

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

Fakulta dopravní

Bakalářská práce

**Porovnání subjektivního a objektivního
hodnocení únavy pilotů**

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Profesionální pilot

Vedoucí práce: Ing. Lenka Hanáková

doc. Ing. Bc. Vladimír Socha, Ph.D.

Lukáš Herman

Praha 2020



K621**Ústav letecké dopravy**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Lukáš Herman

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – PIL – Profesionální pilot

Název tématu (česky): **Porovnání subjektivního a objektivního hodnocení únavy pilotů**

Název tématu (anglicky): Comparison of Subjective and Objective Evaluation of Pilot Fatigue

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je porovnat subjektivní hodnocení (dotazníkové šetření) únavy pilotů s objektivním hodnocením založeném na přesnosti pilotáže, případně na sledování fyziologických parametrů nebo psychologických šetření. Výsledkem by mělo být zhodnocení účelnosti využívání dotazníkových šetření při hodnocení únavy.
- Vypracujte analýzu současného stavu v uvedené problematice.
- Vytvořte formulář pro dotazníkové šetření únavy u pilotů realizujících experimentální lety na leteckém simulátoru.
- Výsledky dotazníkového šetření porovnejte s výsledky objektivních ukazatelů únavy.
- Výsledky diskutujte a stanovte závěry 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: International Air Transport Association. "Fatigue Management Guide for Airline Operators." 2015.
Hanakova, Lenka, et al. "The influence of fatigue on psychophysiological indicators during 24 hours testing of pilots." 2019 IEEE 17th World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII). 2019.

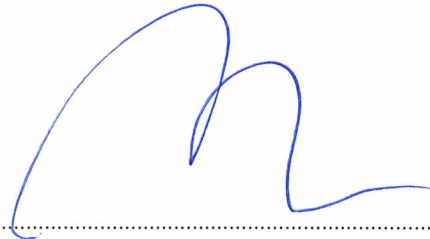
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lenka Hanáková**
doc. Ing. Bc. Vladimír Socha, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: **9. října 2019**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **10. srpna 2020**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia



doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.
vedoucí
Ústavu letecké dopravy



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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.



Lukáš Herman
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....9. října 2019



Poděkování

Zde bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli pomoc při tvorbě této bakalářské práce. Zvláště děkuji vedoucím doc. Ing. Bc. Vladimíru Sochovi, Ph.D. a Ing. Lence Hanákové za odborné vedení a cenné rady při konzultacích. Dále bych rád poděkoval rodině a přátelům za mentální podporu, kterou mi poskytovali během celého studia. Speciální poděkování patří všem pilotům, kteří se na výzkumu podíleli.



Prohlášení

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

Prohlašuji, že jsem předloženou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem č.1/2009 "O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací."

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

V Praze dne 10.8.2020

Podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Bakalářská práce
2020

Porovnání subjektivního a objektivního hodnocení únavy pilotů

Lukáš Herman

Abstrakt

Cílem této práce je porovnat subjektivní a objektivní hodnocení únavy pilotů. V teoretické části jsou ze subjektivních metod do detailu popsány různé typy dotazníků a jejich vhodné použití. Pro objektivní hodnocení únavy byly podrobně popsány metody EKG, EEG a PVT. Všechna data byla nasbívána během čtyř 24 hodinových měření na simulátoru na Ústavu letecké dopravy na ČVUT v Praze, kterých se celkem zúčastnilo 8 pilotů. Všechny subjekty, které se účastnily měření měly stejné množství zkušeností, byly přibližně stejného věku a v den měření vstávaly ve stejnou dobu. Všechny lety, které byly součástí výzkumu byly obdobně obtížné, aby mezi sebou mohly být porovnány. Pro subjektivní hodnocení únavy byl vytvořen dotazník inspirovaný N-TLX. Z objektivních metod bylo pro hodnocení vybráno EEG, které následně bylo porovnáno s výsledky z dotazníku. Na základě prezentovaných výsledků lze tvrdit, že výsledky z dotazníku a z EEG mají podobný průběh.

Klíčová slova

únava, elektroencefalografie, lidský faktor, pozornost

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Bakalářská práce
2020

Porovnání subjektivního a objektivního hodnocení únavy pilotů

Lukáš Herman

Abstract

The goal of this thesis was to compare subjective and objective evaluation of fatigue. From subjective methods are in the theoretical part described different types of surveys and ways of using them. From objective methods were in detail described EEG, ECG and PVT. All data were measured during four 24 hour long measurements on simulator at CTU in Prague. All pilots who took part in this experiment had the same amount of experience, were of the same age and at the day of measurement were woken up at the same time. All flights were equally difficult so they could be compared between each other. As a subjective evaluation of fatigue a survey was created especially for this experiment. From objective methods EEG was chosen to be compared with results from the survey. Based on results gathered it can be said that results from EEG and surveys have similar trends.

Keywords

fatigue, electroencephalography, human factor, vigilance

Seznam zkratek

AC	Air Carrier
ATC	Air Traffic Control (Řízení letového provozu)
CI	Konfidenční interval
ČVUT	České vysoké učení technické
EEG	Elektroencefalografie
EKG	Elektrokardiografie
EOG	Elektrookulografie
FAF	Final Approach Fix (Koncový bod přiblížení)
FAS	Fatigue scale (Stupnice únavy)
FD	Fakulta dopravní
FRMS	Fatigue risk management system
F-RSQ	Fatigue - related symptoms questionnaire
GA	General Aviation
GAAP	General aviation aerodrome procedures
ICAO	International Civil Aviation Organization
IFR	Instrument flight rules (Let podle přístrojů)
ILS	Instrument landing system
JIP	Jednotka intenzivní péče
NAOMS	National aviation operations monitoring service
NPI	Nurse performance instrument
NASA	National Aeronautics and Space Administration
N-TLX	Nasa - Task Load Index
OFER	Occupational fatigue exhaustion recovery
PVT	Psychomotor vigilance task
RMSSD	Root mean square of square differences
RTLX	Raw Task Load Index
SDANN	Standard deviation of average normal-to-normal beats
SDNN	Standard deviation of normal-to-normal beats
SOFI	Swedish occupational fatigue inventory

Obsah

Úvod	10
1 Analýza současného stavu	13
1.1 Dotazníky používané v letectví	13
1.1.1 USA	13
1.1.2 Austrálie	15
1.1.3 Evropa	16
1.2 ICAO	16
1.3 Dotazníkové šetření únavy v dalších odvětvích	17
1.4 Nasa-Task Load Index	18
1.4.1 Dotazníková šetření s použitím NASA-Task Load Index	20
1.5 Základy tvorby dotazníku	21
1.6 Objektivní měření únavy	23
2 Metodologie	28
2.1 Dotazník pro subjektivní hodnocení únavy	28
2.2 Let na simulátoru	32
2.3 Zpracování signálu EEG	33
2.4 Boxplot	35
2.5 Friedmanův test	36
3 Presentace výsledků	39
3.1 Dotazník	39
3.2 EEG	46
4 Diskuze výsledků	55
Závěr	57
Seznam použité literatury	59
Přílohy	62

Seznam obrázků

1	Ukázka FRMS a kombinace otevřených odpovědí s uzavřenými	16
2	Nasa-Task Load Index	19
3	EKG křivka s QRS komplexem	25
4	Tvorba váhového hodnocení	29
5	Otázka k prvnímu tématu „Psychické vypětí“	29
6	Otázka k druhému tématu „Fyzická náročnost“	30
7	Otázka k třetímu tématu „Časová tíseň“	30
8	Otázka k čtvrtému tématu „Kvalita výkonu“	30
9	Otázka k pátému tématu „Náročnost úkolu“	31
10	Otázka k šestému tématu „Stres“	31
11	Schéma jednoho cyklu měření (2 hodiny)	33
12	Helma Ultracortex Mark IV pro měření signálu EEG	34
13	Boxplot (krabicový diagram)	36
14	Boxplot k první otázce na psychické vypětí	39
15	Boxplot k druhé otázce na fyzickou náročnost	40
16	Boxplot k třetí otázce na časovou tíseň	41
17	Boxplot ke čtvrté otázce na kvalitu výkonu	42
18	Boxplot k páté otázce na náročnost úkolu	43
19	Boxplot k šesté otázce na stres	44
20	Boxplot k celkovému zhodnocení pracovního vytížení	45
21	Rozmístění jednotlivých elektrod na helmě	46
22	Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.2 pro první přelet	47
23	Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.2 pro druhý přelet	48
24	Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.4 pro první přelet.	49
25	Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.4 pro druhý přelet	50
26	Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.6 pro první přelet	51
27	Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.6 pro druhý přelet	52
28	Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.10 pro první přelet	53
29	Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.10 pro druhý přelet	54

Úvod

Únava je ze skupiny psychofyziologických jevů a projevuje se snížením schopnosti vykonávat určité činnosti. Ve většině případů jí předchází nadměrné, psychické nebo fyzické, zatížení jedince. Každý člověk má projevy únavy o něco odlišné od ostatních. Může se snižovat koncentrace, vnímání, reakční doba. Mohou se projevovat změny nálad, podrážděnost. Jedinec může řešit problémy s větší laxností a nezaobírat se jimi příliš do hloubky, protože na to nemá kapacitu.

Fyzická únava se projevuje bolestí nebo ztuhlostí svalů. Jedinec se cítí slabý, může registrovat křeče. Pohyby jsou pomalejší a ztrácí koordinaci.

Psychická únava je vnímána především pocitu, například vyčerpání. Dále se může projevovat zhoršenou pamětí. Člověk se složitěji adaptuje na nově nastalé situace a jejich řešení může být v lepším případě pomalé, v horším případě chybné. Právě tento typ únavy se často vyskytuje v letectví [2].

V leteckém oboru je únava o to vážnějším aspektem, protože na výkonu pilotů závisí bezpečnost celého letu. Piloti nesmí být podrážděni, protože musí pracovat v posádce. Nesmí mít sníženou pozornost, z důvodu monitorování letu, komunikace s ATC. Nesmí mít sníženou kapacitu na přemýšlení kvůli možnému nastání neobvyklých situací.

Únava pilotů byla řešeným tématem již v první polovině 20. století. Již v té době se vědělo, že rychlé cestování napříč časovými pásmy je pro lidský organismus zátěž. Pro tyto případy vznikl v roce 1938 první dokument shrnující letové doby pro posádky, Civil Aeronautics Act. Od té doby se systémy pro měření a zkoumání únavy značně posunuly, ale únava zůstává v letectví stále velkým pojmem. Aerolinky využívají posádky na úplné maximum a po určité době se únava musí projevit. S těmito problémy přichází i teorie, že právě únava je nejčastější příčinou incidentů způsobených pilotem [3].

Posádky, které tráví ve službě delší dobu, než je obvyklé, tvoří větší počet chyb. Samotné incidenty nemusí být vždy spojené se ztrátami na životech, ale často jde o velké finanční ztráty. Každý incident spojen s vyšetřováním a odstavením letounu má za následek neschopnost letounu vydělávat peníze. V případě smrtelných úrazů a úplného zničení letounu mohou nastat až existenční potíže pro letecké společnosti. Sami piloti dávají únavě velkou váhu. Časté překračování časových pásem, narušování

cirkadiánního rytmu, ranní vstávání, jet lag, ale také časový tlak během přípravy a provádění letu má vliv na kvalitu výkonu.

Narušování cirkadiánního rytmu se jeví jako jeden z největších problémů. Lidské tělo je nastaveno na přibližně 24 hodinový cyklus. Přes oční sítnici je schopno se seřadit s denním světlem a naprogramovat se na denní bdění a noční spánek. Cirkadiánní útlum nastává kolem šesté hodiny ranní. Pokud se sejde tato doba s nízkým pracovním nasazením, je posádka velmi náchylná k mikrospánku [4].

Únava je fyziologickým problémem. Při měření EEG na pilotech bylo zjištěno, že piloti často trpí mikrospánkem a se zvětšující se pracovní dobou a rostoucí únavou klesá jejich reakční doba. Posádka létající dlouhé linky je náchylná k mikrospánku především během letu v hladině. Je to doba, během které nemá příliš práce a pracovní nasazení je nízké. Dále také riziko mikrospánku ovlivňuje denní doba. V noci je pravděpodobnost mikrospánku až devětkrát vyšší [3].

