze využít pro analyzování funkce ANS při různých situacích, včetně stresu, byla tato metoda využita i pro tuto práci [26].

Zpracování dat HRV závisí především na jednotlivých délkách měření. Ty dělíme na základní tři kategorie: 24hodinové, krátkodobé (minimální délka záznamu je 5 minut) a ultra krátkodobé (délka záznamu je kratší než 5 minut). Vzhledem k délkám záznamů používaných při studiích je nutné vhodně zvolit metody pro jejich vyhodnocení, jelikož každá kategorie má svá specifika při vyhodnocování parametrů a nelze je mezi sebou zaměňovat [36].

Obecně se HRV dá analyzovat v časové a frekvenční oblasti či pomocí nelineárních analýz. Při všech metodách je zapotřebí nejprve určit již zmíněné RR intervaly [31]. Pro korektní výsledky analýzy je zapotřebí odstranit abnormální RR intervaly, nebo například ektopické beaty. Takto upraveným intervalům se pak říká NN intervaly (normované) [29, 31]. V některých zdrojích je možné narazit na využívání RR a NN intervalů jako synonym, což je ovšem chybné označení [29].



1.5.1 Analýza v časové oblasti

Hodnocení srdečního rytmu v časové oblasti popisuje variabilitu časových úseků mezi jednotlivými srdečními tepy a obecně se řadí mezi nejjednodušší metody [36]. Zahrnuje stanovení statistických a geometrických parametrů sekvence NN intervalů [37]. Statistické metody můžeme rozdělit na dvě podkategorie. Na měření, která jsou odvozena od přímých měření NN intervalů a na měření, která jsou odvozena od rozdílů mezi NN intervaly. Tyto proměnné získáváme z analýzy celého EKG záznamu, nebo je možno je dopočítat při použití kratších EKG záznamů. Parametry zkoumané v časové oblasti popisující variabilitu srdeční frekvence jsou popsány v tabulce 4 [36].

Tabulka 4: Parametry získané při analýze v časové oblasti [36]

Parametr	Jednotky	Popis
meanNN	ms	Průměrný čas NN intervalů
SDNN	ms	Směrodatná odchylka NN intervalů
RMSSD	ms	Kvadratický průměr délek dvou po sobě jdoucích NN intervalů
meanHR	BPM	Průměrná tepová frekvence
SDHR	BPM	Směrodatná odchylka tepové frekvence
Hr max – HR min	BPM	Rozdíl maximální a minimální tepové frekvence
min HR	BPM	Minimální tepová frekvence
max HR	BPM	Maximální tepová frekvence
NN50	počet	Počet dvojic sousedních NN intervalů lišících se od sebe více než 50 ms
pNN50	%	Procento NN50 ze zkoumaného záznamu

Směrodatná odchylka NN intervalů (Standard Deviation of Normal Sinus Beats, SDNN) se měří v ms. Hodnoty SDNN významně korelují s výkony ULF, VLF a LF, což jsou parametry získávané z hodnocení ve frekvenční oblasti [38]. Přesnost SDNN je závislá na délce záznamu, proto jsou pro tento parametr preferována dlouhodobějších měření, kde SNDD vykazuje vyšší přesnost [39]. Pokud máme dostatečně dlouhý záznam HRV, hodnota SDNN v něm bude pravděpodobně stoupat. Obecně je totiž ukazatelem fyziologické odolnosti vůči stresu. S rostoucí SDNN roste odolnost vůči stresu [36].

Parametr NN50 udává počet sousedních NN intervalů, které se od sebe liší o více než 50 ms. Využití tohoto parametru pro analýzu vyžaduje alespoň 2minutová měření. Zde platí, že čím větší rozdíl mezi sousedními NN intervaly, tím vyšší je aktivita parasymptiku [36].



pNN50 aneb procento sousedních NN intervalů, které se od sebe liší o více než 50 ms. Opět vyžaduje alespoň 2minutové měření. Tyto hodnoty korelují s parametrem RMSSD a HF výkonem z frekvenční oblasti. Všechny tyto parametry poukazují na aktivitu parasympatiku a jsou ovlivňovány zvýšenou zátěží, či stresem [36].

RMSSD (The Root Mean Square Succesive Difference), kvadratický průměr rozdílu po sobě jdoucích NN intervalů. Z již proběhlých studií je ověřeno, že je možné hodnoty RMSSD využívat i pro vyhodnocení krátkodobých záznamů [27,28,40]. RMSSD je vhodný pro zjišťování míry zapojení sympatiku a parasympatiku v HRV. Je spolehlivější a pro krátkodobá měření je upřednostňován před pNN50 [41], přestože oba parametry odráží aktivitu parasympatiku [31,36,42]. Nízké hodnoty RMSSD poukazují na převahu sympatiku, vysoké naopak na převahu parasympatiku.

HR max-HR min udává průměrný rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší tepovou frekvencí. Je počítán zvlášť z každého respiračního cyklu. Pro výpočet tohoto parametru je opět nutné alespoň 2minutové měření [36].

1.5.2 Popis ve frekvenční oblasti

Metody analýzy ve frekvenční oblasti nejčastěji využívají rychlé Fourierovy transformace (Fast Fourier Transformation, FFT) nebo autoregresivního modelování [43]. Výhodou využití FFT je vysoká rychlost zpracování dat [44]. Díky FFT je získán výkon ve frekvenčním spektru, který se pro HRV dělí na jednotlivé složky: ULF (Ultra Low Frequency Band), VLF (very Low Frequency Band), LF (Low Frequency) a HF (High Frequency), kde každá složka odpovídá určité fyziologické aktivitě. Všechny parametry získané z analýzy ve frekvenční oblasti lze vidět v tabulce 5 [36].

ULF (Ultra Low Frequency) pásmo zahrnuje všechny frekvence $\leq 0,003$ Hz a pro analýzu vyžaduje alespoň 24hodinový záznam [36]. VLF (Very Low Frequency) pásmo zahrnuje frekvence v rozmezí od 0,003 do 0,04 Hz a pro analýzu vyžaduje alespoň 5minutové záznamy [36].

LF (Low Frequency) pásmo s frekvencemi od 0,04 do 0,15 Hz vyžaduje alespoň 2minutové záznamy [62]. Výkon tohoto pásma je ovlivněn jak parasympatikem, tak sympatikem. V tomto pásmu najdeme především pásma s rytmem zhruba od 3 do 9 bpm. Pro pásmo LF platí, že čím je vyšší, tím je vyšší aktivita ANS [36].



HF (High Frequency) pásmo s frekvencemi od 0,15 do 0,4 Hz odráží aktivitu ANS, stejně jako v nízkofrekvenčním pásmu (LF). HF je také známo, jako respirační pásmo, protože odpovídá změnám NN intervalů způsobených dechovou aktivitou a je ovlivňováno rytmem od 9 do 24 bpm. Obecně pro toto pásmo je potřeba mít alespoň minutový záznam. Jak již bylo zmíněno, parametr HF koreluje s parametry pNN50 a RMSSD z časové oblasti. Vzhledem k tomu, že HF pásmo odráží parasympatickou aktivitu, je ovlivněno stresem, či panikou. S rostoucí HF roste aktivita parasympatiku [36].

Tabulka 5: Parametry získané při analýze ve frekvenční oblasti [36]

Parametr	Jednotky	Popis
ULF	ms ²	Výkon v pásmu ultra nízkých frekvencí (<0,003 Hz)
VLF	ms ²	Výkon v pásmu velmi nízkých frekvencí (0,003–0,04 Hz)
LF	ms ²	Výkon v pásmu nízkých frekvencí (0,04–0,15 Hz)
HF	ms ²	Výkon v pásmu vysokých frekvencí (0,15–0,4 Hz)
LF/HF	-	Poměr výkonů LF a HF
Total	ms ²	Celkový výkon frekvenčního spektra
nULF	%	Výkon v ULF pásmu normalizovaný vůči celkovému spektrálnímu výkonu
nVLF	%	Výkon v VLF pásmu normalizovaný vůči celkovému spektrálnímu výkonu
nLF	%	Výkon v LF pásmu normalizovaný vůči celkovému spektrálnímu výkonu
nHF	%	Výkon v HF pásmu normalizovaný vůči celkovému spektrálnímu výkonu

Poměr LF/HF se nejčastěji používá pro porovnání rovnováhy mezi sympatikem a parasympatikem. Sympatický nervový systém je zodpovědný za přípravu těla na stres, odpovídá tedy vzrušení organismu. Naopak parasympatický systém podporuje fázi klidu a odpočinku. LF pásmo bude tedy převládat u aktivity sympatiku a HF pásmo u aktivity parasympatiku. Pomocí parametru LF/HF jsme schopni nejjasněji říci, jaká situace právě převahuje a zda je měřený subjekt ve stresu, či v klidu. Obecně při nízkém LF/HF převládá aktivita parasympatiku, a naopak při vysokém LF/HF převažuje aktivita sympatiku [31, 36, 43].

Parametr Total je označení pro celkový výkon a zobrazuje celkovou aktivitu ANS. Pro 24hodinové měření udává součet energie v pásmech ULF, VLF, LF a HF. Pro krátkodobé záznamy pouze součet VLF, LF a HF [36].



1.5.3 Nelineární analýzy

Nelineární znamená, že vztah mezi proměnnými nelze interpretovat jako přímku. Tato měření ukazují na nepředvídatelnost časových řad, které jsou důsledkem složitosti mechanismů, které regulují HRV. Parametry nelineární analýzy korelují s parametry z časové, nebo frekvenční oblasti, pokud jsou generovány na stejném principu [36]. Pro analýzu stresu a popis HRV se nejčastěji používají tři metody z nelineárních analýz: Poincarého mapa (graf), detrendovaná analýza fluktuací a vzorková entropie. Veškeré parametry získávané z nelineárních analýz je možné vidět v tabulce 6 [36].

Poincarého mapa se vykresluje tak, že do grafu se zobrazí každý RR interval proti předchozímu intervalu. Na ose x máme tedy délku RR_i (i – pořadí RR intervalu) intervalu a na ose y délku RR_{i+1} intervalu. Tím vzniká tzv. rozptylový graf. Tyto body v grafu vytváří obrazec, podle kterého je možné určit, zda se jedná o zdravý srdeční rytmus, či nikoli. Analýza Poincarého grafu nám pak umožňuje vizuálně hledat vzory skryté v časových řadách (v jednotlivých po sobě jdoucích měřeních) [36, 45]. To se dělá pomocí vložení elipsy do již vzniklých bodů v grafu. Díky elipse je následně možné odvodit tři nelineární parametry: Area (plocha elipsy), SD1 (směrodatná odchylka kolmá k ose identity) a SD2 (směrodatná odchylka podél osy identity). Jak lze vidět z tabulky 6, SD1 je spojena s rychlými změnami mezi sousedními intervaly. Parametr SD1 odpovídá parametru RMSSD z časové analýzy a platí pro ni, že čím je SD1 delší, tím je vyšší aktivita sympatiku. Druhá směrodatná odchylka SD2 ukazuje dlouhodobější změny v srdeční aktivitě, koreluje s výkonem LF z frekvenční oblasti. Platí pro ni, že při delší SD2 má převahu aktivita sympatiku, kdežto při kratší SD2 převažuje parasympatikus [46]. Posledním parametrem získávaným z této nelineární analýzy je poměr SD1/SD2, který koreluje s poměrem LF/HF z frekvenční oblasti [36]. Pro parametr Area platí, že s rostoucí plochou elipsy roste i aktivita ANS [36].

Sample entropy (vzorková entropie) určuje pravidelnost a složitost časové řady. Je využívána pro určování pravidelnosti a složitosti časových řad. Hodnoty SampEnt je možné získat z opravdu krátkých řad, stačí mít okolo 200 hodnot [40].

Analýza detrendovaných fluktuací (Detrended Fluctuation Analysis, DFA) je další nelineární metoda používaná při hodnocení EKG signálu. Poskytuje nám informace o krátkodobých i dlouhodobých změnách NN intervalů. Krátkodobé výkyvy (fluktuace) popisuje parametr α_1 , dlouhodobé pak parametr α_2 [36, 47]. Pro analýzu dat pomocí DFA je zapotřebí



několikahodinový záznam dat, čímž je i tato analýza nevhodná pro naši práci s ultra krátkými záznamy [36].

Tabulka 6: Parametry nelineární analýzy [36]

Parametr	Jednotky	Popis
Area	ms	Plocha elipsy odpovídající celkové HRV
SD1	ms	Poincaré graf, směrodatná odchylka kolmá k ose identity
SD2	ms	Poincaré graf, směrodatná odchylka podél osy identity
SD1/SD2	%	Poměr směrodatných odchylek
SampEnt	-	Vzorková entropie
DFA α 1	-	Analýza detrendovaných fluktuací
DFA α 2	-	Analýza detrendovaných fluktuací
D ₂	-	Korelační dimenze, odhaduje minimální počet proměnných potřebných pro konstrukci modelu dynamiky systému

1.5.4 Shrnutí

V dnešní době rostou požadavky na rychlost a efektivnost veškerých vyšetření a měření, proto začíná být atraktivnější i ultra-krátkodobé měření při analýze HRV [48]. Stejně tomu bylo v této práci, kde jsou porovnávány záznamy o délce 3 minut, čímž se řadí do kategorie ultra krátkodobých měření. Na základě studií, které zjišťovaly parametry variability srdeční frekvence pomocí ultra krátkodobých měření [33,38,39,48] je možné určit limitace a parametry, které je vhodné v této práci porovnávat. Byly porovnány některé již existující studie [33,38,39,48,49] a z průniku parametrů, které zde byly určeny jako vhodné pro ultra krátkodobé měření byly zvoleny limitace pro tuto práci.