Piloti na dálkových linkách, delších než 12 hodin mají možnost odpočívat během letu. Při delších službách může provozovatel využít tzv. zdvojené posádky. V tomto případě je každá funkce v kokpitu zdvojena. Musí však být zajištěno, že každý člen posádky může být v polovině letové služby vystřídán. Dále musí být místo pro odpočinek vybavené lůžkem, které se nachází mimo kabinu pro cestující a mimo kokpit. Maximální limit letové služby pro zdvojenou posádku je 18 hodin [5]. Bohužel ale spánek na palubě není schopný nahradit spánek v prostředí domova. Převážně je to způsobeno hlukem letounu, turbulencí, neobvyklým prostředím a podobně.

Pro piloty dálkových linek nemusí být jednoduché usnout ani v klidném prostředí. Přílety do destinace kdykoliv během dne a odlet opět kdykoliv během dne nedovolují tělu se přizpůsobit místním podmínkám. Svou roli v tom hraje i směr letu. Během letů na východ trvá tělu déle si synchronizovat své hodiny než při letech na západ [6].

Tyto problémy nemají piloti krátkých linek. Posádky například v Evropě často spí každý den doma, ale musí se vypořádat s prodlouženou pracovní dobou oproti běžným povoláním a také časným ranním vstáváním. Pracovní doby jsou v rozmezí 10-12 hodin a pro tělo je těžké usnout večer, a naopak ráno se probouzí dříve [7].

V dnešní době je velmi důležitý přístup aerolinky k únavě svých pilotů. Řádně provedené výzkumy a na nich postavené fatigue management systémy jsou klíčové.



Školení jak posádek, tak lidí plánujících lety je nezbytné. Plánovači musí například vědět, že lety na východ jsou náročnější a uzpůsobit časový plán tím stylem, aby to piloti byli schopni zvládnout.

Cílem této bakalářské práce je zjistit, nakolik jsou unavení piloti schopni odhadnout svůj stav a svou schopnost řešit nastalé situace. Během letu bude objektivními metodami sledován skutečný stav pilota a poté po každém letu vyplní měřený subjekt dotazník, ve kterém bude zjištěn subjektivní pocit pilota o jeho stavu. Dle ICAO je pilot schopen odhadnout svůj stav jen v počátečním stadiu únavy, ale jakmile únava přetrvává déle, pilot si myslí, že je odpočatý. Bohužel jeho pozornost a schopnost řešit nastalé situace tomu neodpovídají [4].

1 Analýza současného stavu

V současné době se používají k hodnocení únavy různé typy dotazníků napříč odvětvími a také se liší v různých částech světa. Typicky únava nebo pracovní zátěž je zkoumána u zdravotního personálu a letců. V obou oborech může mít dlouhé pracovní nasazení zaměstnance fatální následky, a proto je důležité mít přehled o jejich vytížení. Zároveň se únava nemusí zkoumat pouze subjektivně pomocí dotazníkového šetření, ale i objektivně pomocí různých senzorů (EKG, EEG), případně testů (PVT).

1.1 Dotazníky používané v letectví

Pro výzkum a měření únavy se v letectví používá celá řada různých dotazníků. Otázky mohou být jak otevřené, tak uzavřené. Zaměřují se na dopravní piloty, piloty všeobecného letectví nebo i piloty vrtulníků.

1.1.1 USA

V letech 2001-2004 prováděla NASA tzv. NAOMS (National Aviation Operations Monitoring Service) průzkumy. Jejich výsledkem bylo 57 doporučení ohledně bezpečnosti v letectví, efektivnosti řízení letového provozu a bezpečnosti cestujících. Existovaly dva typy dotazníků. Air Carrier (AC) a General Aviation (GA). Jak je zřejmé již z názvu, piloti byli rozděleni na dopravní piloty a piloty všeobecného letectví. Celkem se průzkumu účastnilo necelých 30 000 pilotů z toho 25 000 dopravních a 5 000 pilotů GA. Účast byla dobrovolná [8].

Air carrier dotazník je rozdělen do čtyř částí a je poměrně rozsáhlý, celkem má 40 stran. Otázky se vztahují na časové období v minulosti, průměrně 60 dní zpět.

První část se ptá na obecné informace o pilotovi. Jaké má zkušenosti, kolik má nalétáno hodin, kolik letěl letů, kolik jich bylo mimo USA, na jakých letadlech létá. Je to část, ve které je tvořena představa o pilotovi.

Ve druhé části se dotazník zabývá otázkami na bezpečnost. Kolikrát posádka letěla na záložní letiště, případně se vrátila kvůli poruše letadla, kolikrát se jí přesunul náklad během letu, kolikrát zažila kouř případně požár v kabině, kolikrát nedostala povolení od ATC vyhnout se nebezpečnému počasí, kolikrát letěla moc rychle přiblížení, protože neměli jinou možnost kvůli ATC. Tato část je mnohem rozsáhlejší než první „poznávací“ a lze v ní najít nejrozličnější otázky na bezpečnost letu.

Třetí část se zaměřuje na konkrétní události během letu. Například kolikrát posádka obdržela změnu povolení při konečném přiblížení, jak se s tím vypořádala, jestli museli měnit frekvenci, měnit navigační zařízení a podobné záležitosti.

Poslední část se týká zpětné vazby na dotazník. Respondent je tázán na míru jistoty se kterou si vzpomněl na všechny bezpečnosti se týkající události během letu, ale také jestli některé otázky byly zavádějící, matoucí nebo složité na pochopení. Poslední otázka je otevřená a týká se dalších podnětů a nápadů pro zlepšení výzkumu [9].

Dotazník není krátký, a tak je samozřejmé, že typy otázek a odpovědí se v jeho průběhu liší. Většina z nich jsou však uzavřené. Nachází se tam mnoho otázek s odpověďmi Ano, Ne, Nevím, Nechci odpovědět. Zřídka ale také otázky s možnostmi odpovědí Pozitivní/Negativní a další. Pokud se podíváme na otevřené otázky, tak jsou otevřené pouze do jisté míry. V případě tázání na počet nalétaných hodin. Každý napíše jinou hodnotu, ale je jisté, že se nebude dále rozepisovat a vyhodnocení této otázky komplikovat.

Dále se v dotazníku nachází otázky, na které se odpovídá v procentech. „Kolik procent letů bylo bez pasažérů“, „Kolik procent letů bylo zcela prázdných?“, „Kolik procent letů bylo na daném typu letounu?“ a podobně.

General aviation dotazník na rozdíl od předchozího je přibližně o 25 % kratší a zaměřuje se na piloty z všeobecného letectví. První část je podobná a tvoří se obrázek pilota. Piloti odpovídají na otázky typu „Kolikrát jste přistával?“, „Kolik letů bylo delších než 50NM?“ a podobně. V další části jsou dotazováni na nechtěné změny polohy vyvážení, klapek, nebo selhání vysouvání podvozku či klapek. Většina otázek se na rozdíl od předešlého dotazníku týká počtu, respondent odpovídá číslem [10].

Výhodou těchto šetření je, že jsou velmi rozsáhlá. Získá se velké množství dat. Nevýhodou je, že jsou náročná na čas. Otázky na množství nalétaných hodin v posledních 60ti dnech nejsou úplně snadné a mohou po pilotovi žádat, aby odpovědi dohledával. Zároveň se po pilotovi žádá, aby sám vyhodnotil, které situace už zasahovali do bezpečnosti letu a které nikoliv. Tuto laťku může mít každý posunutou kousek jinam. Znáám to z vlastní zkušenosti z výcviku na letadlech GA. Oba dva dotazníky jsou navíc retrospektivní, tudíž se pohled na vzniklou situaci na palubě může s odstupem času měnit.



Ve Spojených státech se v roce 2008 provádělo také šetření pilotů provozujících záchrannou službu (Emergency medical services). Předmětem bylo zkoumání únavy na pilotovi pracujícím 24 hodin denně. Průzkumu se účastnilo 697, převážně vrtníkových, pilotů. Dotazník obsahoval celkem 34 otázek a byl vyplňován online. Většina otázek je uzavřených, ale možnosti odpovědí se podstatně liší. Nabízí se odpovědi Ano/Ne, stupnice nikdy-často, ale také se dotazuje na množství po sobě jdoucích dní v práci. Piloti jsou dotazováni, jestli mají i jiné zaměstnání, případně kolik hodin měsíčně v něm stráví. Poté už je zaměření zejména na únavu. Zjišťuje se, jakým způsobem únava ovlivnila jejich výkon, jak často je postihne únava, jestli odmítli letět kvůli únavě nebo zda nějaký let v minulosti měli odmítnout kvůli únavě. V další části se dotazník zaměřuje na množství času stráveném v práci. Denní/Noční směny, kde tráví volno, případně kolik hodin denně spí. Poslední otázka se vztahuje k podání zpětné vazby nebo přidání komentáře k šetření.

Celé šetření probíhalo retrospektivně a zjistilo se, že 84 % pilotů bylo ovlivněno únavou během letu [11].

1.1.2 Austrálie

V roce 2009 se v Austrálii provádělo dotazníkové šetření na téma General Aviation Aerodrome Procedures (GAAP). Cílem bylo zjistit individuální zkušenosti z letectví a z provádění letů. Odpovědi byly uzavřené z důvodu nenáročnosti jak časové, tak tvořivé (respondent nemusí vymýšlet vlastní odpovědi). Dotazník se mohl odevzdávat buď elektronicky nebo osobně, což znamená, že se mířilo na nejširší spektrum pilotů, aby výsledek měření byl co nejkomplexnější.

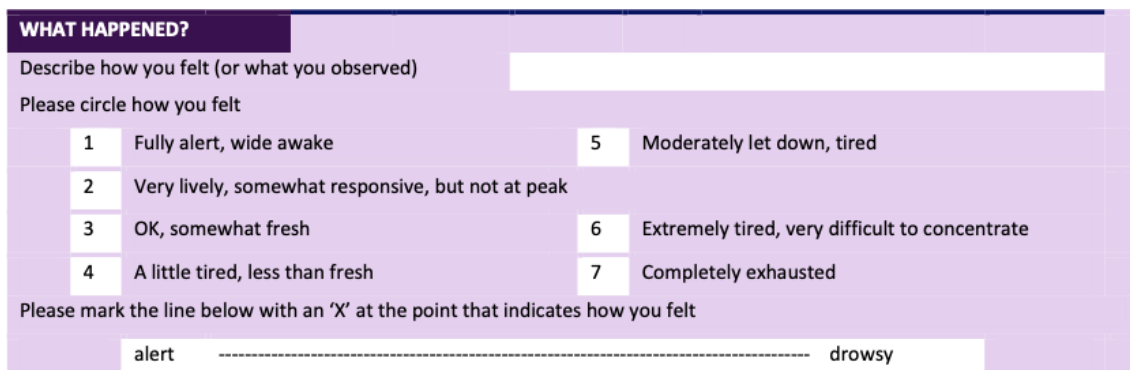
Otázky jsou rozděleny do tří kategorií. V první se opět tvoří přehled o pilotovi. Dotazuje se na jeho zkušenosti, kde létá, jak dlouho létá, kolik hodin nalétá ročně, na jakém typu letadla létá, jaké má licence a podobně. V druhé části se zjišťují informace ohledně organizace, pro kterou létá. Jaké typy služeb nabízí, jaká letadla má k dispozici, kde má bázi. V poslední části, nejdelší, se dostává k jádru věci a začíná se zkoumat, jestli dotazovaný má zkušenost s incidenty. Používají se už i otevřené odpovědi. V případě zkušenosti s incidentem se žádá událost více rozepsat a přidat podrobnosti. Zjišťuje se názor na bezpečnost letišť, kde pilot létá. Jestli je bezpečně vyřešené pojištění, jestli je přehledně vyřešeno značení nebo jestli řídicí letového provozu pracují dobře [12].

1.1.3 Evropa

V Evropě se šetření zaměřené přímo na únavu pilotů provádělo v letech 2010 - 2012. Piloti byli dotazováni v Rakousku, Dánsku, Spojeném království, Norsku, Švédsku, Nizozemsku, Německu, Francii. Postupně se šetření zúčastnilo 6000 pilotů. Z výsledku se zjistilo, že únava posádky je podceňovaná, nebezpečná, ale běžná záležitost. Čtyři z pěti pilotů se setkávají s únavou v kokpitu a téměř polovina pilotů již v kokpitu usnula nebo upadla do mikrospánku. Jedna třetina pilotů ve Spojeném království při probuzení zjistila, že jejich kolega spí také [13]. I z toho důvodu je naše měření více než aktuální.

1.2 ICAO

Organizace ICAO v roce 2015 vydala publikaci Fatigue Risk Management Guide. Je to průvodce pro letecké provozovatele v rámci, kterého jsou i dotazníky, které se vyplňují na přání pilota. Na rozdíl od dotazníků, kde je přímo tázána cílová skupina, tak tento formulář vyplní pilot na své vlastní přání, pokud cítil únavu během letu. Sbírají se data ohledně letu (datum, místo odletu, destinace, počet lidí v posádce, typ letadla) díky kterým se tvoří přehled o celkové situaci. V další části už se zjišťuje, co přesně se to stalo a jak se dotyčný cítil. Může to popsat otevřenou odpovědí, poté zaškrtnout na stupnici a zároveň vybrat jednu ze sedmi možných odpovědí (viz obr. 1).



WHAT HAPPENED?

Describe how you felt (or what you observed)

Please circle how you felt

1	Fully alert, wide awake	5	Moderately let down, tired
2	Very lively, somewhat responsive, but not at peak		
3	OK, somewhat fresh	6	Extremely tired, very difficult to concentrate
4	A little tired, less than fresh	7	Completely exhausted

Please mark the line below with an 'X' at the point that indicates how you felt

alert ----- drowsy

Obrázek 1: Ukázka FRMS a kombinace otevřených odpovědí s uzavřenými zdroj: <https://www.icao.int/safety>

Dále se zkoumá důvod, proč došlo k únavě. Pilot uvádí, kolik hodin spal za poslední den, za poslední tři dny, jestli spal během letu, jestli byl před letem rozrušený. Tyto odpovědi nijak dále rozvést nelze a odpověď je pouze Ano/Ne. Rozepsat se může na otázku „Jakým způsobem jste se s únavou vypořádal?“ a poté přidat doporučení,

jakým způsobem tomuto stavu předcházet a co by se mohlo změnit.

Tento dotazník je zpětnou vazbou pro aerolinku, aby mohla vyjít vstříc svým posádkám s plánováním letů. Vzájemná spolupráce je důležitou součástí pro bezpečnost provozu a předcházení únavě či nechtěnému spánku na palubě [4].

1.3 Dotazníkové šetření únavy v dalších odvětvích

Téma únavy se neřeší pouze v letectví, ale i v jiných odvětvích. Jedním z nich je například zdravotnictví. Odvětví, ve kterém únava jedince může ovlivnit zdravotní stav cizích lidí, a proto je důležité hlídat únavu jednotlivých lékařů nebo zdravotních sester.

V letech 2008-2009 se ve Spojených státech provádělo šetření únavy zdravotních sester. Výzkum probíhal online, ale respondenti byli předem řádně vybráni ve spolupráci s profesionálními organizacemi zastřešujícími zdravotní sestry. Dotazníkového šetření se účastnilo 745 zdravotních sester. Cílem bylo zjistit vztah mezi únavou a výkonem personálu, protože na výkonu zdravotních sester může záviset zdravotní stav pacientů. Na měření únavy se tvůrci inspirovali čtyřmi různými stupnicemi. Každá ze stupnic se hodila na zkoumání různých aspektů únavy. Swedish Occupational Fatigue Inventory (SOFI) používá sedmistupňovou škálu a má únavu spojenou se čtyřmi aspekty. Nedostatek energie, fyzický diskomfort, nedostatek motivace a fyzická námaha. Každý z těchto aspektů byl použit k měření různých druhů únavy. Nedostatkem energie byla zjišťována celková únava, fyzickou námahou fyzická únava a nedostatkem motivace psychická únava. Další inspirací byl dotazník Fatigue-Related Symptoms Questionnaire (F-RSQ), který zkoumá fyzickou a psychickou únavu na základě Ano/Ne odpovědí. Celkový výsledek je vyjádřen v procentech. Pro měření celkové únavy byla použita pětistupňová škála Fatigue Scale (FAS) a chronická a akutní únava byla zkoumána pomocí Occupational Fatigue Exhaustion Recovery (OFER). Pro změření pracovního výkonu sester byl vyvinut Nurse Performance Instrument (NPI), který obsahuje devět položek ohodnocovaných na stupnici 1 až 6. Všechna měření byla testována na normalitu. Párovými t-testy se zkoumaly rozdíly mezi fyzickou, psychickou a celkovou únavou zjištěnou z dotazníku SOFI, fyzickou a psychickou únavou z F-RSQ a chronickou a akutní únavou z OFER. Po vyhodnocení bylo zjištěno, že zdravotní sestry jsou více ovlivněny psychickou a akutní únavou než fyzickou a chronickou únavou. Tlak se zvětšuje s nedostatkem personálu a větším množstvím pacientů [14].

1.4 Nasa-Task Load Index

Nasa-Task Load Index (N-TLX) byl vytvořen za účelem zjišťování zátěže přímo při vykonávání práce nebo bezprostředně po jejím skončení. Měl by být přiměřeně jednoduchý na používání a zároveň přesný na vyhodnocení. Dotazník spoléhá na nedokonalost člověka. Měřený subjekt není schopný provést všechny úkony rychle, přesně a spolehlivě. Pokud je, tak se to projeví na stresu, případně únavě. Z toho důvodu se N-TLX skládá z 6 kategorií, ve kterých by se pracovní zátěž měla projevit. Tyto kategorie jsou Mental Demand (Psychické vypětí), Physical Demand (Fyzická náročnost), Temporal Demand (Časová tíseň), Performance (Kvalita výkonu), Effort (Náročnost úkolu) a Frustration (Stres). Kategorie byly vybrány na základě analýz a testů. Testovali se od jednoduchých úkonů v laboratoři, až po náročné, například pilotování letadla. V rámci N-TLX byl vytvořen systém pro váhové ohodnocení jednotlivých kategorií. Na začátku vyplňování respondent odpoví na otázky, ve kterých je vždy na výběr jedna ze dvou kategorií. Zvolí tu, o které je přesvědčen, že jeho výkon ovlivnila více [15]. Matematicky jsou to kombinace bez opakování. V první rovnici hodnota n představuje počet prvků a hodnota k znamená po kolika jsou jednotlivé prvky sdružovány. Celkem tedy subjekt odpoví na 15 otázek, protože se tvoří dvojice bez opakování z šesti kategorií.

$$C_k(n) = \binom{n}{k} \quad (1)$$

$$C_2(6) = \binom{6}{2} = 15 \quad (2)$$

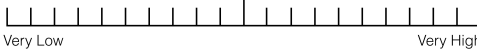
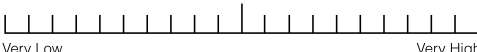

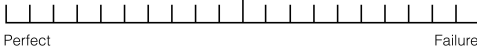

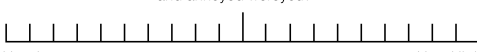
Tímto vznikne individuální váhové hodnocení pro každého účastníka.

Samotné vyplňování dotazníku je poměrně rychlé. Nachází se v něm 6 stupnic, jedna u každé kategorie, na kterých je možnost zvolit hodnoty 1 až 20 (viz obr. 2).

Figure 8.6

NASA Task Load Index

Hart and Staveland's NASA Task Load Index (TLX) method assesses work load on five 7-point scales. Increments of high, medium and low estimates for each point result in 21 gradations on the scales.

Name	Task	Date
Mental Demand	How mentally demanding was the task?	
		
Physical Demand	How physically demanding was the task?	
		
Temporal Demand	How hurried or rushed was the pace of the task?	
		
Performance	How successful were you in accomplishing what you were asked to do?	
		
Effort	How hard did you have to work to accomplish your level of performance?	
		
Frustration	How insecure, discouraged, irritated, stressed, and annoyed were you?	
		

Obrázek 2: Nasa-Task Load Index zdroj: <https://ntrs.nasa.gov>

Vyhodnocení probíhá stejným způsobem jako počítání váženého průměru. Vynásobí se hodnoty získané z N-TLX s jejich váhou. Celkový součet těchto hodnot se poté vydělí 15 (součet všech váhových hodnot). Hodnota x_i představuje odpověď zaškrtnutou na stupnici u dané otázky a hodnota p_i je váha přiřazená kategorii spojené s konkrétní otázkou.

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad (3)$$

V dnešní době se tento dotazník využívá celosvětově. Byl přeložen do několika dalších jazyků včetně korejštiny, španělštiny, čínštiny a norštiny. Existují dvě verze Nasa Task Load Indexu. První je papírová, původní, ale zároveň už je k dispozici i elektronická verze přímo od NASA. Mobilní aplikace sama provede respondenta dotazníkem, vysvětlí jednotlivé otázky a poté celé vyhodnotí. Výsledkem je tabulka, ve které je možné vidět váhové hodnocení jednotlivých kategorií, odpovědi k jednotlivým

kategoriím a celkový výsledek. Původním cílem N-TLX bylo letectví. Ovšem s rostoucí popularitou rostl i počet odvětví, ve kterých se používá. Začal se používat v automobilovém i lékařském odvětví. Studie se zaměřují jak na uživatele počítačů, tak mobilních telefonů. V některých případech je dotazník pozměněn, aby přesně vyhovoval konkrétnímu šetření. Změny se mohou projevit v ubírání nebo přidávání kategorií. Existuje i tzv. RTLX (Raw Task Load Index). V RTLX se vymazala úvodní část tvoření váhového hodnocení a váha se buď přidá na konci nebo se s ní nepočítá vůbec [15].

Výhodou N-TLX je rychlost a jednoduchost. Dá se vyplňovat přímo při výkonu nebo ihned po skončení, což podporuje aktuálnost odpovědí. Subjektu se pocity nezmění jako v případě retrospektivních šetření. Další výhodou je jeho celosvětové rozšíření a množství studií, ve kterých je použitý. Nevýhody se mohou projevit v poměrně malém počtu otázek. Součástí dotazníku nejsou otázky týkající se například zkušeností, a proto musí být měřené subjekty předem známé, aby se neporovnávaly kompletně odlišné osoby.

1.4.1 Dotazníková šetření s použitím NASA-Task Load Index

Ačkoliv existuje mnoho různých dotazníkových metod, ta nejpoužívanější na měření pracovní zátěže je N-TLX. Je to právě díky své nenáročnosti na zkoumaný subjekt a také díky tomu, že je ověřený a přesný.

Ve Spojených státech amerických probíhala studie zdravotních sester pracujících na jednotce intenzivní péče (JIP). Právě tento vzorek byl vybrán na základě hledání množství studií, které obsahují různé výrazy. Například ve vyhledávači PubMed se výraz „workload“ nachází až ve 20 000 studiích, výrazy „workload“ a „nurse“ ve 4 247 studiích a výrazy „workload“, „nurse“ a „intensive care“ nebo „critical care“ pouze ve 489 studiích. Tento jednoduchý průzkum ukázal, že přetížení zdravotních sester se společnost věnuje. Sestrám, které pracují na JIP už tolik pozornosti věnováno není, ačkoliv jejich pracovní nasazení může být vyšší, práce více psychicky i fyzicky náročná a důsledky pochybení fatálnější.

Tento výzkum probíhal ve dvou etapách. První byla v roce 2004. Účastnilo se ho 300 sester ze sedmi nemocnic. Zkoumalo se pracovní vytížení, kvalita života a kvalita a bezpečnost vykonané práce.

Druhá etapa probíhala v letech 2007-2008. Celkem se jí účastnilo 457 zdravotních sester.

Celkem se průzkumu účastnilo 757 zdravotních sester z 8 různých nemocnic. Měřícím

nástrojem byl dotazník N-TLX včetně váhového hodnocení. Data byla analyzována pomocí statistických nástrojů. Průměrné hodnocení psychického vytížení bylo 82,6 ze 100. Fyzické vytížení 69,1 ze 100, časová tíseň 70,2 ze 100, náročnost úkolu 76,3 ze 100, projevené úsilí 78,4 ze 100 a stres 51,4 ze 100. Celkové průměrné hodnocení bylo 71,4 ze 100.

Dotazník N-TLX byl shledán spolehlivým nástrojem a zároveň snadným pro vyhodnocování. Umožňuje tvůrci průzkumu měřit různé typy pracovního zatížení, ale i celkovou zátěž. Právě díky N-TLX byl tento výzkum doporučen jako benchmark pro budoucí zkoumání pracovního vytížení sester pracujících na jednotce intenzivní péče [16].

V letech 2013 a 2014 byl na univerzitě v Ankaře prováděn výzkum studentů na porovnání motivace s pracovní (studijní) zátěží. Pracovní zátěž se zkoumala pomocí N-TLX a motivace byla měřena pomocí Academic Motivation Scale vytvořené pro tyto účely. Důvodem tohoto výzkumu bylo propojení motivace s výkonem. S klesající nebo špatnou motivací by měla klesat i kvalita výkonu. Šetření se účastnilo 105 studentů v 5. a 6. fázi studia. Většina studentů byly dívky.