V tomto experimentu budou hodnoceny a brány jako relevantní pouze parametry z časové oblasti: SDNN, RMSSD, NN50, pNN50, HR max – HR min. Z frekvenční oblasti: LF, HF, LF/HF. A z nelineárních analýz Area, SD1, SD2, SampEnt.

2. Metodologie

V této části práce je podrobně popsán experiment pro účely hodnocení vlivu specifických zvukových frekvencí na psychofyzilogický stav pilota. Dále je zde popsáno vybavení, které bylo použito ke sběru dat při experimentu a specifikace subjektů (pilotů), kteří se experimentálního měření zúčastnili.

2.1 Vybavení

Pro provedení letu byl využit dvoupilotní simulátor dvoumotorového letounu Beechcraft Baron 58 na Ústavu letecké dopravy v budově Fakulty dopravní ČVUT v Praze. Simulátor jako jediný na ústavu disponuje skutečnou kabinou (viz obrázek 6) a vytváří tak nejrealnější prostředí pro simulaci letu. Zároveň právě díky této kabině bylo možné efektivně přehrávat hluky, které díky odrazům od stěn kabiny působily reálně. Kvůli této skutečnosti byla vyřazena možnost pouštět zvuky měřeným subjektům skrze sluchátka. Subjekt by tak byl odstřižen od nahrávky zvuku motoru, kterým simulátor disponuje, čímž by celý let trafil na skutečnosti.



Obrázek 6: Pohled na kabinu simulátoru Beechcraft 58 na Ústavu letecké dopravy FD ČVUT

Samotný vnitřek simulátoru díky jeho navigačním displejům přispívá k pocitu, že se subjekt nachází v opravdovém letadle. Letový model a vizualizace jsou zde zprostředkovávány programem Microsoft Flight Simulator (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA). Primární přístroje jsou zobrazeny pomocí simulace systému Garmin 1000 (Garmin Ltd., Olathe, Kansas, USA). Simulátoru Beechcraft 58 má jak PFD (primary flight display), tak MFD (multi-functional display) (viz obrázek 7).



Obrázek 7: Detail PFD a MFD simulátoru Beechcraft 58 na ÚLD FD ČVUT

Součástí simulátoru je také instruktorská stanice, ze které je možné provádět dodatečná nastavení simulátoru. Pro toto měření byla stanice využívána především pro relokaci letadla na výchozí letiště letu, čímž bylo Letiště Karlovy Vary (LKKV).

Pro přehrávání zvuků byly využity reproduktory SP-HF1250B (Genius, New York, USA), které byly umístěny za sedačky pilotů (viz obrázek 8). Touto polohou reproduktorů bylo dosaženo nejrealističtějšího zvuku přímo v kabině simulátoru.



Obrázek 8: Poloha reproduktorů při experimentálním měření na ÚLD FD ČVUT

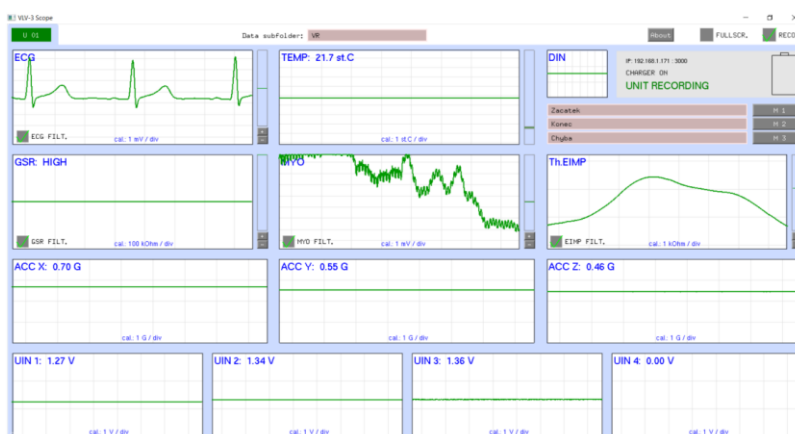
Během experimentu bylo každému dobrovolníkovi, který se měření zúčastnil, měřeno EKG pomocí přístroje VLV Lab. Tento přístroj kontinuálně snímá biologické a technické signály jako je elektrodiagram, elektromyogram, dechovou křivku, teplotu, vlhkost apod. Přístroj v minimální konfiguraci – měřící jednotka, patientský kabelový svazek, měřící elektrody – je schopen snímat EKG, případně EMG. Pro snímání EKG bylo využito jednorázových

elektrod, které byly následně připojeny na měřící elektrody a umístěny na měřený subjekt na předem definovaná místa (viz obrázek 9).



Obrázek 9: Jednorázové elektrody použité pro snímání EKG pomocí přístroje VLV Lab a znázornění jejich umístění na těle při měření

Výhodou tohoto přístroje bylo zároveň to, že byla možnost data okamžitě on-line přenášet do počítače pomocí USB. Poté bylo pro monitorování měřeného signálu použito aplikace VLV-3 Scope, ve které bylo možné sledovat všechna měřená data. Simulaci EKG pulzu je možné vidět na obrázku 10. Data z aplikace byla následně exportována pro účely dalšího zpracování. Vzorkovací frekvence snímaných dat byla 1000 Hz. Během letu byla vždy pomocí tzv. markeru označena doba, kdy byl měřenému subjektu pouštěn určitý zvuk. To usnadnilo následné vyhodnocování dat.



Obrázek 10: Náhled do prostředí aplikace VLV Scope



2.2 Subjekty

Měřenými subjekty byli piloti, kteří měli alespoň minimální zkušenosti s létáním. Podmínkou pro zúčastnění se experimentálního měření byl nálet vyšší než 50 hodin na motorových letounech. Po 50 hodinách má pilot za sebou několik sólo navigačních letů a je schopen sám bez pomoci instruktora, či vedení jiného zkušeného pilota obsluhovat letadlo. Experimentu se celkem zúčastnilo 15 mužů v průměrném věku $22,8 \pm 1,4$ let. Průměrný nálet celé skupiny byl $175 \pm 48,6$ hodin. Cílem bylo použít vzorek pilotů s podobným náletem, aby bylo předejito diskusi, zda extrémní rozdíl v náletu například 200 vs. 4000 hodin může či nemůže ovlivnit zátěž vyvolanou hluky.

Aby bylo možné hluky zkoumat, bylo pro experiment zapotřebí, aby nikdo ze subjektů netrpěl žádným sluchovým defektem, který by mohl ovlivnit výsledky měření. Přesto, že každý z testovaných pilotů byl držitelem Medical Certificate Class 1, byl v rámci experimentu podroben krátkému testu sluchu.

Subjekty byly před začátkem měření seznámeny s tím, jaká data během experimentu budou sbírána a svůj souhlas s experimentem potvrdili podpisem informovaného souhlasu s účastí ve výzkumu a se zpracováním osobních údajů. Dokument je zároveň s žádostí o vyjádření Komise pro etiku ve výzkumu Vědecké rady ČVUT přiložen v práci jako příloha A.

2.3 Experiment

Na základě meta-analýzy, která byla provedena a je popsána na začátku práce v kapitole 1, byl definovaný experiment založen na objektivním i subjektivním měření. Celý experiment může být rozdělen na tři hlavní části: test sluchu, experimentální let a dotazníkové šetření.

Jelikož se v tomto experimentu zjišťovalo působení specifických frekvencí, jako první muselo být zajištěno, že každý měřený subjekt uslyší všechny zvuky, které mu byly během letu přehrávány. Pro test sluchu bylo zvoleno 6 frekvencí – 400 Hz, 1200 Hz, 2000 Hz, 2800 Hz, 3600 Hz, 4400 Hz. Vybrané frekvence odpovídaly frekvencím hluků, které se vyskytují v letadlech. Typicky se v letadlech můžeme setkat s hluky o frekvencích od 50 Hz do 5000 Hz [50]. Tyto testovací frekvence zároveň výškou odpovídaly frekvencím hluků, které byly následně přehrávány během letu. Pro pouštění testovacích frekvencí byly použity cirkumaurální sluchátka pro zajištění co nejkvalitnějšího akustického výstupu. Každý z dobrovolníků byl instruován, aby pokaždé, co uslyší nějaký zvuk, zvedl ruku. Jelikož subjektů na měření bylo pouze 15, zaznamenávalo se úspěšné slyšení frekvence u každého subjektu



zvlášť do tabulky a okamžitě se vyhodnotilo, zda je subjekt vhodný pro zaletění daného experimentu, či nikoli. Jako vhodný byl považován účastník, který slyšel všech šest frekvencí.

Po provedení testu sluchu následovalo seznámení se simulátorem a zaletění cvičného okruhu na letišti v Karlových Varech. Během tohoto úvodního letu se mohli měření piloti na cokoli doptat, vyzkoušet si výchyly a reakce simulátoru, aby je během měřeného letu nic nezaskočilo. Jak je z analýzy současného stavu patrné, toto měření bylo prvním v oblasti zkoumání vlivu určitých zvuků/frekvencí na stres pilota přímo v kokpitu letadla. Proto byla zvolena nejzákladnější forma letu, a to let VFR. S lety tohoto typu se každý pilot setkává na začátku své kariéry. Jsou to lety podle vidu. Pilot se orientuje nejčastěji pomocí srovnávací navigace, kdy porovnává terén, který vidí z kokpitu, s terénem na mapě, ve které by měl mít zvýrazněnou trať, po které plánuje letět. Každý VFR let se řídí pravidly pro let za viditelnosti. S nastavenými pravidly letu se nám pojí i počasí. Let VFR může být proveden pouze za podmínek lepších, než VMC (visual meteorological conditions). Tyto podmínky jsou definovány viditelností, základnou oblačností a podmínkou, že let musí vždy probíhat mimo oblačnost. Aby byla eliminována zátěž vyvolaná nepříznivým počasím, bylo využito v experimentu počasí CAVOK (cloud and visibility OK). Dle definice podmínky pro CAVOK jsou: viditelnost 10 km a více, žádná oblačnost typu CB nebo TCU níže než 5000 ft a žádné význačné počasí na, nebo v blízkosti letiště [51]. Vítr při simulovaném letu byl nastaven na 0 kt. Tímto nastavením počasí redukuje pracovní zátěž pilota a případný stres vzniklý v důsledku nestabilního počasí. Následoval samotný VFR let s vybranými zvuky, při kterém bylo měřeno EKG pilota. Přehrávaných zvuků simulujících reálné zvuky v letadle bylo během experimentu pouštěno celkem 5. Každý zvuk měl jinou frekvenci. Zvuky byly ve frekvenčním pásmu od 498 Hz do 4000 Hz. Byly vybrány podle reálného frekvenčního rozhraní, ve kterém se zvuky v letadle pohybují. Tomuto pásmu také odpovídal již zmíněný test sluchu. První zvuk o frekvenci 1601 Hz simuloval signalizaci chyby podvozku, druhý zvuk o frekvenci 540 Hz odpovídal šumění rádia na palubě, třetí zvuk o frekvenci 498 Hz napodoboval nepravidelné hučení motoru, čtvrtý zvuk o frekvenci 1720 Hz odpovídal kovovému vrzání klapky a poslední zvuk o frekvenci 4000 Hz simuloval rozbitý kondenzátor.

Trať experimentu byla velmi jednoduchá. Začínala i končila na letišti Karlovy Vary (LKKV). Vzlet proběhl z dráhy 29 v Karlových Varech, následně pilot pokračoval kurzem 237° na výstupní bod Whisky – Hrad Loket. Z něj poté na OKG VOR a následně doletěl na uzavřené letiště v Mariánských Lázních (LKMR). Zpět do CTR se dostal přes vstupní bod Sierra – Bečov nad Teplou, po přeletu do CTR pokračoval na bod Bravo a zařadil se do polohy po větru levého okruhu pro dráhu 29, následně pilot přistával na dráze 29 (viz obrázek 11). Celá trasa byla

předem zadána do systému Garmin 1000, čímž byla pilotovi významně ulehčena orientace a navigace během letu.



Obrázek 11: Letěná trasa zobrazená na navigačním displeji

Každé měření bylo důsledně sledováno a měřená data byla průběžně kontrolována. V každém předem definovaném bodě (viz obrázek 12) byl puštěn specifický zvuk, který trval vždy 60 vteřin. Hlasitost každého puštěného zvuku byla nastavena na 64 dB. Díky této hlasitosti bylo docíleno realistického vjemu – zvuk byl dostatečně slyšet a nebyl přebýt hlukem od motoru. Hladina hluku v kabině simulátoru simulující běh motoru během celého letu byla 65 dB. Dle tabulky 3 můžeme vidět, že toto není hladina hluku, která by potřebovala přísné omezení. Ale i přes fakt, co nám říká tabulka, být v hluku 65 dB po delší dobu bude na subjekt působit monotónně s jistým efektem na únavu a jeho pozornost.