Z výsledků se zjistilo, že psychické vytížení je největší u studentů v 5. fázi a fyzické vytížení naopak u studentů v 6. fázi. Důvodem těchto výsledků je, že starší studenti se zaměřují již na vztah doktor-pacient a absolvují více času v praxi, kdežto mladší studenti mají více hodin teorie. Zároveň studenti, kteří byli málo motivovaní se sami cítili neúspěšní.

Tato práce poukazuje na fakt, že N-TLX byl původně tvořen pro piloty a později i pro lékařské odvětví, ale studenti medicíny na rozdíl od pilotů nepodstupují tyto testy pravidelně. Z důvodu velké stresové zátěže studentů chtějí poukázat na častější provádění takových výzkumů a poté zlepšení osnov pro výuku studentů medicíny [17].

1.5 Základy tvorby dotazníku

Při tvorbě dotazníku je důležité dodržovat některá pravidla, aby daný dotazník splnil svůj účel. Jednoduchost, snadné pochopení a stručnost jsou základem pro kvalitní průzkum.

Z pohledu respondenta musí být otázka jednoznačná. Je důležité, aby pochopil, na co je přesně tážán. Otázky typu „Jak se cítíte?“ mohou vyvolat zmatení, jelikož dotazovanému nemusí být jasné, na které konkrétní pocity se dotaz vztahuje. Cestou k co nejrelevantnější odpovědi může být například objasnění záměru dané otázky.

Otázky se záporem by neměly být použity, protože poté zvyšují nárok na respondentovo zamýšlení, jaká odpověď je očekávána. Otázka typu „Nevyhovuje vám vstávat brzy ráno?“ je nevhodná jak pro tvůrce dotazníku, tak pro dotazovaného, protože odpověď „Ne“ může být u každého jedince pochopena odlišně. Používání odborných výrazů bývá na škodu, jelikož výrazy mohou být pochopeny chybně a následné odpovědi se stanou zavádějícími. V případě uchýlení se k odborné terminologii je dobré ji vysvětlit a uvést na pravou míru. Stejně tak použité zkratky musí být vysvětleny a rozepsány. Otázka by měla být položena co nejsnazším způsobem, aby bylo zajištěno, že ji všichni respondenti chápou správně a stejně. Před samotným sestavením otázek je dobré se zamyslet, jaký je vlastní záměr dotazníku. Bývá na škodu dotazovaného příliš zatěžovat, jelikož se může stát, že respondent ztratí koncentraci a dotazník nedokončí, či si odpovědi vymyslí, aby se danou věcí nemusel dále zabývat. Je žádoucí klást takové otázky, které jsou vyhodnotitelné a budou mít vypovídající hodnotu [18].

Otázky by měly na sebe přirozeně navazovat. Podobná témata by měla být za sebou a postupně někam směřovat. Při psaní otázek je na výběr mezi uzavřenými a otevřenými odpověďmi. Mezi uzavřenými odpověďmi může být stupnice od 1 do 10, případně může mít respondent na výběr z několika možností. U tohoto typu odpovědi je důležité se snažit vyjít vstříc, co největšímu počtu lidí, aby každý byl schopen si vybrat jednu možnost, se kterou se ztotožňuje. Výhodou tohoto typu dotazníku je jednoduchost při zpracování. Výsledkem jsou stejné odpovědi a je na tvůrce dotazníku, jakou váhu, které přidělí. V otevřených otázkách jsou výsledkem více individuální odpovědi. Jejich výhodou je větší přesnost, protože dotazovaný nemá na výběr pouze z omezeného množství odpovědí, ale může napsat svůj vlastní pohled na věc. Nevýhodou otevřených dotazníků je časová náročnost. Jak z hlediska vyplňování, tak z hlediska zpracování. Vymýšlení vlastního názoru nemusí vyhovovat každému, a tudíž ho to může od dokončení odpovědi odradit. Vyhodnocení takových odpovědí se nedá aplikovat na široké spektrum lidí, protože každá odpověď bude jiná a vytvořit hodnocení, které zahrne všechny odpovědi je téměř nemožné [19].

Při vyhodnocování dotazníku musí mít každá otázka svou váhu, případně všechny stejnou. Ohodnocení otázky může být připraveno předem, jednoduše tak, že se přiřadí váha každé otázce nebo se váhové ohodnocení otázek vytvoří s pomocí respondenta. Je možné se ho ptát, která otázka mu přijde nejdůležitější a která naopak zbytečná a následně z těchto výsledků stanovit váhové ohodnocení pro jednotlivé dotazy.

Pro výzkum se dá využít i standardizovaných dotazníků, které se již používají. Jejich výhodou je, že jsou vyzkoušeny a je ověřené, že styl, kterým jsou napsány je správný a dobře vyhodnotitelný. Můžeme také naším výzkumem přispět k již provedeným šetřením, a tudíž aplikovat výsledky měření na širší spektrum lidí. Nevýhodou může být neztotožnění se s přesným zněním dotazníku. Pro dané šetření nemusí být vhodné všechny otázky nebo naopak klíčové otázky pro danou problematiku mohou chybět.

1.6 Objektivní měření únavy

V letectví se únava zkoumá poměrně složitě, protože není možné na pilota připevnit nekonečné množství senzorů a přístrojů. Jeho výkon by to značně omezilo. Nejčastěji používané metody jsou monitorování EEG, EKG. Případně lze zkoumat četnost mrkání, rychlost dýchání apod. Po letu lze reakční dobu změřit pomocí Psychomotor Vigilance Task (PVT) nebo krátkodobou paměť pomocí ORO testu.

Elektroencefalograf (EEG) měří elektrickou aktivitu pocházející z mozku. Tato metoda je jedna z nejučinnějších, jak nenásilně pozorovat elektrofyziologické dění v mozku. Na člověku byla poprvé vyzkoušena v roce 1929 a dodnes je to nejučinnější metoda například pro odhalení epilepsie nebo poruchy spánku. Během měření má subjekt na hlavě helmu (čepici) na které jsou pravidelně rozmístěné diody. Ty získávají hodnoty o elektrické aktivitě mozku ve voltech. Kolísání elektrické aktivity je velmi malé, proto je nutné výstup měření zesílit, aby bylo možné jej dále zkoumat [20, 21, 22].

EEG zaznamenává frekvence a amplitudy vln. Základními vlnami jsou alfa, beta, delta, theta. Alfa zaznamenává frekvence 7–12 Hz a je nejsilnější tehdy, kdy se subjekt nachází v klidném bdělém stavu. Beta zaznamenává frekvence 12–30 Hz a převažuje tehdy, kdy se chystáme provést nebo již provádíme nějaký pohyb. Delta měří frekvence nižší než 4 Hz a čím silnější je tento signál o to v hlubším spánku se měřený subjekt nachází. Theta zaznamenává frekvence 4–7 Hz a začíná převažovat se vzrůstající se únavou. Se změnou pozornosti a bdělosti se mění také výstup z EEG, a právě proto je vhodné na měření únavy [20, 23, 22].

Výstupem z EEG je elektroencefalogram. Je možné zaznamenat například zvýšenou pozornost, která se projeví větší frekvencí vln [22].



V roce 2011 byla ve Spojených státech amerických zkoumána únava u automobilových řidičů. Náhodně bylo vybráno 48 subjektů (23 žen a 25 mužů), kteří byli posazeni do simulátoru automobilu a během jízdy jim bylo zaznamenáváno EEG a EOG. Řidiči měli za úkol se po dobu 120 minut držet uprostřed silnice a nesměli jet vyšší rychlostí než 60 km/h. Během jízdy se v rozích obrazovky objevovaly číselné hodnoty, na které měly subjekty reagovat čímž se měřila reakční doba [24].

Řidičům bylo na hlavu připevněno celkem 32 elektrod, které umožnily sledovat alfa, beta, delta a théta aktivitu. Měření se zaznamenávalo od doby, kdy subjekt seděl ve vzpřímené poloze a řídil vůz [24].

Při vyhodnocení byly zjištěny nepatrné rozdíly v EEG u mužů a žen, a proto bylo na všechny nahlíženo jako na jednu skupinu. Během studie bylo potvrzeno, že mozková aktivita se zásadně mění se zvyšující se únavou jedince. Největší změna spojená s únavou byla zaznamenána v pásmu 4-13 Hz, tedy théta a alfa vlny. Naopak téměř žádná změna se neprojevila u frekvencí menších než 4 Hz. Bylo potvrzeno, díky změnám u alfa a théta vln, že kognitivní funkce člověka se snižuje nepřímě úměrně s únavou. Beta vlny nebyly plně pochopeny a nezjistilo s jakou činností subjektu přímo souvisí. Nejvíce pravděpodobná je mentální činnost spojená se snahou zůstat v bdělém stavu, tedy boj proti spánku [24].

V letectví bylo prováděno měření EEG na pilotech vrtulníku UH-60. Cílem bylo zjistit, zda je možné spolehlivě monitorovat EEG posádky během letu a zjistit případnou únavu. Výzkumu se účastnilo celkem 10 subjektů s průměrným náletem 1 153 hodin. Piloti v den měření vstávali mezi šestou a sedmou hodinou ranní. Během dne nesměli spát a pít kofeinové nápoje. Testování začalo v 17:00. Během letu se létaly standardní zatáčky, klesavé a stoupavé zatáčky a ILS. Měřený subjekt absolvoval měření EEG s otevřenými i zavřenými očima a v této době pilotoval safety pilot. Jeden let trval přibližně 1,5 hodiny a během noci se celkem třikrát opakoval. Před každým letem proběhlo měření EEG v laboratoři, aby se následně mohly porovnat výsledky v laboratoři a ve vrtulníku [25].

Bylo zjištěno, že v théta pásmu se únava projevila jak v laboratoři, tak ve vrtulníku. Théta aktivita v průběhu noci rostla, což znamená, že únava se projevila. Piloti měli zpomalené reakce a jejich ostražitost se zhoršovala. V alfa pásmu se výsledky příliš neshodovaly. Jedním z možných vysvětlení je, že pilot v laboratorním prostředí má větší tendenci upadnout do spánku než když pilotuje. Měření EEG

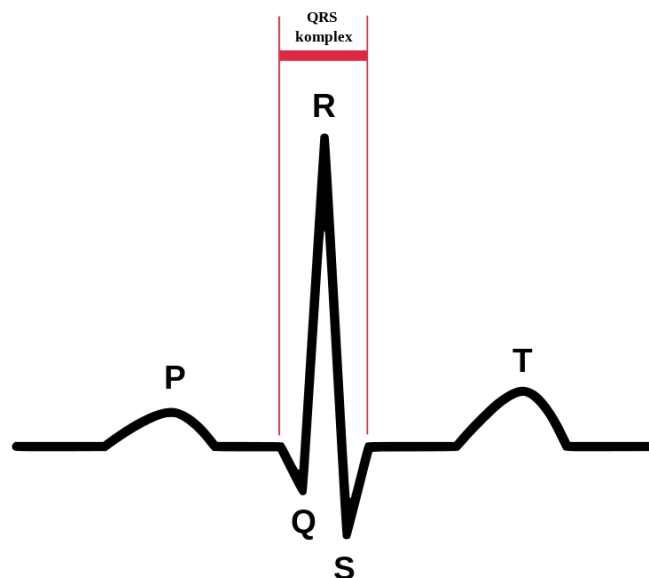
za letu tedy lze zjistit stav pilota aniž by byl ovlivněn jeho výkon, ale další měření a výzkumy jsou nutné pro ověření jestli fyziologické změny stavu pilota souvisí se změnou kvality jeho výkonu [25].

Z předchozích dvou studií lze soudit, že únavu jedince je možné pomocí EEG zjistit primárně z pásem alfa a théta, tedy zjištění stavu bdělosti a kognitivních funkcí.

Elektrokardiograf (EKG) je na rozdíl od EEG starší a měří elektrickou aktivitu srdce, která je pro činnost srdce nezbytná. I proto je elektrokardiografie jednou ze základních vyšetřovacích metod, díky které lze posuzovat srdeční aktivitu a případně diagnostikovat řadu srdečních chorob. Samotné snímání je umožněno přístrojem zvaným elektrokardiograf a výsledek záznamu je elektrokardiogram nebo křivka EKG.

Tato metoda je neinvazivní a funguje na základě elektrod připevněných na těle měřeného subjektu. Změna akčního potenciálu mezi jednotlivými elektrodami se nazývá svod. Svody jsou dvojího typu – hrudní a končetinové [22].