Obrázek 12: Diagram trasy se zvuky



Účastník měření byl celou dobu letu připojen na EKG měřící zařízení. Během letu nebyla simulována komunikace s ATC. Vzhledem k tomu, že cílem práce bylo zjistit vliv netradičních zvuků na zátěž pilota, výstupy z EKG jsou pro tuto práci dostačující. Ze simulovaného letu nebyla sbírána žádná letová data. Jediným výstupem, který byl zkoumán a pro který byla sbírána data, je výstup z EKG. Před přehráním každého netradičního zvuku byla poloha zvuku označena markerem v prostředí aplikace VLV Scope, který následně při zpracování dat ukázal přesnou polohu, kdy se začal netradiční zvuk přehrávat. Pomocí toho bylo následně jednodušší zjistit, zda přehrávaný zvuk měl na letícího pilota nějaký vliv, či nikoli.

Nakonec po přistání byl každý z pilotů požádán o vyplnění dotazníku, který se týkal právě dokončeného letu. Díky dotazníku bylo možné porovnat subjektivní vnímání zvuků jako stresorů při letu s objektivními daty změřenými pomocí EKG.

2.4 Dotazník

Pro účely této studie byl vytvořen dotazník o 10 otázkách, které byly položeny tak, aby bylo možné na konci porovnávat subjektivní pohled měřeného jedince s objektivními výsledky. Struktura otázek byla inspirována Nasa Task Load Indexem [52]. Počáteční čtyři otázky jsou pouze s možnostmi odpovědi ano/ne. Tyto otázky se zabývaly obecným pohledem na stres v létání. Zbýlých šest otázek je postaveno na škálovém rozmezí od 1 do 10 a byly položeny s přesnou návazností na právě zaletěný experiment. U těchto otázek bylo zapotřebí zjistit odpověď s větší variabilitou – jak moc daný problém pilot vnímá, či jak silně na něj různé podněty během letu působí (viz příloha B). Subjektivní data byla díky jejich jednoduchosti zpracována a vyhodnocena pouze pomocí histogramů. Objektivní data získaná z měření byla pak zanalyzována v prostředí Matlab.

2.5 Zpracování dat

Z využívané aplikace VLV Scope byl po každém měření vygenerován .txt soubor. V souboru byl viděn čas měření, přítomnost markerů (pomocí kterých byly během měření označovány body zahajující měření s nezvyklým zvukem), či EKG data, která byla pro výslednou analýzu potřebná.

Ke zpracování dat získaných z měření byl použit dostupný kód v prostředí Matlab. Prvním krokem při zpracování dat byla detekce QRS komplexů. Dále bylo zapotřebí zvýraznit R vlny a z nich vypočítat RR intervaly. K tomu byl využit algoritmus Pan-Tomkins. V tomto kroku byly zároveň vyloučeny RR intervaly, které neodpovídaly zadaným parametrům a vznikly šumem,



či byly zaměněny za jinou vlnu. Takto opravené intervaly nazýváme NN intervaly, jak již bylo popsáno v kapitole 1.5.2.

Po získání NN intervalů se mohlo přejít k vyhodnocení jednotlivých parametrů HRV. Pro účely vyhodnocení byly použity parametry popsané v kapitole 1, které jsou vhodné pro vyhodnocování ultra krátkých záznamů měření [53].

Aby bylo možné určit validitu jednotlivých parametrů, bylo zapotřebí udělat statistickou analýzu. Pomocí vhodného statistického testu bylo možné zjistit statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými parametry a pomocí následné post-hoc analýzy přesně určit zvuky, mezi kterými tento signifikantní rozdíl nastal.

Každý subjekt byl během měření podroben 5 specifickým zvukům. Těchto 5 intervalů bylo porovnáváno s jedním referenčním intervalem, ve kterém žádný zvuk přehráván nebyl a žádné naměřené hodnoty EKG nebyly ovlivněny specifickými zvuky a subjekt měl vykazovat normální hodnoty.

Jelikož měření se zúčastnilo celkem 15 subjektů a u každého bylo zkoumáno celkem 6 intervalů, prvním krokem před použitím statistického testu bylo otestování dat každého parametru na normalitu rozdělení dat. Pro správnou volbu testu hypotéz je potřeba vědět, zda data splňují nebo nesplňují předpoklad normality – podle toho je pak následně voleno mezi parametrickými testy s předpokladem normality dat a neparametrickými testy, které jsou určeny pro data bez normality. Pro otestování normality v této práci byl využit Anderson-Darlingův test z prostředí Matlab. Tento test se používá pro ověření, zda hodnoty výběru pochází z určitého teoretického rozdělení [54]. Hladina významnosti pro posouzení p-hodnoty byla určena na 5 %, což je standard pro statistické testování. Pokud p-hodnota vyšla při použití adtestu menší než $\alpha = 0,05$, byla zamítnuta nulová hypotéza s tvrzením, že data mají normální rozdělení [54].

Vzhledem k tomu, že zkoumaná data nepocházela vždy z normálního rozdělení, bylo potřeba využít dva statistické testy pro dosažení správných výsledků. Pro data s normálním rozdělením byl využit test rANOVA (Repeated Measures Analysis of Variance), který je vhodný, pokud se na jednom subjektu vykonává více měření a je potřeba tato měření porovnávat mezi sebou. Pro data bez normality byl použit Friedmannův test, který je neparametrickou obdobou rANOVY [54,55].



Při použití statistických testů je opět nejdříve zadefinována nulová hypotéza, která je následně podle výsledné p-hodnoty zamítnuta, nebo potvrzena. H_0 pro oba testy zněla: Reakce subjektů na specifické zvuky byla ve všech měřených intervalech stejná. P-hodnotu opět posuzujeme na hladině významnosti 5 %. Pokud byla nulová hypotéza zamítnuta, bylo přistoupeno k post-hoc analýze pomocí funkce `multcompare`, která defaultně vychází z Turkey-Kramerova testu a je implementována v prostředí Matlab. Tato forma post-hoc analýzy je vhodná jak pro data s normálním rozdělením, tak pro data, u kterých normalita potvrzena nebyla. Pomocí `multcompare` získáme matici výsledků párových porovnání reprezentovaných opět p-hodnotami. V post-hoc analýze pracuje s nulovou hypotézou, že mezi párovými daty byl signifikantní statistický rozdíl. Podle p-hodnot jednotlivých párových porovnání bylo následně možné hypotézu potvrdit, či vyvrátit.

K prezentaci výsledků v grafické podobě byly využity krabicové diagramy neboli boxploty. Tento typ grafické metody umožňuje posouzení dat pomocí kvartilů. Kvartily nám dělí soubor na čtyři části, kde každá z nich obsahuje 25 % datových bodů. Dolní kvartil (značený x_{25}), druhý kvartil nazývaný též medián (značený x_{50} nebo jako \bar{x}) a horní kvartil x_{75} . Boxplot u souboru dat obecně umožňuje identifikovat odlehlé hodnoty, posuzovat symetrii rozdělení dat, porovnávat rozptyl u dvou a více souborů hodnot. Odlehlé hodnoty označované také jako outliers mohou zkreslovat výsledné statistické charakteristiky. Tyto hodnoty jsou v boxplotu označovány jako křížky na vnější straně vousů (whiskers) [56]. Pro tuto práci bylo navíc využito funkce `parallelcoords` v prostředí Matlab, díky které je možné pozorovat, jak se pohybovaly hodnoty jednotlivých subjektů v průběhu měření.

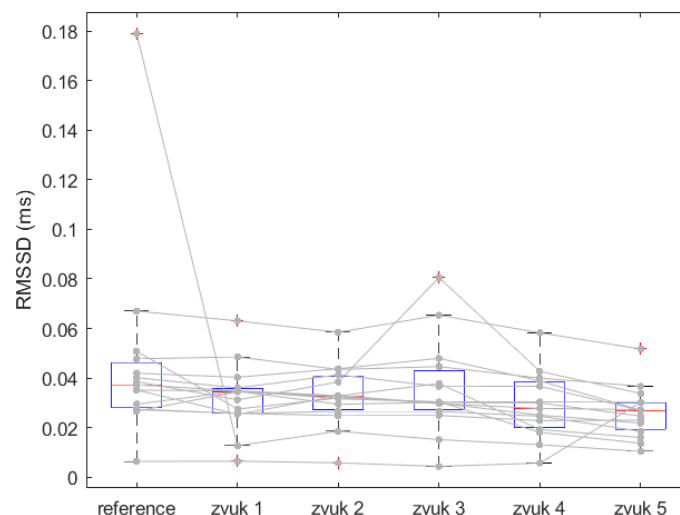
3. Prezentace výsledků

3.1 Experiment

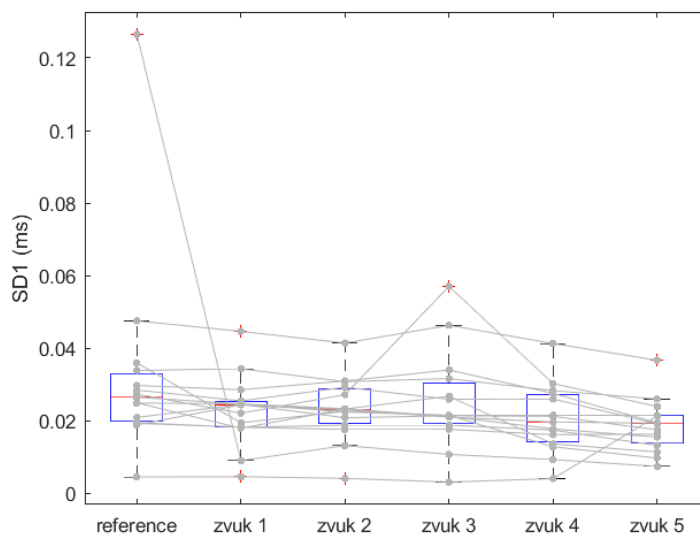
V této kapitole budou prezentovány výsledky měření. Budou zde ukázány pouze výsledky u parametrů se statisticky významnými rozdíly ($p < 0,05$). Podle normality dat byly jednotlivé parametry zkoumány buďto testem rANOVA nebo Friedmannovým testem. V případě objevení významného statistického rozdílu byly doplněny následnou post-hoc analýzou a jsou prezentovány pomocí p-hodnot a konfidenčního intervalu (CI).

Po provedení statistické analýzy byly nalezeny významné statistické rozdíly u parametrů v časové oblasti: SDNN, RMSSD, NN50, pNN50, ve frekvenční oblasti: LF, HF a u nelineárních analýz: SD1, SD2, Area, SampEnt.

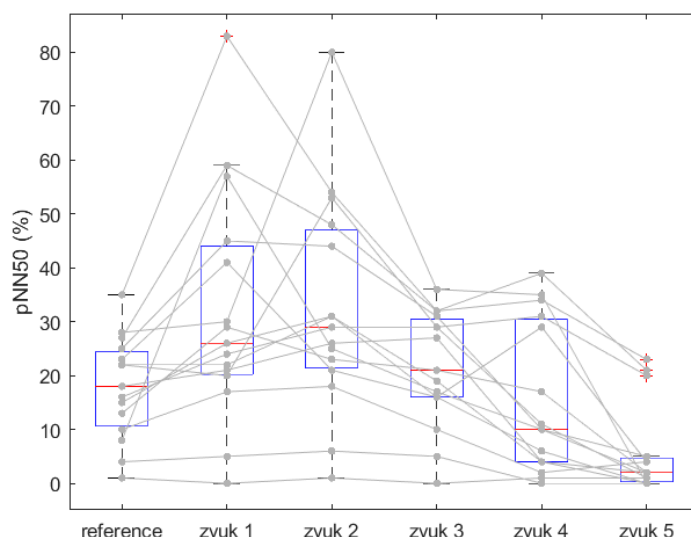
V časové analýze byl nalezen významný statistický rozdíl u parametru RMSSD ($p = 7,833 \cdot 10^{-6}$), viz obrázek 13. Z post-hoc analýzy je zřejmé, že daný rozdíl byl proti referenčnímu intervalu zjištěn u pátého a šestého měřeného intervalu, tedy čtvrtého ($p = 0,0116$, CI = (0,322; 4,212)) a pátého specifického zvuku ($p = 1,536 \cdot 10^{-5}$, CI = (1,388; 5,278)). U parametru SD1 ($p = 7,833 \cdot 10^{-6}$) vyšel významný statistický rozdíl také u čtvrtého ($p = 0,0116$, CI = (0,322; 4,212)) a pátého zvuku ($p = 1,536 \cdot 10^{-5}$, CI = (1,388; 5,278)), viz obrázek 14. Stejný trend, tj. rozdíl mezi prvním a čtvrtým ($p = 0,025$, CI = (0,159; 4,041)) a prvním a pátým ($p = 1,874 \cdot 10^{-5}$, CI = (1,359; 5,241)) zvukem vykazoval také parametr pNN50 ($p = 1,905 \cdot 10^{-5}$), viz obrázek 15.



Obrázek 13: Zobrazení parametru RMSSD pomocí párových boxplotů



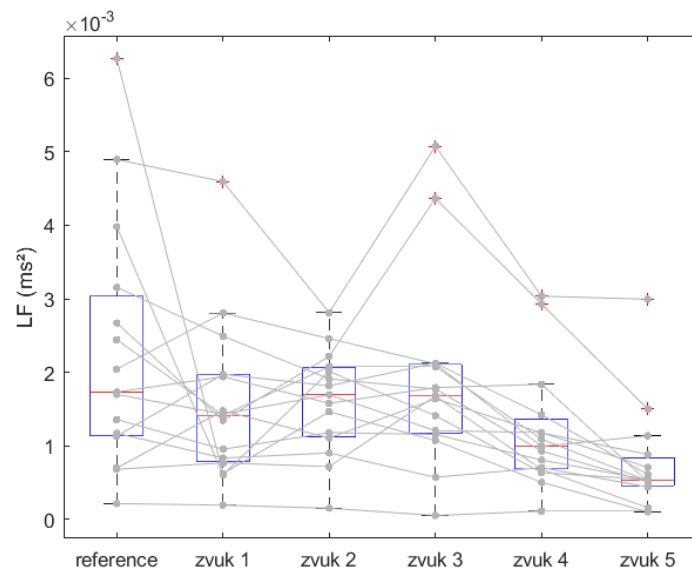
Obrázek 14: Zobrazení parametru SD1 pomocí párových boxplotů



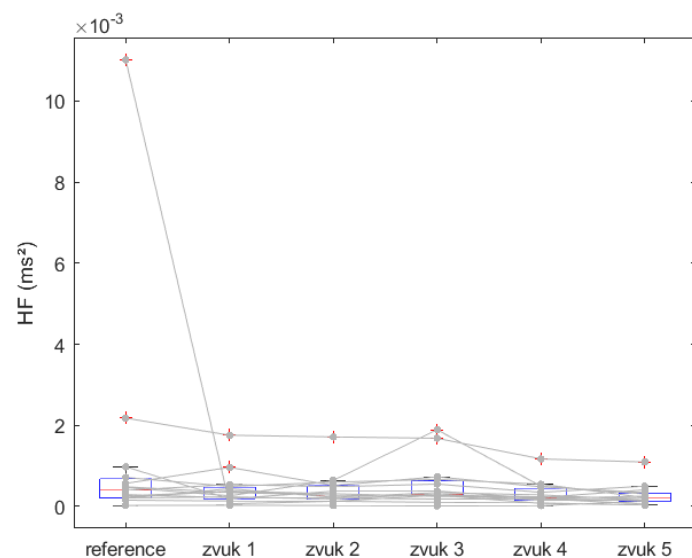
Obrázek 15: Zobrazení parametru pNN50 pomocí párových boxplotů

Stejný trend a signifikantní rozdíl pouze mezi referenčním intervalem a pátým zvukem byl nalezen u parametrů ve frekvenční analýze: LF, HF, v časové oblasti u parametru SDNN a u nelineárních analýz u parametrů: SD2, Area a SampEnt. Výchylka u pátého zvuku byla tedy nejčtenějším rozdílem v celé této studii. Pro referenci je možné vidět boxploty pro parametry LF ($p = 8.252 \cdot 10^{-6}$), kdy hodnoty mezi prvním a pátým zvukem byly $p = 4.042 \cdot 10^{-5}$, CI = (1.255, 5.145) a HF $p = 0,001$ s hodnotami pro rozdíl mezi prvním

a pátým zvuk $p = 0,029$, $CI = (0,122; 4,011)$ na obrázku 16 a 17. Výsledky ostatních parametrů jsou k nahlédnutí v příloze C.

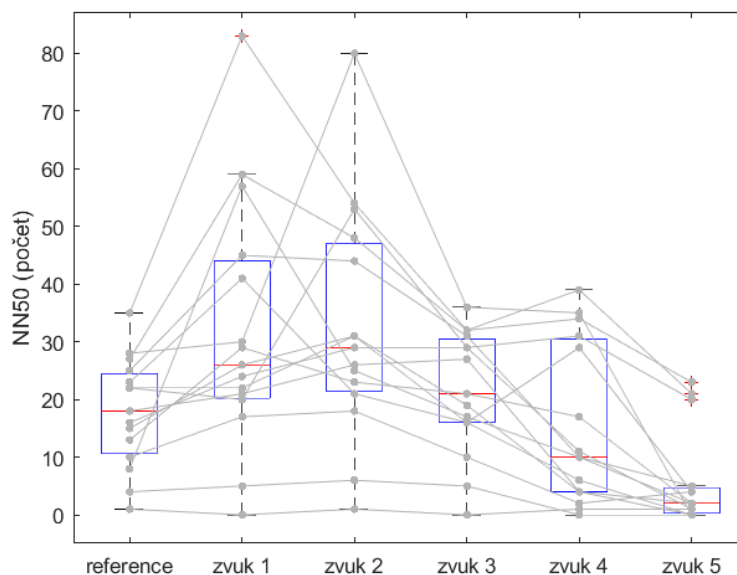


Obrázek 16: Zobrazení parametru LF pomocí párových boxplotů



Obrázek 17: Zobrazení parametru HF pomocí párových boxplotů

Mezi referenčním intervalem a druhým zvukem vznikl signifikantní rozdíl pouze u jednoho parametru, a to v časové analýze u parametru NN50 (viz obrázek 18). Data opět nepocházela z normálního rozdělení a byla testována pomocí Friedmanova testu ($p = 5,657 \cdot 10^{-8}$). Z post-hoc analýzy ($p = 0,008$, $CI = (-4,215; -0,385)$) byl rozdíl potvrzen.



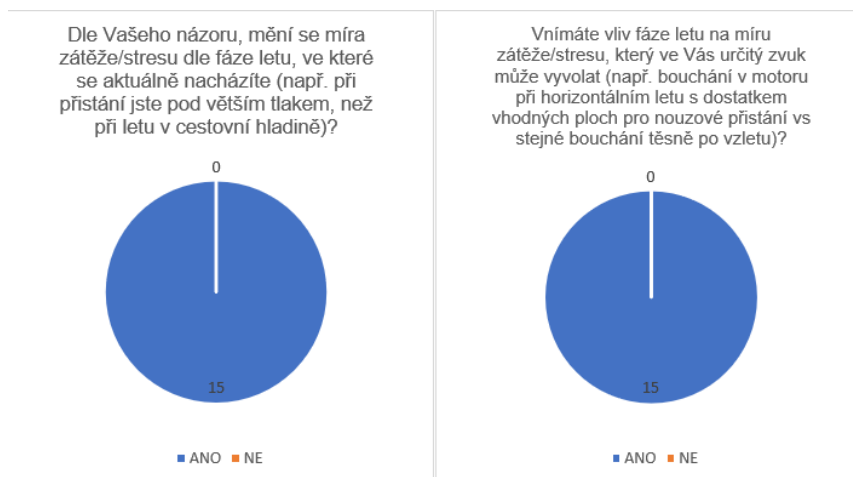
Obrázek 18: Zobrazení parametru NN50 pomocí párových boxplotů

3.2 Dotazník

První otázka se zaměřovala na stresové vypětí v létání obecně. Navazující druhá otázka se dotazovala na vnímání určitých zvuků v kokpitu a zda tyto zvuky na pilota působí negativně. Dále byl zjišťován vliv fáze letu (vzlet, přistání, let v hladině) na míru zátěže/stresu, kde s dotazovaným výrokem souhlasilo všech patnáct subjektů. Poslední z otázek s odpovědí ano/ne se zabývala konkrétním hlukem v různých fázích letu – zda i pro hluky je míra stresu odlišná v závislosti na fázi letu. Grafické znázornění četnosti odpovědí je vidět na obrázku 19.

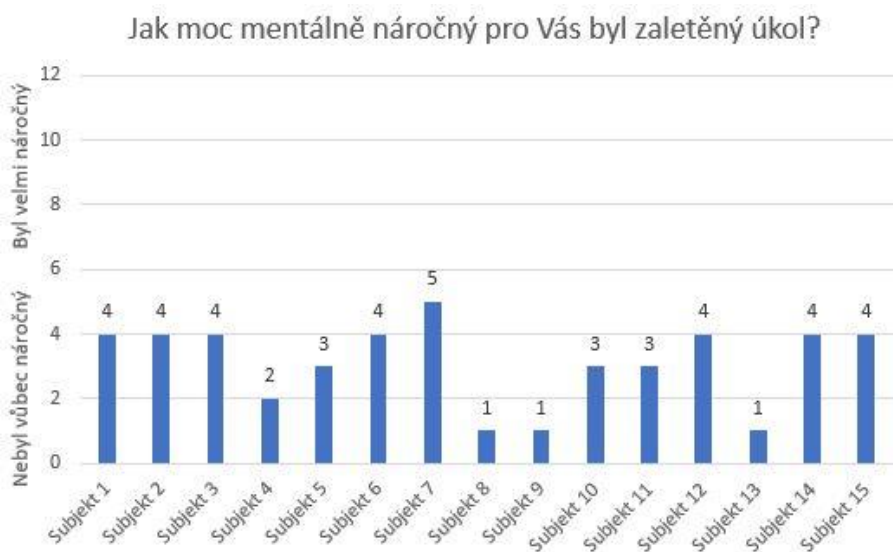


Obrázek 19: Vyhodnocení otázek 1 a 2 z dotazníku



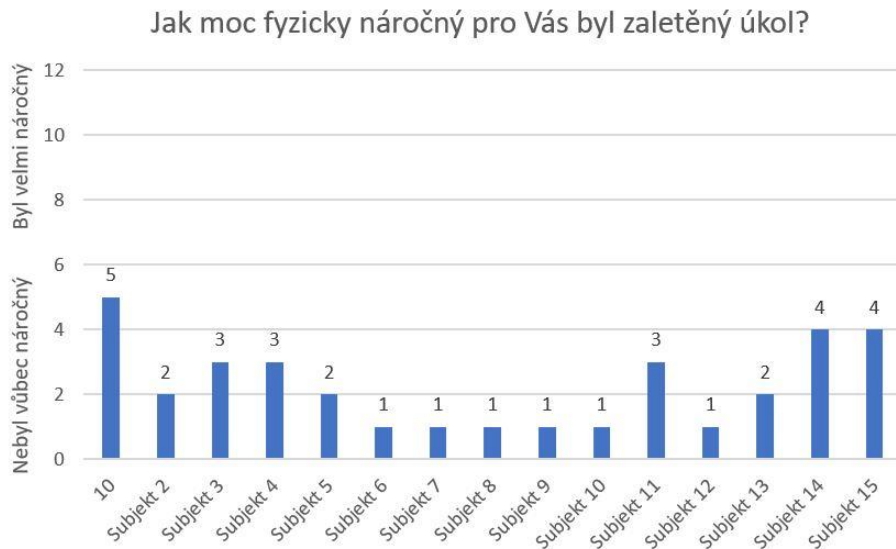
Obrázek 20: Vyhodnocení otázek 3 a 4 z dotazníku

Co se týče mentální náročnosti zaletěného úkolu, kdy 1 označovala že úkol nebyl vůbec náročný a 10 označovala velmi vysokou náročnost úkolu, byla průměrná odpověď na hodnotě $3,1 \pm 1,3$. Všechny odpovědi je možné vidět na obrázku 21.



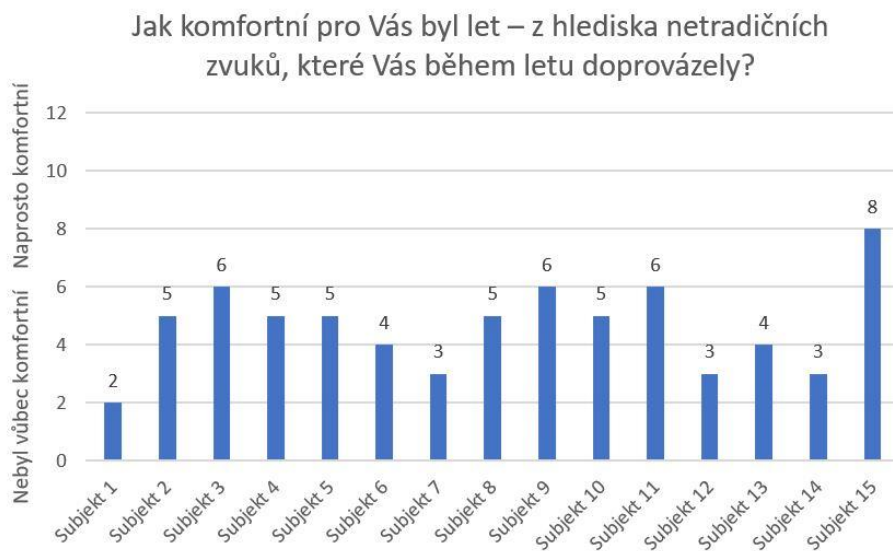
Obrázek 21: Vyhodnocení otázky č. 5 z dotazníku

Fyzická náročnost prováděného experimentu byla na stejné škále průměrně hodnocena hodnotou $2,3 \pm 1,3$. Všechny odpovědi je možné vidět na obrázku 22.