Na elektrokardiogramu lze rozpoznat různé vlny a kmity. Od počáteční vlny P, která značí depolarizaci síní až po vlnu T, která je obrazem repolarizace komor. Komplex QRS jsou jednotlivé kmity, které značí depolarizaci komor (viz obr. 3).



Obrázek 3: EKG křivka s QRS komplexem

Z výstupu EKG je hodnocena srdeční akce, která by u zdravého člověka měla být pravidelná. V případě nepravidelnosti se jedná o arytmiu srdce. Dále se hodnotí srdeční frekvence, ze které lze zjistit tachykardii, tedy zvýšenou tepovou frekvenci pro danou činnost nebo naopak bradykardii, tedy sníženou tepovou frekvenci pro danou činnost [22].

Způsob vyhodnocení EKG křivky může být například pomocí lineární analýzy a sledování RR intervalu. Tedy časového intervalu mezi dvěma R-R kmity. Tato doba se měří v milisekundách a značí srdeční rytmus. Normální průměrný čas mezi kmity je od 600 ms do 1000 ms, což znamená 100 resp. 60 úderů srdce za minutu. V případě že doba kmitu se od dlouhodobého průměru neliší o více než 160 ms, hovoříme o pravidelném rytmu. Pokud tomu tak není, tak jde o rytmus nepravidelný.

Z RR intervalu lze zjistit hodnoty RMSSD, SDNN, případně SDANN, které pomáhají k vyhodnocení srdeční variability. RMSSD se získá změřením dob mezi dvěma R-R kmity. Tyto hodnoty se umocní dvěma a poté zprůměrují. Získaná hodnota se odmocní a výsledkem je předpokládaná krátkodobá srdeční variabilita [26, 27].

$$RMSSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n RR^2}{n}} \quad (4)$$

Hodnota SDNN, tedy standardní odchylka dob RR intervalů. Opět se měří v milisekundách a předpovídá pravděpodobnost srdeční příhody. Ideálně by se toto měření mělo provádět po dobu 24 hodin, aby zajistilo důvěryhodné výsledky. Pacienti s odchylkou menší než 50 ms jsou posouzeni jako nemocní, 50 - 100 ms jako víceméně zdraví a nad 100 ms jsou zdraví [26, 27].

SDANN se od SDNN liší pouze tím, že 24 hodinové měření se rozdělilo do pětiminutových bloků. Poté teprve změří standardní odchylku. Tato metoda umožňuje předpovídat dlouhodobou srdeční variabilitu a také umožňuje porovnávat výsledky v průběhu času [26, 27].

Z frekvence RR intervalu lze vyčíst aktivitu sympatiku nebo parasympatiku pomocí spektrální analýzy. Při aktivním sympatiku se lidské tělo připravuje na boj, je ve stresu. Netvoří se sliny, zostřeje se zrak, zvyšuje se tepová frekvence. Také se mu přezdívá "fight or flight". Pokud je aktivní parasympatikus, je tělo v klidu. Opět se začnou tvořit sliny, sníží se tepová frekvence. Pokud je frekvence RR intervalu vysoká (více než 0,15 Hz), jedná se o parasympatikus. V případě, že frekvence je mezi 0,04 Hz a 0,15 Hz převažuje sympatikus [28].

Psychomotor vigilance task (PVT), test bdělosti, byl vyvinut v roce 1985 pro měření pozornosti. Od té doby mnoho studií prokázalo jeho úzkou spojitost s únavou a díky tomu je využíván pro pozorování únavy a cirkadiálního rytmu [29].

Tento test funguje na bázi měření reakční doby subjektu. Je to velmi jednoduché. Subjekt pozoruje obrazovku a v případě zobrazení konkrétního obrazce stiskne tlačítko. Program zaznamená dobu od zobrazení obrazce po stisknutí tlačítka a uloží ji. Obrazce se na displeji objevují v nepravidelných intervalech a s postupující únavou a nedostatkem spánku se reakční doba prodlužuje. Největší rozdíl je u největších reakčních časů, tedy kdy subjektu trvalo nejdéle stisknout tlačítko. Naopak reakční doba nejrychlejšího stisknutí se příliš neliší u unaveného a odpočínutého subjektu [29].

Existují i pokročilejší testy pozornosti, kdy měřený subjekt má na výběr více tlačítek a volí je podle toho, který obrazec se zrovna objevil na displeji. Neměří se pouze reakční doba, ale také správnost zvoleného tlačítka.

2 Metodologie

Pro účely této bakalářské práce byl vytvořen dotazník se šesti otázkami, které jsou zkonstruovány takovým způsobem, aby bylo možné je hodnotit také objektivně. Objektívni data budou měřena během letu na simulátoru. Právě díky datům nasbíraným ze subjektivně vyplněných dotazníků a objektivní metodou během letu budeme schopni porovnat, jak moc se liší subjektivní a objektivní hodnocení únavy.

2.1 Dotazník pro subjektivní hodnocení únavy

Při tvorbě dotazníku pro tuto bakalářskou práci bylo využito výhod N-TLX. 6 témat bylo převzato a přeloženo do českého jazyka. Dále jsou poupravena, aby vyhovovala tomuto konkrétnímu výzkumu. Jsou jimi psychické vypětí (mental demand), fyzická náročnost (physical demand), časová tíseň (temporal demand), kvalita výkonu (performance), náročnost úkolu (effort), stres (frustration). Ke každému z témat se váže jedna otázka, na kterou měřený subjekt odpoví a která může být změřena objektivní metodou. Na otázky se odpovídá na stupnici od nuly do dvaceti.

Před samotným odpovídáním na konkrétní otázky vytvoří subjekt vlastní váhovou stupnici pro jednotlivá témata. Postupně vybere jedno téma ze dvou možných v patnácti různých kombinacích (viz obr. 4). Tvoří se dvojice bez opakování z šesti různých témat, tedy kombinace bez opakování. Stejně to probíhá u běžného N-TLX. V první rovnici hodnota n představuje počet prvků a hodnota k znamená po kolika jsou jednotlivé prvky sdružovány. Celkem tedy subjekt odpoví na 15 otázek, protože se tvoří dvojice bez opakování z šesti kategorií.

$$C_k(n) = \binom{n}{k} \quad (5)$$

$$C_2(6) = \binom{6}{2} = 15 \quad (6)$$

Co ovlivnilo váš výkon více? (Nehodící se škrtněte)

Časová tíseň	Náročnost úkolu
Náročnost úkolu	Fyzická náročnost
Psychické vypětí	Časová tíseň
Kvalita výkonu	Náročnost úkolu
Časová tíseň	Stres
Náročnost úkolu	Psychické vypětí
Stres	Náročnost úkolu
Fyzická náročnost	Časová tíseň
Kvalita výkonu	Fyzická náročnost
Psychické vypětí	Kvalita výkonu
Stres	Psychické vypětí
Časová tíseň	Kvalita výkonu
Fyzická náročnost	Psychické vypětí
Fyzická náročnost	Stres
Stres	Kvalita výkonu

Obrázek 4: Tvorba váhového hodnocení

Váhová stupnice se tvoří při každém vyplňování dotazníku a princip její tvorby je stejný jako u N-TLX. Po jejím určení se subjekt přesouvá k jednotlivým otázkám.

První otázka se váže k psychickému vypětí subjektu. Konkrétně se týká pozornosti, náročnosti na přemýšlení při řešení různých neobvyklých situací. Objektivně je možné ji změřit pomocí EEG. Subjekt má vždy po celou dobu letu na hlavě přístroj pro monitorování EEG a je zaznamenáván po dobu všech letů.

1. Dařilo se Vám držet pozornost po celý let?

Vůbec												Velmi											

Obrázek 5: Otázka k prvnímu tématu „Psychické vypětí“

Druhá otázka se týká fyzické náročnosti. Kolik sil bylo třeba pro pilotování (ve fázi vzletu, přistání), kolik sil ještě dotazovaný má. Přesné měření může být provedeno dynamometrem jamar, který změří svalovou sílu. Toto měření se provádí po provedeném letu.

2. Cítíte se fyzicky zesláblý?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Vůbec Velmi

Obrázek 6: Otázka k druhému tématu „Fyzická náročnost“

Třetí otázka je propojená s časovou tísní. Zjišťuje se, kolik času měl pilot na vykonání úkonu. Jestli stíhal včas konfigurovat letadlo, odpovídat řídicímu. Řídicí letového provozu během letu zaznamenává nesprávné potvrzení povolení. Simulátor zaznamenává přesný čas vysouvání podvozku a konfigurování letadla, což je možné propojit s pozicí letadla a zjistit dobu konfigurace v závislosti na pozici letadla vůči FAF.

3. Cítil jste časovou tíseň?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Žádnou Velikou

Obrázek 7: Otázka k třetímu tématu „Časová tíseň“

Čtvrtá otázka se týká spokojenosti pilota se svým výkonem (kvalita výkonu). Hodnotí, jak si myslí, že byl úspěšný v plnění úkonů zadaných od řídicího. Dále přesnost letu a finální přiblížení. Celkový let je zaznamenán simulátorem, včetně přesnosti přiblížení, které může být použito při vyhodnocování této otázky.

4. Dařilo se Vám plnit pokyny řídicího?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Vůbec Bez problému

Obrázek 8: Otázka k čtvrtému tématu „Kvalita výkonu“

Pátá otázka se dotazuje na náročnost techniky pilotáže (náročnost úkolu). Všechny lety by měly být stejně technicky náročné. Předpokladem k této otázce je postupně se zvětšující únava, která může navozovat pocit větší obtížnosti jednoduchých úkonů.

5. Byl let náročný na techniku pilotáže?

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

VůbecVelmi

Obrázek 9: Otázka k pátému tématu „Náročnost úkolu“

Šestá otázka se zaměřuje na stres, který působí v průběhu letu. Pro vyhodnocení této otázky je možné využít měření EKG, které je zaznamenáváno po celou dobu všech letů. Zajímá se, jestli byl pilot podrážděný, frustrovaný nebo naprosto v klidu.

6. Byl jste během letu ve stresu?

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

VůbecVelmi

Obrázek 10: Otázka k šestému tématu „Stres“

Dotazník se vyplňuje vždy po každém letu a jeho vyhodnocení probíhá pomocí váhového průměru. Hodnota odpovědi v konkrétní otázce je vynásobena její vahou. Všechny získané hodnoty se sečtou a celková hodnota je dělena 15 (součet všech vah). Hodnota x_i představuje odpověď zaškrtnutou na stupnici u dané otázky a hodnota p_i je váha přiřazená kategorii spojené s konkrétní otázkou.

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad (7)$$

Tímto postupem se získá pracovní vytížení na stupnici 0-20, pro převedení na stupnici 0–100 je potřeba pracovní vytížení vynásobit 5, čímž se získá i pracovní zátěž v procentech. Dále jsou samostatné otázky vyhodnocovány i jednotlivě, aby se s nimi dalo dále pracovat a bylo možné je porovnat s jednotlivými údaji naměřenými objektivně.

2.2 Let na simulátoru

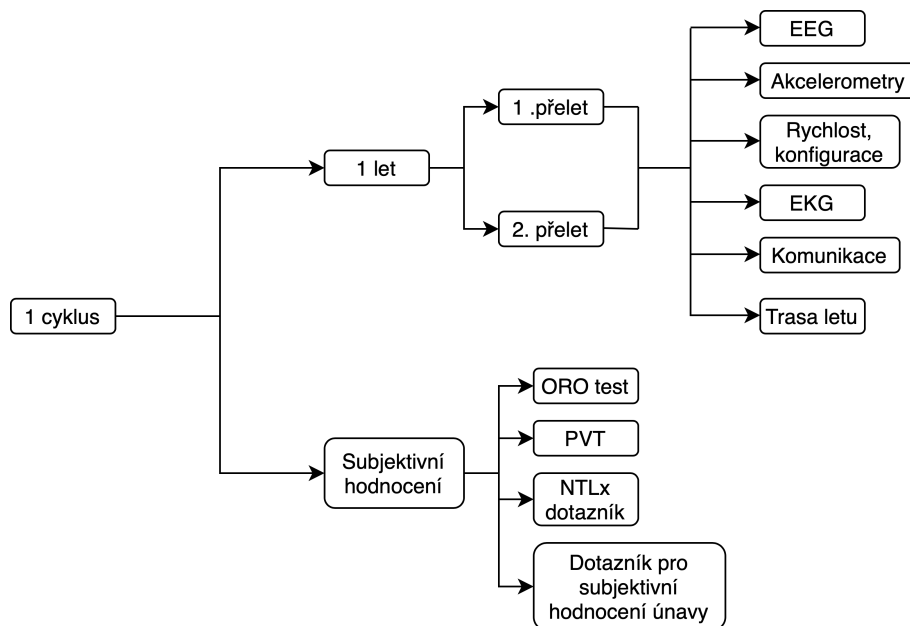
Praktická část tohoto výzkumu byla prováděna na simulátoru Ústavu pro leteckou dopravu na fakultě dopravní ČVUT.

Účastníky výzkumu byli především studenti oboru Profesionální pilot, kteří momentálně podstupovali výcvik IFR na simulátoru. Všichni byli tedy na podobné úrovni, co se týče dovedností i věku.

Jedno měření trvalo přibližně 24 hodin a účastnily se ho vždy dva měřené subjekty. Subjekt vstával v 8:00 ráno a v 18:00 začínal první let. Let se skládal ze dvou přeletů, které celkem zabraly 1 hodinu. Součástí každého přeletu byl vzlet, let po trati a jedno ILS přiblížení v destinaci. Během letu byl ukládán záznam z EEG, EKG, akcelerometrů, které byly připevněny na těle pilota (schéma měření viz obr. 11). Celý let byl ukládán přímo na instruktorské stanici. Trasa letu, rychlost, konfigurace, přesnost přiblížení. Řídící letového provozu zaznamenával nepřesnosti v komunikaci. Nepřesně zopakované povolení, přistání bez povolení apod.

Po druhém přistání šel pilot vyplňovat dotazník pro subjektivní měření únavy, ORO test, NTLx dotazník, PVT a létat šel druhý subjekt. Vyplnění všech dotazníků a testů trvalo přibližně 30 minut. To znamená, že následovalo 30 minut volna. Tento cyklus se opakoval 8krát během jednoho měření. Celkem jedno měření zabralo přibližně 24 hodin, včetně případných zpoždění, delšího trvání letu apod.

Subjekt nesměl během celého měření usnout. Na konci 8. letu byl tedy 36 hodin bez spánku. Během této doby nesměl požívat žádné energetické nebo kofeinové nápoje. Měl zakázán nadměrný příjem cukrů (čokolády, energetických tyčinek). Zakázány byly také drogy a alkoholické nápoje.

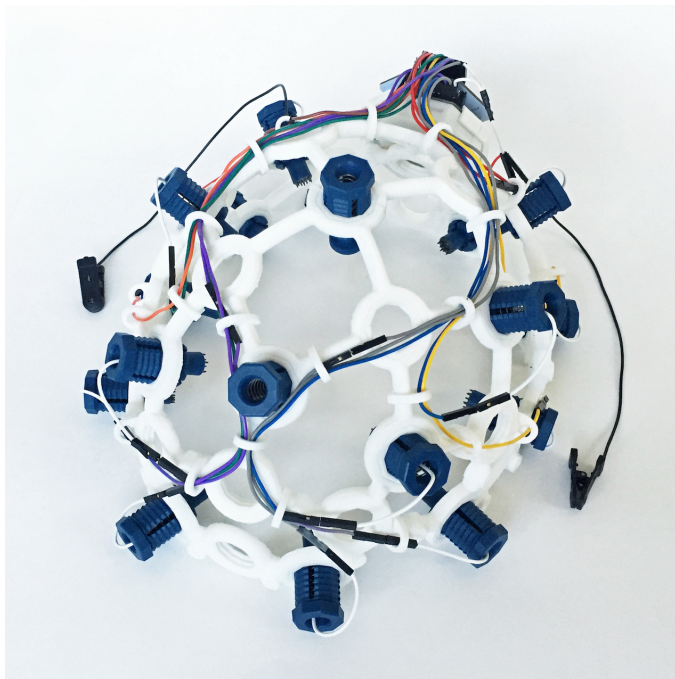


Obrázek 11: Schéma jednoho cyklu měření (2 hodiny)

2.3 Zpracování signálu EEG

Z důvodu časové náročnosti a komplexnosti budu v této bakalářské práci vyhodnocovat signál EEG, který porovnam s výsledky 1. otázky v subjektivním dotazníku. Signál EEG jsem zvolil z důvodu nejvyšší kvality a zajímavosti dat, která se podařilo naměřit.

Všechna data EEG byla naměřena pomocí speciální helmy Ultracortex Mark IV (viz obr. 12) s 16 elektrodami. Pro ukládání dat bylo využito programu openBCI_GUI. Z důvodu co největší přesnosti byla data ukládána ve formátu *raw*. Tedy každá hodnota na každé elektrodě je uložena tak jak je naměřena, bez jakéhokoliv filtrování. Všechna data byla uložena do souboru typu *.txt* [30].



Obrázek 12: Helma Ultracortex Mark IV pro měření signálu EEG zdroj: <https://docs.openbci.com>

V datovém souboru se nachází celá řada informací. V hlavičce je vždy popis, co vše je možné v souboru nalézt, dále jsou v něm hodnoty z každé elektrody a také hodnoty z akcelerometrů. Pro vyhodnocení a zpracování dat je nutné nejdříve převést data z formátu .txt do excelu a vymazat informace, které pro zpracování nejsou podstatné. V excelu lze tento soubor otevřít přes záložku *Data* a zvolení možnosti *Z textu*. Tím se celý .txt soubor otevře v excelu a data jsou zobrazena v jednotlivých buňkách. Každý soubor obsahuje záznam z jednoho přeletu. Celkem tedy pro 8 subjektů, z nichž každý absolvoval 16 přeletů, je k dispozici 128 souborů dat [30].

Poté, co všech 128 souborů je ve formátu .xlsx je možné se přesunout k programu Matlab, ve kterém se provede vyhodnocení dat. Nevýhodou zaznamenávání *raw* dat je zachycení velkého množství rušivých elementů, které je později nutné odfiltrovat. K tomu bylo využito tří filtrů. První, *Highpass filtr*, slouží k zachycení stejnosměrného napětí, které tvoří rušení helmy, druhý filtruje 50 Hz složku, která je tvořena spotřebiči v místnosti simulátoru, které jsou napájeny touto frekvencí a poslední, *bandstop filtr*, odfiltrává 28 Hz frekvenci, která se objevuje z neznámého okolního rušení při měřeních [30].



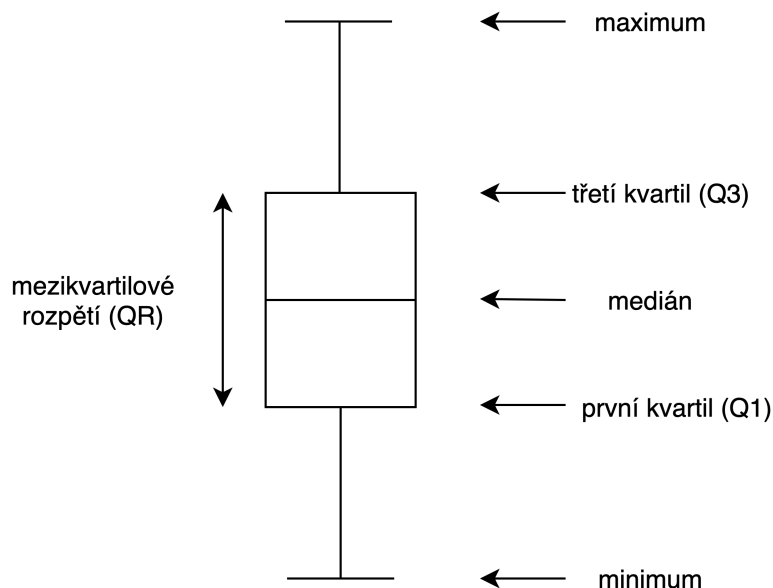
Dalším krokem je vytvoření matice *Timemat*, která slouží pro identifikaci začátku a konce měření. Dále pomocí funkce *datevec* jsou převedeny minuty a sekundy na hodnoty pro Matlab přijatelnější a snadněji zpracovatelné. Poté je nutné odstranit biologické signály. Je předpokládáno, že mozková aktivita měření pomocí EEG má maximální amplitudu $70 \mu\text{V}$, proto tyto hodnoty lze pomocí cyklu *for* najít a nahradit hodnotou NaN [30].

Po základním zpracování a úpravě dat se provádí spektrální analýza pro určení síly konkrétních pásem. Z knihovny *matlabu* lze využít funkci *fft* pro Fourierovu transformaci, poté funkci *fftshift* pro záměnu 1. a 2. kvadrantu matice s 3. a 4., aby spektrální analýza nebyla symetrická a v grafu nezabírala zbytečně příliš mnoho místa [30].

Sílu konkrétních pásem změřených pomocí EEG, tedy alfa, beta, delta, théta, lze určit pomocí funkce *trapz*. Funkce dokáže spočítat plochu pod křivkou v zadaných frekvencích a vzhledem k tomu, že frekvence pásem alfa, beta, delta, théta jsou známy, není problém je zadat. Výsledek funkce *ttrapz* je roven velikosti plochy pod grafem spektrální analýzy, což vytvoří novou matici. Po dokončení vyhodnocení jednoho měření se následně do této matice přidá výsledek dalšího měření, dokud v ní nebudou jednotlivá pásma ze všech měření pro všechny subjekty [30].

2.4 Boxplot

Možností jak zobrazit data do grafu je mnoho. Jednou z nich je právě boxplot, neboli krabicový diagram. Výhodou tohoto způsobu vykreslení dat je snadná představa o vlastnostech celé skupiny dat, například maximální a minimální hodnoty, extrémní hodnoty, medián (viz obr. 13) a také snadné porovnání výsledků napříč skupinami. Právě proto bude pro hodnocení tohoto výzkumu využito krabicového diagramu.



Obrázek 13: Boxplot (krabicový diagram)

Princip krabicového diagramu spočívá v rozdělení do kvartilů (viz obr. 13). Data se seřadí od nejnižší hodnoty po nejvyšší a určí se medián. V případě sudého počtu hodnot se medián vypočte jako průměr dvou prostředních hodnot. Dále se zjistí první kvartil (spodní hrana obdélníku) jako hodnota mezi mediánem a nejnižší hodnotou a třetí kvartil (horní hrana obdélníku) jako hodnota mezi mediánem a nejvyšší hodnotou. Mezi prvním a třetím kvartilem se nachází mezikvartilové rozpětí (celý obdélník) [31]. Extrémně velké hodnoty jsou hodnoty větší než součet třetího kvartilu a 1,5 násobku mezikvartilového rozpětí [32].

$$upperlimit = Q3 + 1,5 \cdot QR \quad (8)$$

naopak extrémně nízké hodnoty jsou hodnoty menší než rozdíl prvního kvartilu a 1,5 násobku mezikvartilového rozpětí [32].

$$lowerlimit = Q1 - 1,5 \cdot QR \quad (9)$$

Extrémní hodnoty se v krabicovém diagramu značí křížkem. Po vyloučení extrémních hodnot se ze zbylých určí maximum jako nejvyšší hodnota a minimum jako nejnižší hodnota.

2.5 Friedmanův test

Statistický test, který je vhodný pro opakované měření párových dat a nepředpokládá normální rozdělení. Právě proto je Friedmanův test vhodný pro tento experiment,

protože je testována skupina 8 osob několikrát za sebou a normálního rozdělení nelze při takto malém vzorku subjektů dosáhnout. Hypotézou pro tento test bude, že rozdíl mezi jednotlivými měřeními není signifikantní.