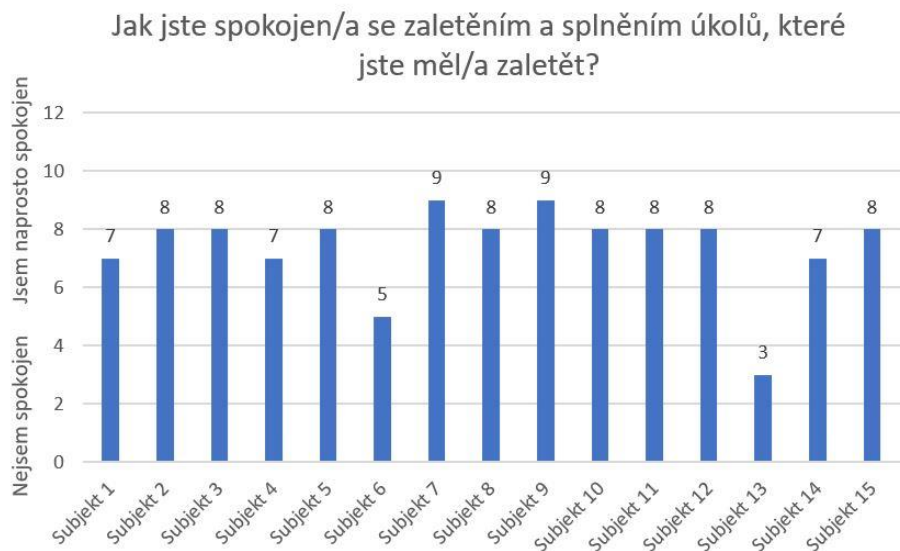
Obrázek 22: Vyhodnocení otázky č. 6 z dotazníku

Komfort z hlediska netradičních zvuků, které piloty během letu doprovázely, byl ohodnocen průměrnou hodnotou $4,7 \pm 1,5$. Jednička na této škále znamenala, že let nebyl vůbec komfortní, naopak desítka znamenala naprostý komfort. Všechny odpovědi je možné vidět na obrázku 23.



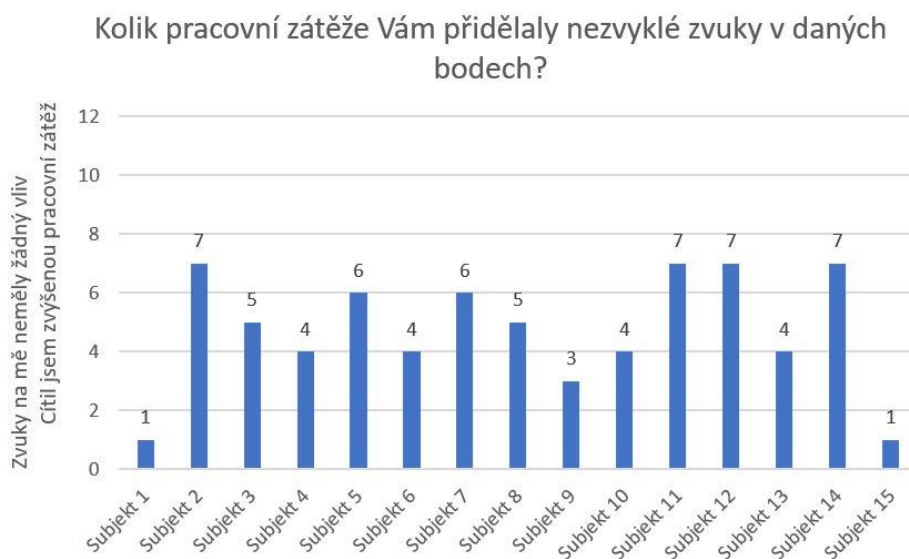
Obrázek 23: Vyhodnocení otázky č. 7 z dotazníku

V osmé otázce subjekty hodnotily spokojenost se zaletěním dané trasy na škále od 1 – nebyl jsem vůbec spokojen po 10 – byl jsem naprosto spokojen. Zde byla průměrná hodnota odpovědi $7,4 \pm 1,6$. Všechny odpovědi je možné vidět na obrázku 24.



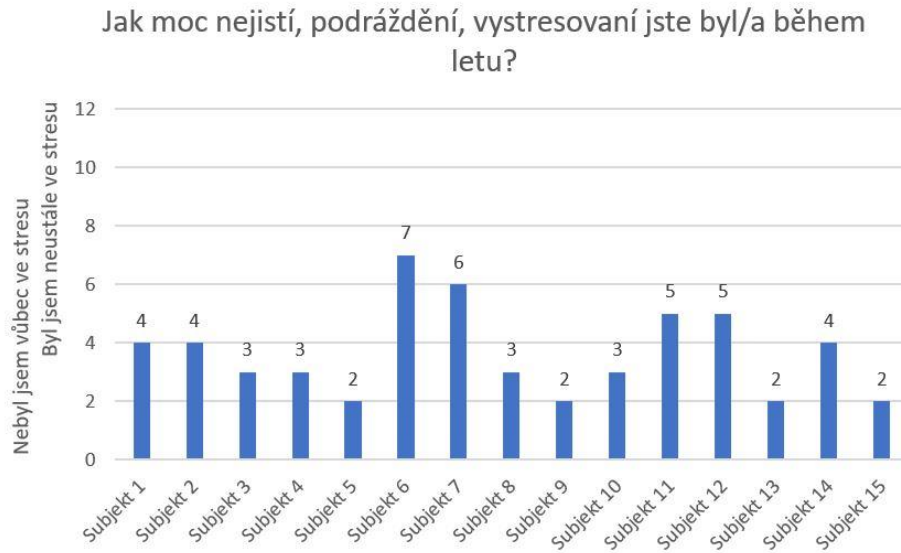
Obrázek 24: Vyhodnocení otázky č. 8 z dotazníku

V otázce, kolik pracovní zátěže pilotovi nezvyklé zvuky přidělaly v daných bodech na škále od „zvuky na mne neměly žádný vliv“ po „cítil jsem zvýšenou pracovní zátěž způsobenou zvuky“, byla průměrná hodnota odpovědi $4,7 \pm 2$. Všechny odpovědi je možné vidět na obrázku 25.



Obrázek 25: Vyhodnocení otázky č. 9 z dotazníku

Poslední dotaz byl směřován na psychický stav jedince během provádění experimentu. Hodnota 1 – nebyl jsem vůbec ve stresu, hodnota 10 – byl jsem neustále ve stresu. Zde byla průměrná hodnota odpovědi $3,6 \pm 1,5$. Všechny odpovědi je možné vidět na obrázku 26.



Obrázek 26: Vyhodnocení otázky č. 10 z dotazníku



4. Diskuse

Na základě naměřených dat z objektivního měření byl hodnocen vliv celkem pěti specifických zvuků na stres pilota. Tyto jednotlivé zvuky byly vždy porovnávány s referenčním intervalem, během kterého žádný specifický zvuk přehráván nebyl. Ze statistické analýzy naměřených dat vyšel statisticky významný rozdíl u celkem 10 parametrů. Z časové analýzy to byly parametry SDNN, RMSSD, NN50 a pNN50, z frekvenční oblasti parametry: LF a HF a z nelineárních analýz u parametrů SD1, SD2, Area a SampEnt.

Z krabicových diagramů a výsledků prezentovaných v předchozí kapitole je viditelné, že hlavním trendem, který se v měření objevoval, je statisticky významný rozdíl mezi referenčním intervalem a pátým zvukem. Z 10 parametrů, které vykazovaly statisticky významné rozdíly, se tento jev objevil celkem 6x. Pouhým pohledem na boxploty je u parametrů LF, SD1, SD2 a pNN50 vidět značný pokles celkových hodnot u pátého zvuku. Což značí nárůst aktivity sympatiku, který je spojen se zvýšenou zátěží. Nelze však říci, že by parametry měly úplně shodné průběhy. Rozptyly mezi maximem a minimem či hodnotou mediánu se značně liší. Jelikož žádné jiné zvuky tak četné rozdíly nevykazovaly, může být diskutabilní, co skutečně způsobilo takové rozdíly právě u pátého zvuku. Tento zvuk byl o frekvenci 4000 Hz a simuloval rozbitý kondenzátor. Nejenom, že tento zvuk měl nejvyšší frekvenci ze všech, ale zároveň byl přehráván při konečném přiblížení na dráhu 29. Vliv fáze letu (v tomto případě přistání) mohl mít na již zmíněnou odchylku poměrně velký vliv vzhledem k tomu, že přistání je jednou z nejkritičtějších fází letu. Tento fakt potvrzuje otázka č. 3 z dotazníkového šetření, kde 100 % dotazovaných napsalo, že míra stresu v kokpitu se mění dle fáze letu. Současně v otázce č. 4 opět 100 % subjektů napsalo, že vliv fáze letu na ně měl vliv, co se týče stresu vyvolaného specifickým zvukem. Těžko tedy soudit, zda jsou hodnoty výsledkem netradičního zvuku, či fáze letu.

Druhým trendem, ovšem poněkud méně opakovaným byl statistický rozdíl mezi referenčním intervalem a čtvrtým zvukem. Tato odchylka se objevila hned u třech parametrů: pNN50, RMSSD a SD1. Jelikož dle rešerše spolu všechny tyto tři parametry korelují [36], je správné, že i tuto skutečnost výsledky potvrdily. Společně odráží aktivitu parasympatiku, tudíž stav, kdy se tělo vrací do klidu po určitém stresovém vypjetí. Parametr SD1, který nám poukazuje na rychlé změny srdečního rytmu ukázal největší výchyly také právě mezi těmito dvěma zvuky. Ze shodných boxplotů pro parametry SD1 a RMSSD nelze jednoznačně vidět velký rozdíl v maximu, minimu či hodnotě mediánu, avšak dle statistické analýzy zde signifikantní rozdíl byl potvrzen. Na rozdíl od toho u parametru pNN50 lze vidět velký rozptyl hodnot



s význačně nižším mediánem oproti ostatním měřením. Díky vizualizaci skrze párové boxploty je vidět, že většina subjektů se přibližovala hodnotami spíše maximu, či minimu, z čehož vznikl onen velký rozptyl. Čtvrtý zvuk byl o frekvenci 1720 Hz simuloval kovové vrzání klapek a byl přehráván v poloze po větru, kdy při VFR letu pilot skutečně zahajuje přípravu klapek na přistání. Jelikož v poloze po větru nepředpokládáme zvýšený stres vzniklý náročností fáze letu, lze předpokládat, že tento zvuk skutečně v pilotovi určitou stresovou reakci vyvolal.

Pouze u parametru NN50 vyšel statisticky významný rozdíl u jiného než čtvrtého či pátého zvuku. Rozmezí mezi NN intervaly se zde signifikantně lišila u zvuku číslo dva. Z boxplotu lze vidět, že jeden ze subjektů vykazoval extrémně vysoké hodnoty, a naopak dva subjekty byly těsně u minim. S rostoucí hodnotou parametru NN50 roste aktivita parasymptiku, který se aktivuje při odpočinku. Hodnota mediánu zde byla signifikantně vyšší než u ostatních zvuků. Tento zvuk byl o frekvenci 540 Hz a simuloval šumění rádia. Byl přehráván během letu z OKG VOR na přímém letu do Mariánských Lázní. U tohoto zvuku skutečně nešlo o jakkoli namáhavou fázi letu, tudíž vliv tohoto stresoru můžeme vyvrátit.

Výsledky z dotazníkového šetření u otázek komfortu letu z hlediska specifických zvuků (otázka č. 7) a přidané pracovní zátěže specifickými zvuky (otázka č. 9) byly téměř neutrální čili nacházely se téměř přesně mezi extrémními hodnotami. Na základě těchto dvou otázek by se dalo předpokládat, že ani u objektivního hodnocení nenajdeme význačné rozdíly. To potvrzuje i otázka 10, která se zaměřovala na nejistotu, podrážděnost a míru stresu během letu, kde vyšlo najevo, že žádný z měřených pilotů nebyl během experimentu ve stresu. Zároveň ale téměř polovina dotazovaných u otázky č. 1 potvrdila, že vnímá létání jako stresové a dokonce 14 z 15 subjektů napsalo, že si jsou vědomi určitých zvuků v kokpitu, které mohou zvyšovat zátěž na organismus, což by si o určité výchyly v objektivním měření a další zkoumání této problematiky říkalo. V této práci byly objeveny určité signifikantní rozdíly mezi měřenými zvuky, avšak nelze u nich jednoznačně říci, zda byly zapříčiněny skutečně pouze specifickým zvukem.

Při porovnání výsledků této práce s výsledky studie [2], která byla zmíněna v kapitole 1, je možné nalézt určité podobnosti s touto prací. Stejně jako ve studiích [4], či [10] i ve studii [2] se zaměřovali na vliv kumulativního hluku a tuto skutečnost se snažili dokázat pomocí dat odečítaných ze simulátoru během letů. Studie [4] ani [10] nepotvrdila vliv hluku na přesnost či výkonnost pilota. Ovšem u studie [2] bylo zjištěno, že s hlukem klesá přesnost pilotáže, tudíž byl prokázán vliv hluku. V případě této práce byl vliv hluku také prokázán, pouze na trošku jiné úrovni, jelikož zde byl zkoumán vždy jednorázový, nezvyklý zvuk v určitých fázích letu.



V nejnovější studii z roku 2022 [57] bylo poukázáno na problém vystavování vojenských pilotů nepřetržitému hluku během letů. Upozorňuje se zde na fakt, že ačkoli protihluková opatření jsou známou věcí pro ochranu civilních obyvatel a pracovníků letiště, pro ochranu pilotů proti hlukům žádné restrikce neexistují. Na stejný fakt bylo v kapitole 1 upozorněno i v této práci. Ovšem i studie [57] se zabývala vlivem kumulativního hluku. Studie zkoumající netradiční zvuky a jejich okamžitý efekt na výkonnost či zátěž pilota chybí a je potřeba se jim v budoucích studiích více věnovat.