Číslo měření	1	2	3	...	8
Subjekt					
1	R ₁₁	R ₁₂	R ₁₃	...	R ₁₈
2	R ₂₁	R ₂₂	R ₂₃	...	R ₂₈
.
.
.
8	R ₈₁	R ₈₂	R ₈₃	...	R ₈₈
Součet sloupce	R _{.1}	R _{.2}	R _{.3}	...	R _{.8}

Tabulka 1: Příklad seskupení dat pro Friedmanův test

V tabulce lze vidět příklad seskupení dat pro Friedmanův test. Sloupce reprezentují jednotlivá provedená měření a řádky reprezentují jednotlivé subjekty. Pro každý subjekt z každého měření vyjde jedna hodnota. Například u subjektivního dotazníku to je jedna konkrétní hodnota, kterou subjekt zaškrtnl na stupnici a je přepočtená pomocí váhy. V posledním řádku tabulky jsou sečteny hodnoty v jednotlivých sloupcích (viz rovnici 10). Hodnota i v této rovnici představuje číslo řádku [33].

$$R_{.1} = \sum_{i=1}^8 R_{i1} \quad (10)$$

Celou tuto tabulku je možné vyhodnotit v matlabu, ve kterém pomocí funkce

$$p = \text{friedman}(\text{nazvetabulky}, \text{pocetsloupce}) \quad (11)$$

jde spočítat p hodnotu. V případě, že p hodnota je nižší než 0,05 (budeme počítat s hladinou významnosti 95 %) uvažuje se rozdíl mezi sloupci jako signifikantní. Problém je, že p hodnota sice sdělí, že sloupce se od sebe liší významně, ale neukáže o které sloupce jde [34]. K tomu je nutné nejprve vygenerovat tabulku *stats* s informacemi o hodnotách, které budou provnávány. Využije se následující funkce

$$[\sim, \sim, \text{stats}] = \text{friedman}(\text{nazvetabulky}, \text{pocetsloupce}) \quad (12)$$

Dále pomocí funkce *multcompare*

$$c = \text{multcompare}(\text{stats}) \quad (13)$$

se vygeneruje matice, kde jsou porovnány jednotlivé sloupce mezi sebou, p hodnota pro každou dvojici sloupců, konfidenční interval a odhad rozdílu středních hodnot. Díky tomu je možné rozeznat, které sloupce jsou od sebe významně odlišné [35]. Funkce *multcompare* k tomu standardně využívá *Tukey's Honestly Significant Difference Procedure*, která předpokládá, že všechny subjekty absolvovaly stejný počet testů, což v tomto experimentu je pravda. Následně díky tomuto testu bude možné říct, mezi kterými měřeními začala u subjektů narůstat únava.

3 Prezentace výsledků

Prezentaci výsledků rozdělím na dvě části. První se bude zabývat vyhodnocením dotazníku, druhá pak vyhodnocením měření EEG. V každém grafu jsou porovnány všechny subjekty napříč všemi lety. Subjekty jsou sdruženy v jednotlivých krabicích a ty jsou vzájemně porovnány napříč všemi lety.

3.1 Dotazník

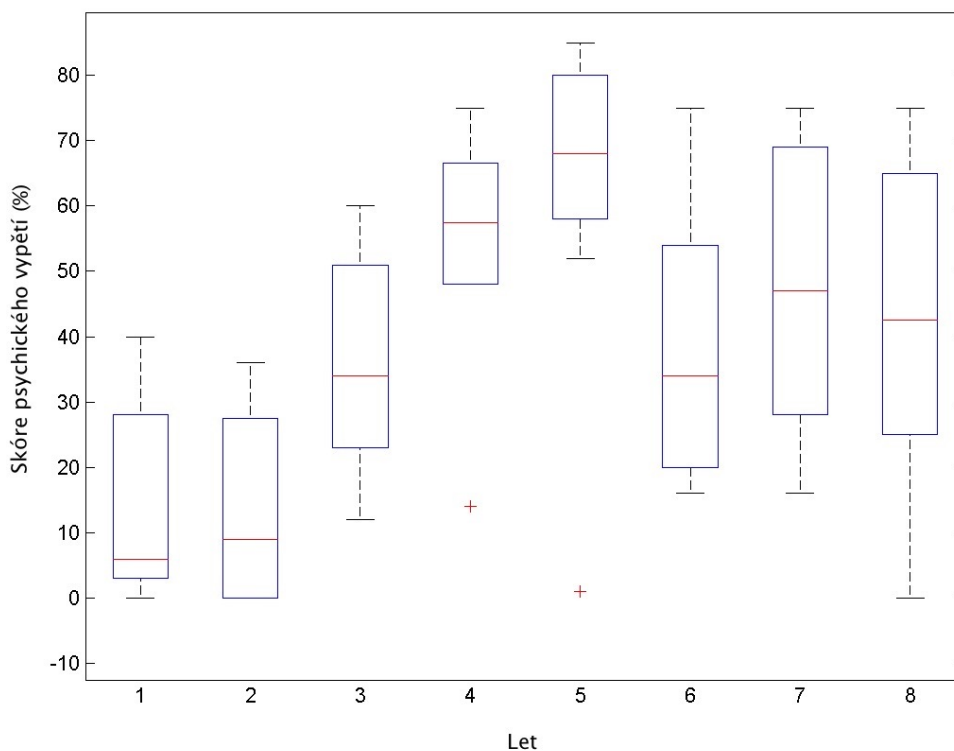
U první otázky týkající se psychického vypětí byl pomocí Friedmanova testu zjištěn signifikantní rozdíl mezi jednotlivými lety ($p=0.00041$). Následně pomocí post-hoc analýzy se ukázalo, že signifikantní rozdíl je mezi lety:

1 a 5 ($p=0.0257$, $CI=(-7.765;-4)$),

2 a 4 ($p=0.0121$, $CI=(-8.015;-4.25)$),

2 a 5 ($p=0.0044$, $CI=(-8.327;-4.562)$).

V grafu lze pozorovat narůstající trend mediánu mezi prvním a pátým letem. U pátého letu dosahuje medián svého maxima a dále již klesá.

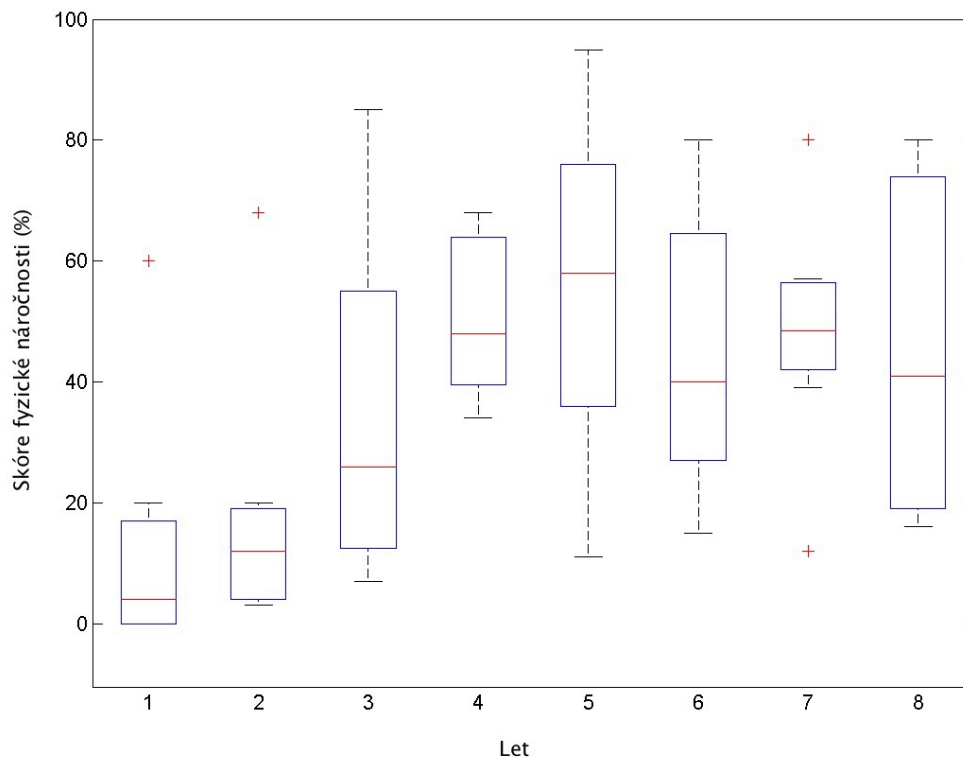


Obrázek 14: Boxplot k první otázce na psychické vypětí

Ve druhé otázce, zabývající se fyzickou náročností letu, Friedmanův test prokázal signifikantní rozdíl mezi jednotlivými lety ($p=0.0043$). Post-hoc analýza zjistila, že signifikantní rozdíl byl mezi lety:

1 a 5 ($p=0.0413$, $CI=(-7.68;-3.87)$)

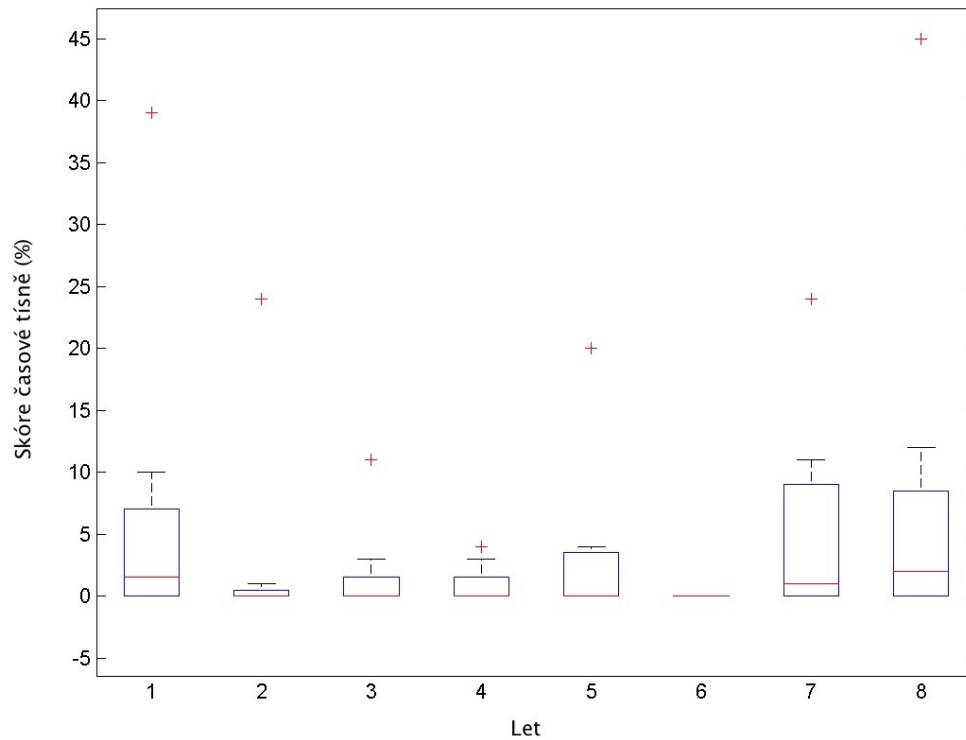
Trend mediánu má vzrůstající tendenci od prvního do pátého letu. Dále již postupně klesá a udržuje se na podobné úrovni.



Obrázek 15: Boxplot k druhé otázce na fyzickou náročnost

Signifikantní rozdíl mezi jednotlivými lety u třetí otázky týkající se časové tísně Friedmanův test nezaznamenal ($p=0.095$).

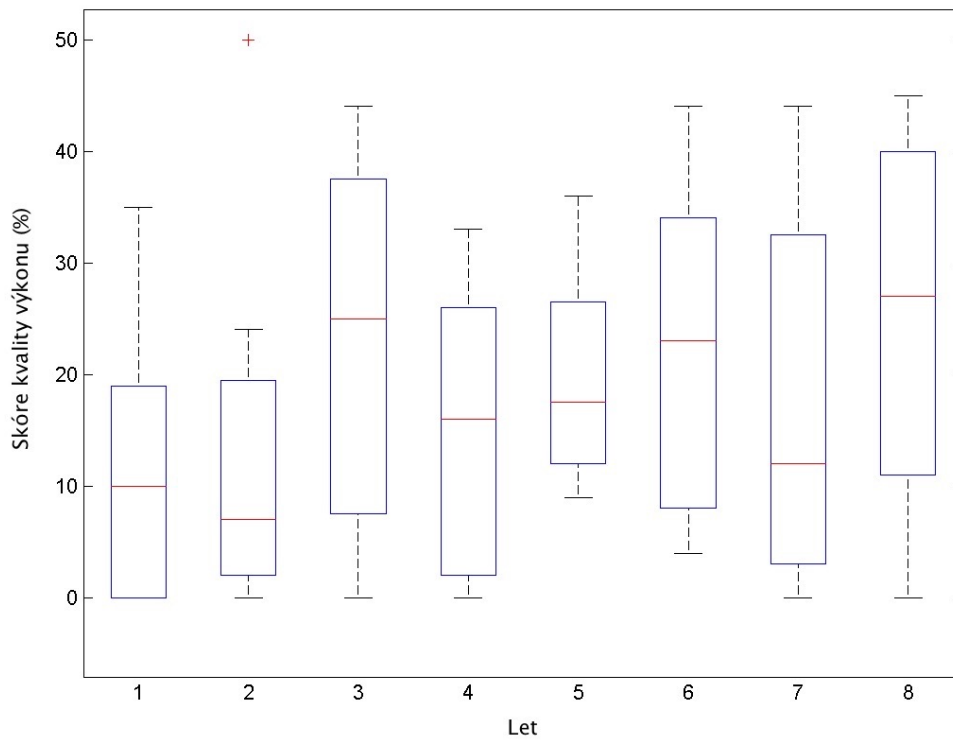
I z grafu lze odpozorovat velmi podobnou hodnotu mediánu napříč lety. Zajímavostí se množství červených křížků, které značí extrémní hodnoty.