5. Závěr

Cílem práce bylo zjistit vliv specifických zvukových frekvencí na psychofyzilogický stav jedince v pilotní kabině pomocí dotazníkového šetření a na základě objektivního hodnocení. Tento problém v současné době není aktivně řešen a existuje jen málo studií, které by objektivně hodnotily vliv zvuků/hluků na stres pilota. Z tohoto důvodu byla velká motivace prozkoumat tuto problematiku blíže a zjistit, zda z měření vyjdou nějaké výsledky, či zda zvuky v kokpitu nebudou mít na psychofyzilogický stav pilota žádný vliv. Experimentu se celkově zúčastnilo 15 subjektů, které byly podrobeny nejprve testu sluchu a následně pak simulovanému VFR letu, kde se setkaly s přehrávanými specifickými zvuky. Během letu bylo každému pilotovi měřeno EKG, pomocí kterého byly následně získávány výsledky, jelikož EKG se hojně využívá jako nástroj pro kvantifikaci stresu. Data z měření byla zpracována a zanalyzována pomocí vytvořeného programu v prostředí Matlab.

Jednou z hlavních limitací této práce byla délka měření. Jelikož bylo využíváno analýzy HRV, bylo by vhodnější uzpůsobit příští měření tak, aby sledované intervaly měly vždy alespoň 5 minut a mohly se zařadit do krátkých úseků, nikoli ultra krátkých měření. Byla by pak možnost porovnávat více parametrů ze všech oblastí a výsledná data by byla přesnější. Zároveň by bylo vhodné nepoužívat pouze jeden výstup pro zjišťování tak komplexní problematiky. V této práci byl jedinou referencí jeden referenční interval, který byl měřen na začátku letu, když ještě subjektům nebyly přehrávány žádné zvuky. Jelikož nikdo ze subjektů dlouhodobě na simulátoru Beechcraft 58 nelétal, mohla být data zkreslena tím, že se měřený subjekt teprve sžíval se simulátorem a jeho výchyly. Další limitací, která mohla výrazně ovlivnit výsledky této práce, je vliv fází letu na stres pilota. Jelikož byl let poměrně krátký a zvuky byly přehrávány téměř nepřetržitě od startu po přistání, nelze s jistotou určit, zda výkyvy byly 100 % spjaty se zvukem, či s náročností fáze letu. Pro další zkoumání by bylo určitě vhodné nastavit experiment tak, aby se tato nejasnost eliminovala.

Přestože výsledky nebyly tak pestré, jak se čekalo, práce má významný přínos přinejmenším tím, že je pilotní studií problematiky vlivu specifických zvukových frekvencí na stres pilota. Po uvážení výsledků bylo prokázáno, že v určitých měřených intervalech skutečně rostla zátěž měřených subjektů. Zároveň z dotazníkového šetření jde vidět, že piloti si jsou vědomi zvuků, které na ně v kokpitu letadla působí. Tyto výsledky mohou sloužit jako inspirace pro další studie, jejichž přínosem může být snížení zátěže pilota díky upravením zvukových frekvencí v kokpitech letadel, či nalezení alternativy k omezení vlivu těchto zvuků na piloty, což by vedlo k dalšímu zvýšení bezpečnosti v letectví.



Seznam použité literatury

- [1] PENNIG, Sibylle, Julia QUEHL a Vinzent ROLNY. Effects of aircraft cabin noise on passenger comfort. *Ergonomics* [online]. 2012, **55**(10), 1252-1265 [cit. 2022-04-02]. ISSN 0014-0139. Dostupné z: doi:10.1080/00140139.2012.703698
- [2] The Effect of Cockpit Noise on Aircraft Pilot Psychomotor Performance. In: *Embry-Riddle Aeronautical University Scholarly Commons* [online]. Embry-Riddle Aeronautical University – Daytona Beach, 2001 [cit. 2022-07-26]. Dostupné z: <https://commons.erau.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1222&context=db-theses>
- [3] ATTENBOROUGH, Keith, V. I. TOKAREV a Oleksandr ZAPOROZHETS. *Aircraft noise propagation, exposure & reduction: assessment, prediction and control*. New York: Spon Press, 2011. ISBN 978-0-203-88882-7.
- [4] IVOŠEVIĆ, Jurica, Tino BUCAK a Petar ANDRAŠI. Effects of interior aircraft noise on pilot performance. *Applied Acoustics* [online]. 2018, **139**, 8-13 [cit. 2022-04-02]. ISSN 0003682X. Dostupné z: doi: 10.1016/j.apacoust.2018.04.006
- [5] LOW, Ian, Brett R.C. MOLESWORTH a Marion BURGESS. The fatiguing effect of broadband noise: An EEG-based study. *Accident Analysis & Prevention* [online]. 2021, **151** [cit. 2022-04-02]. ISSN 00014575. Dostupné z: doi: 10.1016/j.aap.2020.105901
- [6] YERKES, Robert M. a John D. DODSON. The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology* [online]. 1908, **18**(5), 459-482 [cit. 2022-11-22]. ISSN 0092-7015. Dostupné z: doi:10.1002/cne.920180503
- [7] DIAMOND, David M., Adam M. CAMPBELL, Collin R. PARK, Joshua HALONEN a Phillip R. ZOLADZ. The Temporal Dynamics Model of Emotional Memory Processing: A Synthesis on the Neurobiological Basis of Stress-Induced Amnesia, Flashbulb and Traumatic Memories, and the Yerkes-Dodson Law. *Neural Plasticity* [online]. 2007, **2007**, 1-33 [cit. 2022-03-12]. ISSN 2090-5904. Dostupné z: doi:10.1155/2007/60803
- [8] Aircraft noise – Aviation Environment Federation. *Home - Aviation Environment Federation* [online]. Copyright © 2000 [cit. 05.07.2022]. Dostupné z: <https://www.aef.org.uk/what-we-do/noise/>



- [9] SCHIMMACK, Ulrich. (1997). Das Berliner-Alltagssprachliche-Stimmungs-Inventar (BASTI): Ein Vorschlag zur kontentvaliden Erfassung von Stimmungen [The Berlin Everyday Language Mood Inventory (BELMI): Toward the content valid assessment of moods]. *Diagnostica*, 43(2), 150–173.
- [10] STAVE, Allan M. The Effects of Cockpit Environment on Long-Term Pilot Performance. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* [online]. 1977, 19(5), 503-514 [cit. 2022-04-02]. ISSN 0018-7208. Dostupné z: doi:10.1177/001872087701900506
- [11] SENTURIA, B. H. EFFECT OF AIRCRAFT NOISE ON HEARING. *Archives of Otolaryngology – Head and Neck Surgery* [online]. 1945, 41(5), 327-332 [cit. 2022-04-02]. ISSN 0886-4470. Dostupné z: doi:10.1001/archotol.1945.00680030356003
- [12] NBAA. Typy obchodních letadel. In: *NBAA – National Business Aviation Association* [online]. Washington [cit. 2022-07-26]. Dostupné z: <https://nbaa.org/business-aviation/business-aircraft/>
- [13] SKYBRARY. Piston engine aircraft. In: *Skybrary* [online]. [cit. 2022-07-26]. Dostupné z: <https://skybrary.aero/articles/piston-engine>
- [14] AEROWEB. Letouny – Přehled letadel - Aeroweb.cz. *Aeroweb.cz* [online]. Copyright © 2005 [cit. 09.04.2022]. Dostupné z: <https://www.aeroweb.cz/letadla/letouny>
- [15] ICAO. *Annex 16 - Environmental Protection, Volume I Aircraft Noise* [online]. In: 2018 [cit. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://elibrary.icao.int/reader/229739/&returnUrl%3DaHR0cHM6Ly9lbGlicmFyeS5pY2FvLmludC9ob21lL3Byb2R1Y3QtZGV0YWlscy8yMjk3Mzk%3D?productType=ebook>
- [16] ÚCL. LETECKÝ PŘEDPIS OCHRANA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ SVAZEK I - HLUK LETADEL L16/I: L16/I. In: AIM Letecká informační služba [online]. 2021 [cit. 2022-07-26]. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-16i/index.htm>
- [17] EASA. Easy Access Rules for Medical Requirements: ANNEX IV (PART-MED). In: *EASA: European Union AViation Safety Agency* [online]. 06/2020 [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Easy_Access_Rules_for_Medical_Requirements.pdf



- [18] HUMAN PERFORMANCE AND LIMITATIONS: ATPL Ground Training Series [online]. In: *UK. CAE Oxford Aviation Academy, 2014, 2014* [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://files.moskvich.xyz/ATPL/CAE%20Oxford%20Aviation%20Academy%20-%20040%20Human%20Performance%20%26%20Limitations%20%28ATPL%20Ground%20Training%20Series%29%20-%202014.pdf>
- [19] OSHA. Occupational Noise Exposure: Hearing Conservation Program. In: *United States Departure of Labor: Occupational Safety and Health Administration* [online]. 2002 [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://www.osha.gov/noise/hearing-programs>
- [20] EKG – Teorie EKG. In: *Učebnice EKG.cz* [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: http://www.ucebnice-ekg.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=36&Itemid=117
- [21] NALOS, Lukáš a Jitka ŠVÍGLEROVÁ. Srdeční cyklus. In: *MEFANET: Medical Faculties Network* [online]. 2009, 1.10.2009 [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://mefanet.lfp.cuni.cz/clanky.php?aid=12>
- [22] Srdeční cyklus (srdeční revoluce) | Velký lékařský slovník On-Line. *Výrazy od a | Velký lékařský slovník On-Line* [online]. Copyright © Maxdorf 1998 [cit. 12.10.2022]. Dostupné z: <https://lekarske.slovniky.cz/lexikon-pojem/srdecni-cyklus-srdecni-revoluce-4>
- [23] *HEALIO: Medical News, Journals, and Free CME* [online]. Copyright © 2022 Healio All Rights Reserved. [cit. 07.04.2022]. Dostupné z: <https://www.healio.com/cardiology/learn-the-heart/ecg-review/ecg-interpretation-tutorial/introduction-to-the-ecg>
- [24] STANĚK, Vladimír. *Kardiologie v praxi*. 2. aktualizované a rozšířené vydání. Mlečice: Axonite s.r.o., nakladatelství lékařské literatury, 2020. Asclepius (Axonite CZ). ISBN 978-80-88046-21-9.
- [25] Fyziologie srdce. In: *IS MUNI: Informační systém Masarykovy univerzity* [online]. 2018 [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/med/jaro2018/BZFY0222p/um/srdce_bakalari_fyziio.pdf
- [26] SCHMIDT, Philip, Attila REISS, Robert DUERICHEN, Claus MARBERGER a Kristof VAN LAERHOVEN. Introducing WESAD, a Multimodal Dataset for Wearable Stress and Affect Detection. In: *Proceedings of the 20th ACM International Conference on Multimodal*



Interaction [online]. New York, NY, USA: ACM, 2018, 2018-10-02, s. 400-408 [cit. 2022-11-21]. ISBN 9781450356923. Dostupné z: doi:10.1145/3242969.3242985

[27] GIANNAKAKIS, Giorgos, Dimitris GRIGORIADIS, Katerina GIANNAKAKI, Olympia SIMANTIRAKI, Alexandros RONIOTIS a Manolis TSIKNAKIS. Review on Psychological Stress Detection Using Biosignals. *IEEE Transactions on Affective Computing* [online]. 2022, **13**(1), 440-460 [cit. 2022-11-21]. ISSN 1949-3045. Dostupné z: doi:10.1109/TAFFC.2019.2927337

[28] KUMAR, Mohit, Matthias WEIPPERT, Reinhard VILBRANDT, Steffi KREUZFELD a Regina STOLL. Fuzzy Evaluation of Heart Rate Signals for Mental Stress Assessment. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* [online]. 2007, **15**(5), 791-808 [cit. 2022-11-21]. ISSN 1063-6706. Dostupné z: doi:10.1109/TFUZZ.2006.889825

[29] MALIK M., Camm AJ. Heart rate variability. *Clin Cardiol*. 1990 Aug;13(8):570-6. doi: 10.1002/clc.4960130811. PMID: 2204508.

[30] WHOOP. Everything You Need to Know About Heart Rate Variability (HRV). In: *WHOOP* [online]. 2021 [cit. 2022-10-20]. Dostupné z: <https://www.whoop.com/thelocker/heart-rate-variability-hrv/>

[31] MEDICORE. Heart Rate Variability Analysis System: Clinical Information. In: *MEDICORE* [online]. [cit. 2022-10-17]. Dostupné z: http://medicore.com/download/HRV_clinical_manual_ver3.0.pdf

[32] SVAČINOVÁ, Jana. Elektrokardiografie: Workbook fyziologie. In: *MUNI IS: Informační systém Masarykovy univerzity* [online]. 30.11. 2020 [cit. 2022-11-14]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/med/podzim2020/AFYZc/um/protokoly-EKG.pdf>

[33] NUSSINOVITCH, Udi, Keren Politi ELISHKEVITZ, Keren KATZ, Moshe NUSSINOVITCH, Shlomo SEGEV, Benjamin VOLOVITZ a Naomi NUSSINOVITCH. Reliability of Ultra-Short ECG Indices for Heart Rate Variability. *Annals of Noninvasive Electrocardiology* [online]. 2011, **16**(2), 117-122 [cit. 2022-11-22]. ISSN 1082720X. Dostupné z: doi:10.1111/j.1542-474X.2011.00417.x

[34] Lidské tělo: srozumitelný a zevrubný průvodce po strukturách a funkcích lidského organismu. 2. vyd. Bratislava: Gemini, 1992. ISBN 80-85265-59-1.



- [35] DONKELAAR, H. J. ten. *Clinical neuroanatomy: brain circuitry and its disorders*. New York: Springer, c2011. ISBN 978-3642191336.
- [36] SHAFFER, Fred a J. P. GINSBERG. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in Public Health*. 2017. DOI: 10.3389/fpubh.2017.00258. ISSN 2296-2565. Dostupné také z: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpubh.2017.00258/full>
- [37] ŠKVAŘIL, Vojtěch. *Hodnocení regulace srdeční činnosti autonomním nervovým systémem při hypoxii* [online]. In: Praha, 2022 [cit. 2022-10-17]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/101745>
- [38] SHAFFER, Fredric, Steven SHEARMAN a Zachary M. MEEHAN. The Promise of Ultra-Short-Term (UST) Heart Rate Variability Measurements. *Biofeedback* [online]. 2016, **44**(4), 229-233 [cit. 2022-11-22]. ISSN 1081-5937. Dostupné z: doi:10.5298/1081-5937-44.3.09
- [39] MUNOZ, M. Loretto, Arie VAN ROON, Harriëtte RIESE, et al. Validity of (Ultra-)Short Recordings for Heart Rate Variability Measurements. *PLOS ONE* [online]. 2015, **10**(9) [cit. 2022-11-22]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0138921
- [40] KAMATH, Markad V., Mari WATANABE a Adrian UPTON, ed. *Heart Rate Variability (HRV) Signal Analysis* [online]. CRC Press, 2016 [cit. 2022-11-22]. ISBN 9781466576056. Dostupné z: doi:10.1201/b12756
- [41] OTZENBERGER, Hélène, Claude GRONFIER, Chantal SIMON, Anne CHARLOUX, Jean EHRHART, François PIQUARD a Gabrielle BRANDENBERGER. Dynamic heart rate variability: a tool for exploring sympathovagal balance continuously during sleep in men. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* [online]. 1998, **275**(3), H946-H950 [cit. 2022-11-22]. ISSN 0363-6135. Dostupné z: doi:10.1152/ajpheart.1998.275.3.H946
- [42] CONNES, Philippe, Olivier HUE a Stéphane PERREY. *Exercise physiology: from a cellular to an integrative approach*. Washington, D.C.: IOS Press, 2010, s. 162-179. *Biomedical and health research*, v. 75. ISBN 978-1-60750-497-9.
- [43] LÁDROVÁ, Martina. *Analýza srdeční variability z multikanálového fotopletysmografu: Analysis of HR Variability from Multi Channels PPG* [online]. In: Ostrava, 2016 [cit. 2022-10-17]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/84396147.pdf>



- [44] MALIK, Marek. (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*. 93. 1043-1065.
- [45] *Dynamic electrocardiography*. Editor Marek MALIK, editor A. John CAMM. Elmsford, N.Y: Blackwell, c2004. ISBN 978-1405119603.
- [46] GOSPODINOV, Mitko, Evgeniya GOSPODINOVA a Galya GEORGIEVA-TSANEVA. Mathematical methods of ECG data analysis. In: *Healthcare Data Analytics and Management* [online]. Elsevier, 2019, 2019, s. 177-209 [cit. 2022-11-22]. ISBN 9780128153680. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-815368-0.00007-5
- [47] ŠIKNER, Tomáš. *Analýza variability srdečního rytmu pomocí detrendované analýzy fluktuace*. Diplomová práce: VUT v Brně, 2013. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=64589
- [48] BAEK, Hyun Jae, Chul-Ho CHO, Jaegeol CHO a Jong-Min WOO. Reliability of Ultra-Short-Term Analysis as a Surrogate of Standard 5-Min Analysis of Heart Rate Variability. *Telemedicine and e-Health* [online]. 2015, 21(5), 404-414 [cit. 2022-11-22]. ISSN 1530-5627. Dostupné z: doi:10.1089/tmj.2014.0104
- [49] SALAHUDDIN, Lizawati, Jaegeol CHO, Myeong Gi JEONG a Desok KIM. Ultra Short Term Analysis of Heart Rate Variability for Monitoring Mental Stress in Mobile Settings. In: *2007 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* [online]. IEEE, 2007, 2007, s. 4656-4659 [cit. 2022-11-22]. ISBN 978-1-4244-0787-3. ISSN 1557-170X. Dostupné z: doi:10.1109/IEMBS.2007.4353378
- [50] Aircraft Noise: Excerpt from the Oakland International Airport Master Plan Update – 2006. In: *Fly Quiet OAK* [online]. Oakland, 2006, 2006 [cit. 2022-07-31]. Dostupné z: https://flyquietoak.com/sites/default/files/documents/2018-06/aircraft_noise_fundamentals.pdf
- [51] Meteorological Terminal Air Report (METAR) | SKYbrary Aviation Safety. *SKYbrary Aviation Safety* [online]. Copyright © SKYbrary Aviation Safety, 2021 [cit. 15.06.2022]. Dostupné z: <https://skybrary.aero/articles/meteorological-terminal-air-report-metar>
- [52] NASA Task Load Index. In: *National Aeronautics and Space Administration* [online]. [cit. 2022-07-26]. Dostupné z: <https://humanfactors.arc.nasa.gov/groups/TLX/downloads/TLXScale.pdf>



- [53] ESTEBAN, Rebeca Goya. *Heart Rate Variability Characterization Using Entropy Measures: Master in Biomedical Engineering* [online]. In: Porto. 1.6.2008 [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/37655074_Heart_rate_variability_characterization_using_entropy_measures
- [54] NAGY, Ivan a Pavla PECHERKOVÁ. *Statistika: Skripta* [online]. In: Praha: FD ČVUT [cit. 2022-11-10]. Dostupné z: <http://staff.utia.cas.cz/uglickich/pdfka/Statistika.pdf>
- [55] Repeated Measures ANOVA. In: *Laerd Statistics* [online]. 2018 [cit. 2022-11-10]. Dostupné z: <https://statistics.laerd.com/statistical-guides/repeated-measures-anova-statistical-guide.php>
- [56] Box Plots. In: *LibreTexts Statistics* [online]. 9. 4. 2022 [cit. 2022-11-10]. Dostupné z: [https://stats.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_Statistics/Book%3A_Introductory_Statistics_\(OpenStax\)/02%3A_Descriptive_Statistics/2.05%3A_Box_Plots](https://stats.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_Statistics/Book%3A_Introductory_Statistics_(OpenStax)/02%3A_Descriptive_Statistics/2.05%3A_Box_Plots)
- [57] MIKSIK, Lukas, Jan BORIL, Erik BLASCH a Vratislav SOUCEK. Hearing Threshold Shift of Air Force Pilots Caused by Noisy Working Environment. In: *2022 IEEE/AIAA 41st Digital Avionics Systems Conference (DASC)* [online]. IEEE, 2022, 2022-9-18, s. 1-5 [cit. 2022-11-23]. ISBN 978-1-6654-8607-1. Dostupné z: doi:10.1109/DASC55683.2022.9925893



Seznam příloh

Příloha A: Informovaný souhlas a stanovisko Etické komise	63
Příloha B: Dotazník k experimentálnímu měření.....	66
Příloha C: Další parametry analýzy se signifikantním statistickým rozdílem	68

Příloha A: Informovaný souhlas a stanovisko Etické komise



Odbor pro vědeckou a výzkumnou činnost
Rektorát ČVUT v Praze
Jugoslávských partyzánů 1580/3
160 00 Praha 6-Dejvice

Příloha 1 – Vzor informovaného souhlasu s účastí ve výzkumu a se zpracováním osobních údajů

SOUHLAS SE ZPRACOVÁNÍM OSOBNÍCH ÚDAJŮ ÚČASTNÍKA PROJEKTU

udělený v souladu s Nařízením Evropského parlamentu a Rady (EU) 2016/679 ze dne 27. dubna 2016 o ochraně fyzických osob v souvislosti se zpracováním osobních údajů a volném pohybu těchto údajů a o zrušení směrnice 95/46/ES

Název výzkumného projektu: Vliv specifických zvukových frekvencí na hladinu stresu pilota v kokpitu letadla
(dále jen „Výzkumný projekt“)

Subjekt údajů: (jméno a příjmení účastníka projektu)
Datum narození:
Bytem:
(dále jen „Účastník projektu“)

Správce údajů: České vysoké učení technické v Praze
Sídlem: Jugoslávských partyzánů 1580/3, 160 00 Praha 6
Fakulta: Fakulta dopravní, Ústav letecké dopravy
Adresa: Horská 3, 128 03 Praha 2
Kontaktní email: kalivodova@fd.cvut.cz
IČO: 68407700
(dále jen „ČVUT“)

Pověřенец pro ochranu osobních údajů ČVUT: Ing. Josef Svoboda, Ph.D.
Tel.: + 420 224 353 414, email: dpo@cvut.cz

1. Cílem projektu je získání nových znalostí v oblasti vlivu specifických zvukových frekvencí na psychofyzilogický stav jedince. Podstatou projektu je tedy posoudit, zda mají dané frekvence vliv na pilota v průběhu letu. Celý koncept zahrnuje sledování psychofyzilogických parametrů, respektive odpovědi organismu na daný úkon.

V průběhu experimentu Vám budou

- umístěny jednorázové gelové elektrody v oblasti hrudníku (3 ks) za účelem měření srdeční aktivity,
- umístěna náhlavní sluchátka za účelem prezentace zvukových podnětů,
- sdělovány informace o provádění letu.

V průběhu experimentu můžete bolest hlavy nebo bolest v oblasti sluchového aparátu v důsledku využití náhlavních sluchátek a prezentace zvukových podnětů, což může překročit Váš komfortní stav. V případě jakýchkoli problémů hlase svůj stav dozorcujícímu pracovníkovi, z experimentu je možné v kterékoli fázi odstoupit.

Pro výzkum budou zaznamenány informace o předchozích zkušenostech účastníka projektu s pilotováním letadla.



Odbor pro vědeckou a výzkumnou činnost
Rektorát ČVUT v Praze
Jugoslávských partyzánů 1580/3
160 00 Praha 6-Dejvice

2. Účastník projektu tímto uděluje výslovný souhlas ČVUT se zpracováním svých osobních údajů (jméno, příjmení, bydliště, věk, předchozí pilotní zkušenosti) za účelem sběru, zpracování a vyhodnocení dat v rámci Výzkumného projektu, dále za účelem evidence a archivace těchto dat.
3. Účastník projektu bere na vědomí, že ČVUT shromažďuje a zpracovává výše uvedené osobní údaje na základě tohoto souhlasu, který je Účastník projektu oprávněn kdykoli odvolat. Odvoláním souhlasu není dotčena zákonnost zpracování osobních údajů založená na tomto souhlasu před jeho odvoláním. Odvolat souhlas lze kdykoli písemně (zasláním emailu nebo dopisu na kontaktní adresu ČVUT výše uvedenou), a to bez jakýchkoli jiných nákladů a následků pro smluvní vztahy mezi Účastníkem projektu a ČVUT. V takovém případě zastaví ČVUT veškeré zpracovatelské činnosti osobních údajů Účastníka projektu. Tímto není dotčeno právo Účastníka projektu požadovat výmaz osobních údajů, které se jej týkají a jsou stále v držení ČVUT.
4. ČVUT tímto prohlašuje, že nemá v úmyslu předat osobní údaje Účastníka projektu do třetí země nebo mezinárodní organizace. Osobní údaje mohou být za určitých podmínek zpřístupněny státním orgánům (soudům, policii, notářům, finančním úřadům apod. v rámci výkonu jejich zákonných pravomocí) nebo je ČVUT může přímo poskytnout jiným subjektům v rozsahu stanoveném zvláštním zákonem. Při zpracování budou dodrženy veškeré povinnosti správce údajů dané právními předpisy, zejm. ustanovením § 16 zákona č. 110/2019 Sb., o zpracování osobních údajů, ve znění pozdějších předpisů.
5. Účastník projektu prohlašuje, že je tímto informován/a o svém právu požadovat od ČVUT přístup ke svým osobním údajům, jejich opravu nebo výmaz, jejich přenos, popřípadě omezení zpracování. Bližší informace o výkonu práv subjektu údajů jsou uvedeny na WWW:
<<https://www.cvut.cz/ochrana-osobnich-udaju-gdpr>>.
6. V případě jakýchkoli podnětů, dotazů nebo nejasností v souvislosti se zpracováním osobních údajů, včetně stížností, se lze obrátit na výše uvedeného Pověřence pro ochranu osobních údajů ČVUT.
7. V případě pochybností o dodržování povinností souvisejících se zpracováním osobních údajů se lze obrátit se stížností na Úřad pro ochranu osobních údajů, se sídlem Pplk. Sochora 727/27, 170 00 Praha 7, tel.: 234 665 111, email: posta@uouu.cz, WWW: <<https://www.uouu.cz>>.
8. Tento souhlas je udělován na dobu trvání účelů uvedených v odstavci 2 nebo do odvolání souhlasu Účastníkem projektu.
9. Tento souhlas je vyhotoven ve dvou paré, z nichž ČVUT a Účastník projektu obdrží po jednom.

V dne

.....
Účastník projektu



Odbor pro vědeckou a výzkumnou činnost
Rektorát ČVUT v Praze
Jugoslávských partyzánů 1580/3
160 00 Praha 6-Dejvice

Vyjádření Komise pro etiku ve výzkumu na Českém vysokém učení technickém v Praze

Složení komise: Předseda prof. Ing. František Wald, CSc.
 Členové prof. Ing. Jan Holub, Ph.D.
 doc. Ing. Václav Jirovský, CSc.
 prof. RNDr. Bohumil Kratochvíl, DrSc.
 doc. RNDr. Pavla Poučková, CSc.
 prof. Ing. Olga Štěpánková, CSc.

Projekt **Vliv specifických zvukových frekvencí na hladinu stresu pilota v kokpitu letadla**
Řešitel **Kateřina Vránová**

byl schválen Komisí pro etiku ve výzkumu na Českém vysokém učení technickém v Praze pod
jednacím číslem: 0000-07/22/51903/EKČVUT
dne: 25.5.2022.

Komise pro etiku ve výzkumu na Českém vysokém učení technickém v Praze zhodnotila
předložený projekt a neshledala žádné rozpory s platnými zásadami, předpisy a mezinárodní
směrnicemi pro provádění výzkumu zahrnujícího lidské účastníky.

Řešitel projektu splnil podmínky nutné k získání souhlasu Komise pro etiku ve výzkumu na
Českém vysokém učení technickém v Praze.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
REKTORÁT
JUGOSLÁVSKÝCH PARTYZÁNŮ 1580/3
160 00 PRAHA 6 – DEJVICE
(1/1)

Razítko ČVUT v Praze

podpis předsedy Komise pro etiku ve výzkumu na ČVUT v Praze



Příloha B: Dotazník k experimentálnímu měření

DOTAZNÍK BP

Jméno:

Nálet (přibližně):

Létané typy:

1. Vnímáte létání jako stresově náročné?

- ANO
- NE

2. Jste si vědomi určitých zvuků v kokpitu, které mohou působit jako podněty zvyšující zátěž na Váš organismus?

- ANO
- NE

3. Dle Vašeho názoru, mění se míra zátěže/stresu dle fáze letu, ve které se aktuálně nacházíte (např. při přistání jste pod větším tlakem, než při letu v cestovní hladině)?

- ANO
- NE

4. Vnímáte vliv fáze letu na míru zátěže/stresu, který ve Vás určitý zvuk může vyvolat (např. bouchání v motoru při horizontálním letu s dostatkem vhodných ploch pro nouzové přistání vs stejné bouchání těsně po vzletu)?

- ANO
- NE

5. Jak moc mentálně náročný pro Vás byl zaletěný úkol?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Nebyl vůbec náročný

Byl velmi náročný

6. Jak moc fyzicky náročný pro Vás byl zaletěný úkol?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Nebyl vůbec náročný

Byl velmi náročný



7. Jak komfortní pro Vás byl let – z hlediska netradičních zvuků, které Vás během letu doprovázely?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Nebyl vůbec komfortní

Naprosto komfortní

8. Jak jste spokojen/a se zaletěním a splněním úkolů, které jste měl/a zaletět?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Nejsem vůbec spokojen/a

Jsem naprosto spokojen/a

9. Kolik pracovní zátěže Vám přidělaly nezvyklé zvuky v daných bodech?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Zvuky na mě neměly žádný vliv

Cítil/a jsem zvýšenou pracovní zátěž kvůli zvukům

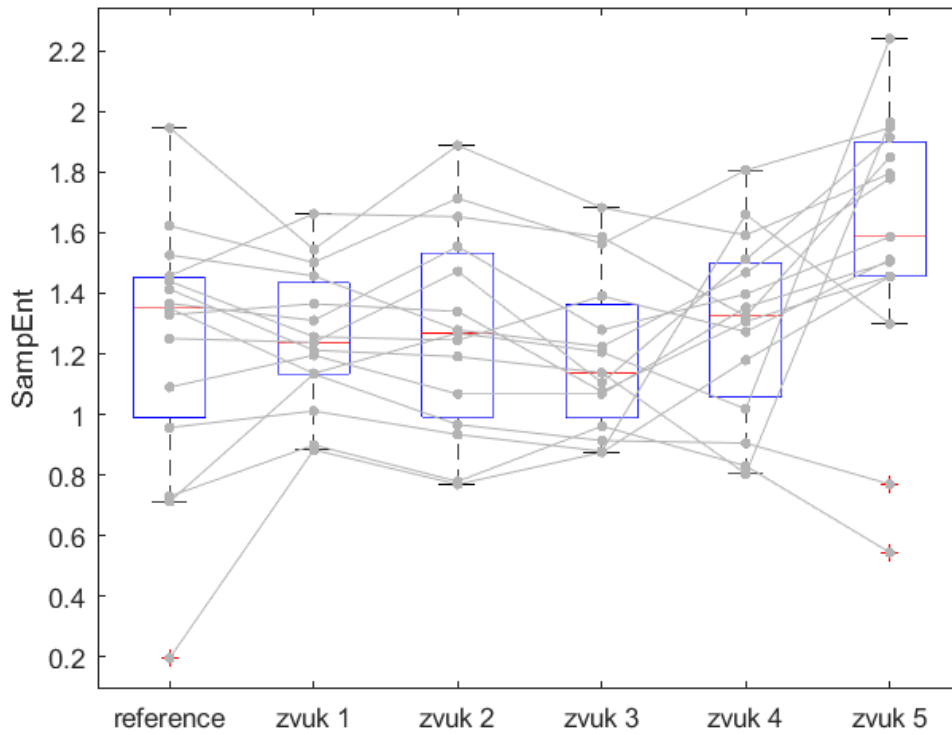
10. Jak moc nejistí, podrážděni, vystresovaní jste byl/a během letu?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

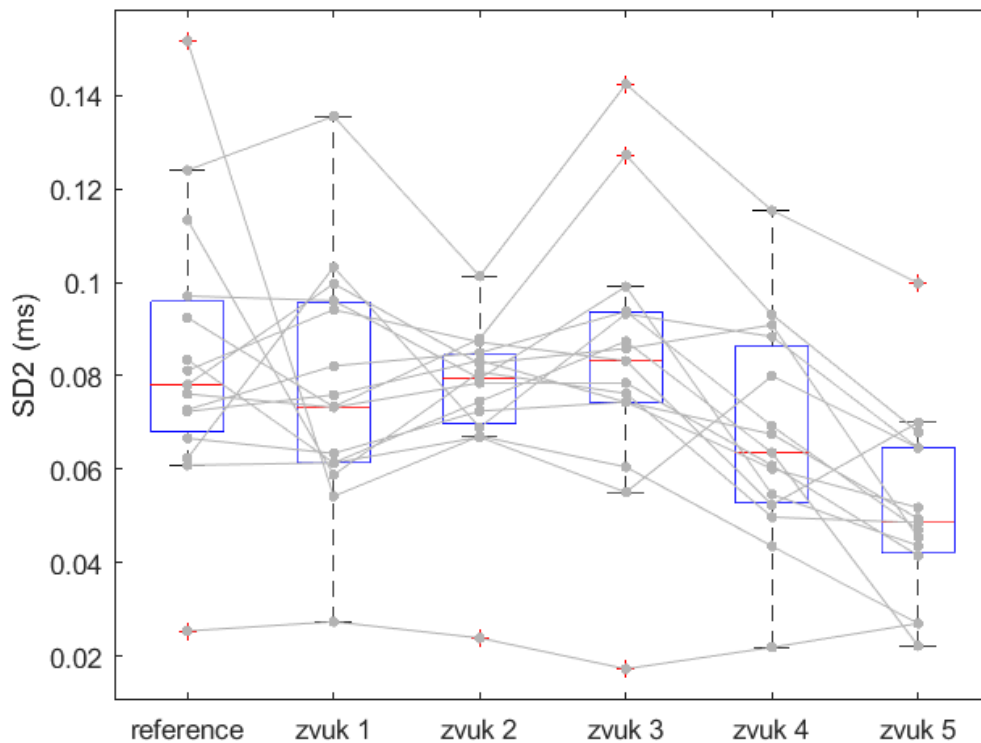
Nebyl/a jsem vůbec ve stresu

Byl/a jsem neustále ve stresu

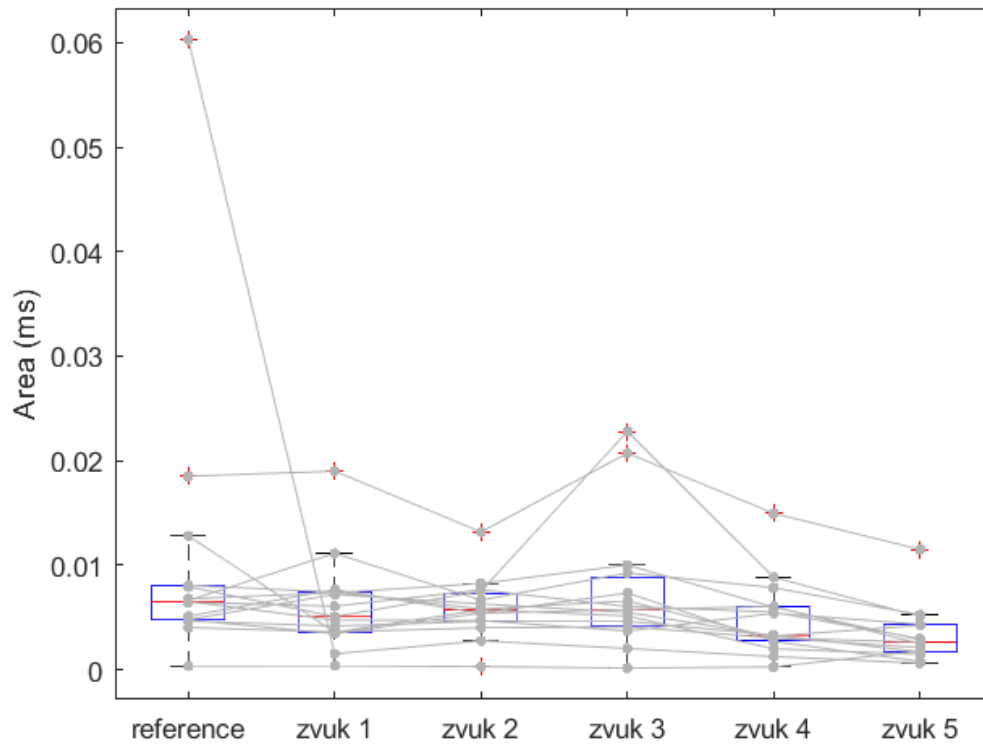
Příloha C: Další parametry analýzy se signifikantním statistickým rozdílem



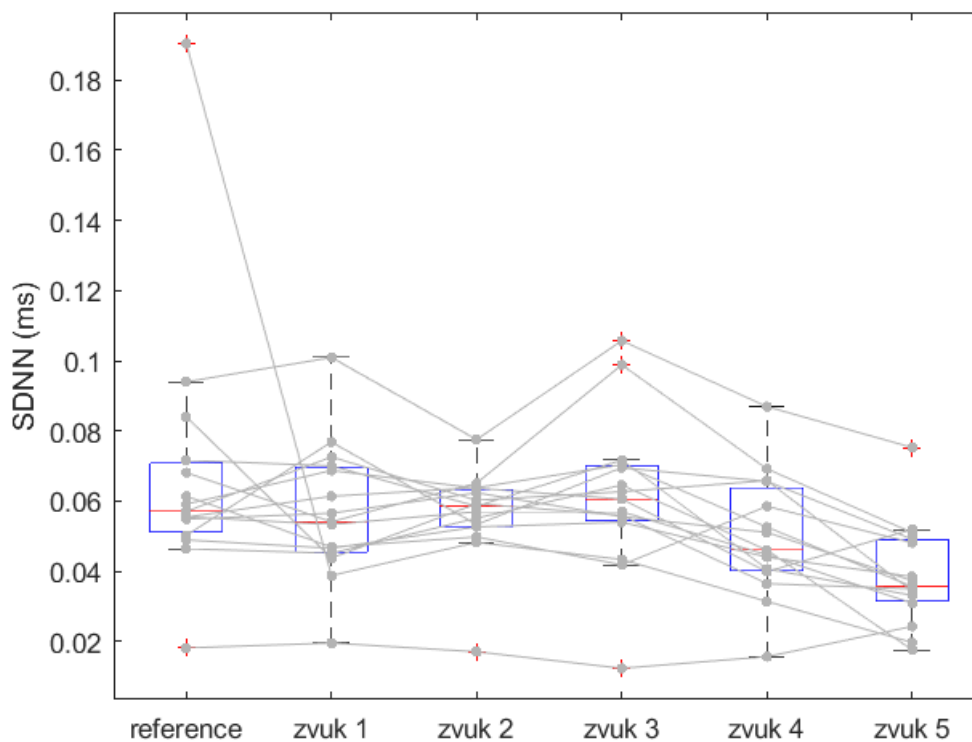
Zobrazení parametru SampEnt pomocí párových boxplotů



Zobrazení parametru SD2 pomocí párových boxplotů



Zobrazení parametru Area pomocí párových boxplotů



Zobrazení parametru SDNN pomocí párových boxplotů