Obrázek 16: Boxplot k třetí otázce na časovou tíseň

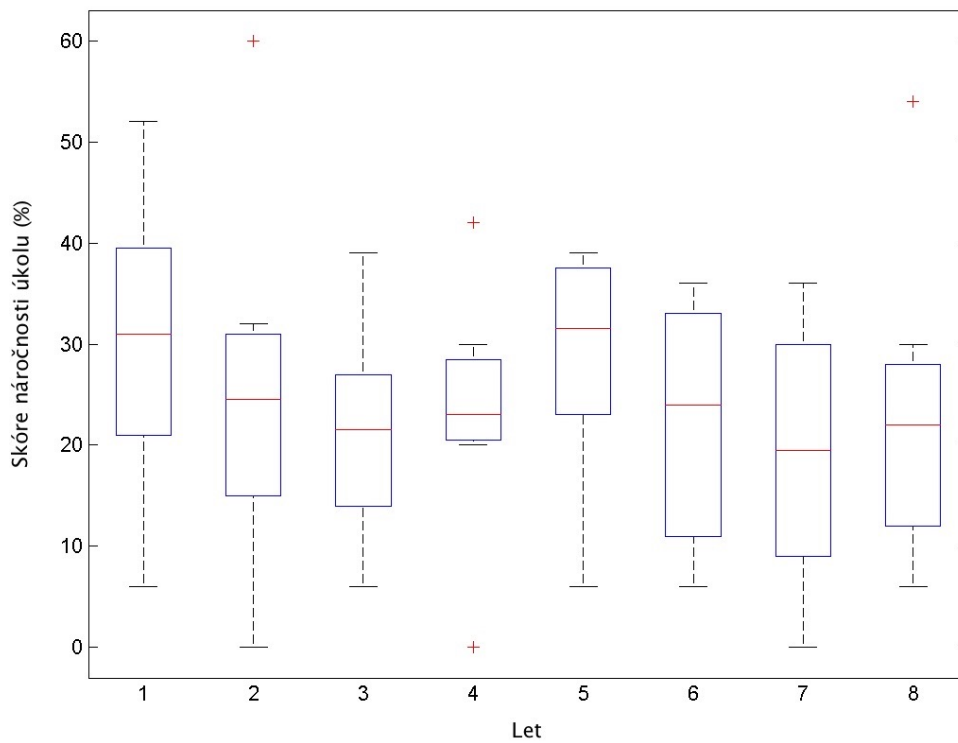
U čtvrté otázky zabývající se kvalitou výkonu opět Friedmanův test žádný signifikantní rozdíl mezi jednotlivými lety nezaznamenal ($p=0.248$).

Medián se mezi jednotlivými lety příliš nevyvíjí, ale je možné vidět velký rozptyl dat u každého letu.



Obrázek 17: Boxplot ke čtvrté otázce na kvalitu výkonu

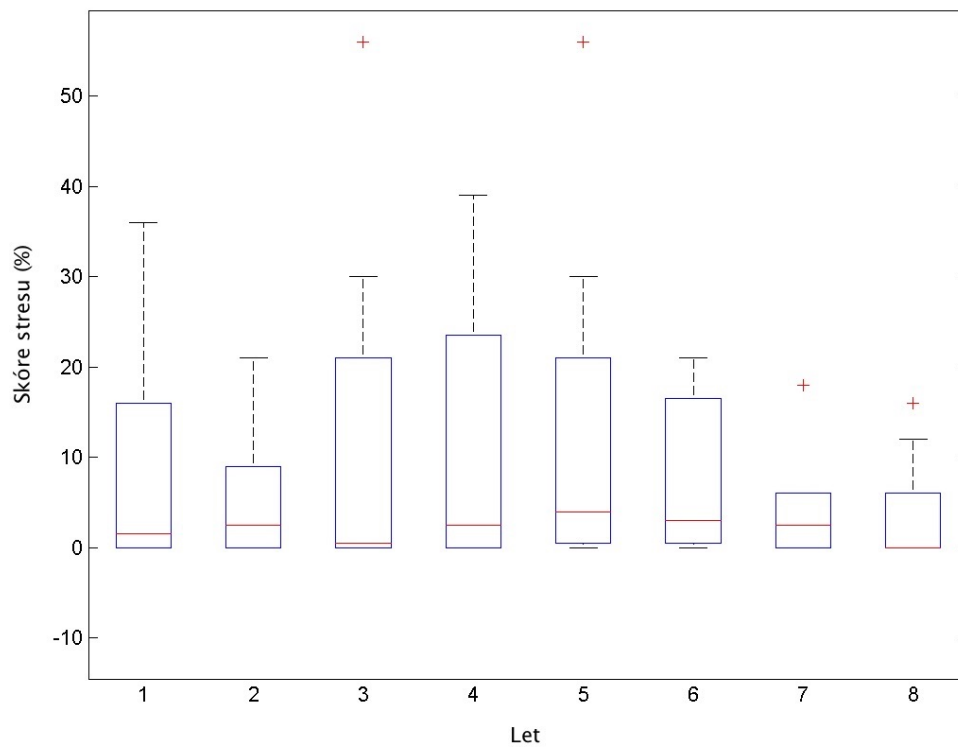
V páté otázce, týkající se náročnosti úkolu, Friedmanův test žádný signifikantní rozdíl neshledal ($p=0.842$).



Obrázek 18: Boxplot k páté otázce na náročnost úkolu

U poslední šesté otázky, zaměřující se na stres měřeného subjektu, také Friedmanův test žádný signifikantní rozdíl mezi jednotlivými lety nenašel ($p=0.0621$).

Podobně jako u otázky na časovou tíseň je i zde téměř konstantní hodnota mediánu a velké množství extrémních hodnot.



Obrázek 19: Boxplot k šesté otázce na stres

Při zhodnocení celkového pracovního vytížení, tedy spojení všech otázek dohromady, již Friedmanův test zjistil signifikantní rozdíl mezi jednotlivými lety ($p=0.0003$). Následná post-hoc analýza ukázala, že signifikantní rozdíl byl mezi lety:

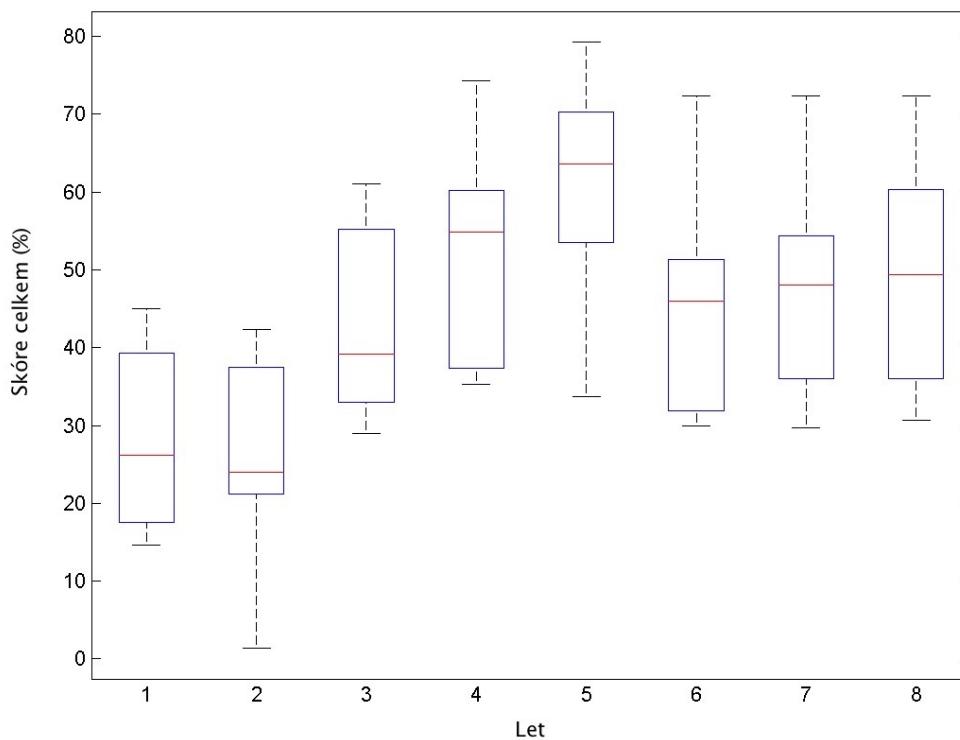
1 a 4 ($p=0.029$, $CI=(-7.814;-4)$),

1 a 5 ($p=0.0029$, $CI=(-8.564;-4.75)$),

2 a 4 ($p=0.029$, $CI=(-7.814;-4)$),

2 a 5 ($p=0.0029$, $CI=(-8.564;-4.75)$)

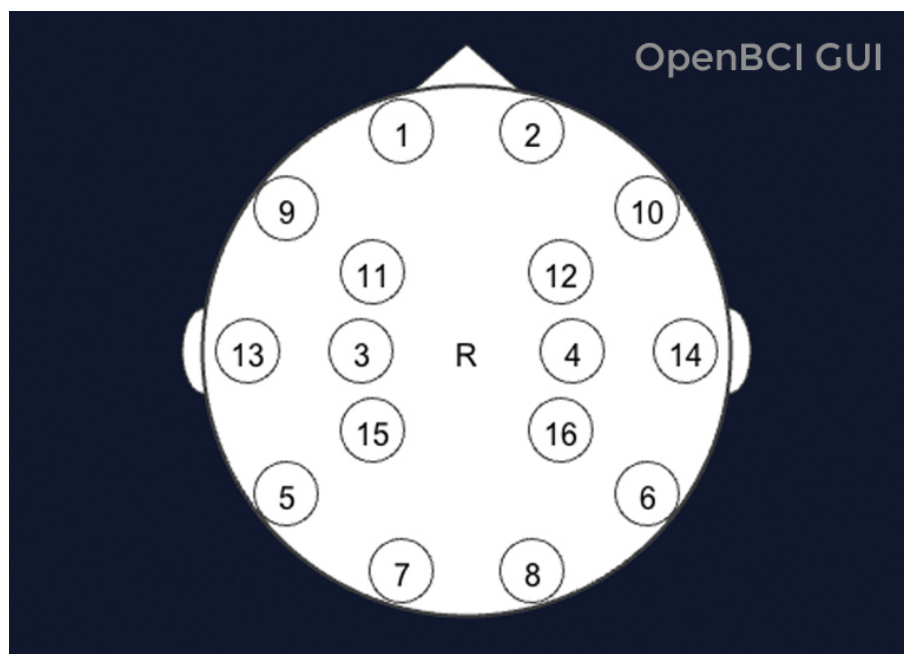
Na mediánu u celkového zhodnocení dotazníku lze pozorovat nárůst mezi druhým a pátým letem. Mezi pátým a šestým letem se medián propadl a poté už jen lehce stoupl.



Obrázek 20: Boxplot k celkovému zhodnocení pracovního vytížení

3.2 EEG

Hodnocení EEG bylo rozděleno na jednotlivé elektrody nacházející se na helmě. V úvahu byla vzata vždy 1 ze 16 elektrod, u které byly porovnány jednotlivé lety mezi sebou. Jelikož bylo měření EEG zaznamenáno pro každý přelet zvlášť vzniklo celkem 32 grafů. Pro ilustraci jsem do této práce zvolil 8 z 32 grafů jako reprezentativní vzorek. Konkrétně elektrody 2, 4, 6, 10 pro první i druhý přelet (viz obr. 21). Grafy jsem zvolil podle množství signifikantních rozdílů (velké i malé), trendu (výrazný i nevýrazný) a také rozmístění elektrod na hlavě, aby byla zastoupena celá část mozku (přední, centrální a zadní).



Obrázek 21: Rozmístění jednotlivých elektrod na helmě zdroj: <https://docs.openbci.com>

V následujících boxplotech budu tedy vždy sledovat na jedné elektrodě nejdříve první a poté druhý přelet každého letu.

Osa X v každém boxplotu reprezentuje jednotlivé lety. Osa Y poměr pásem alfa a théta.

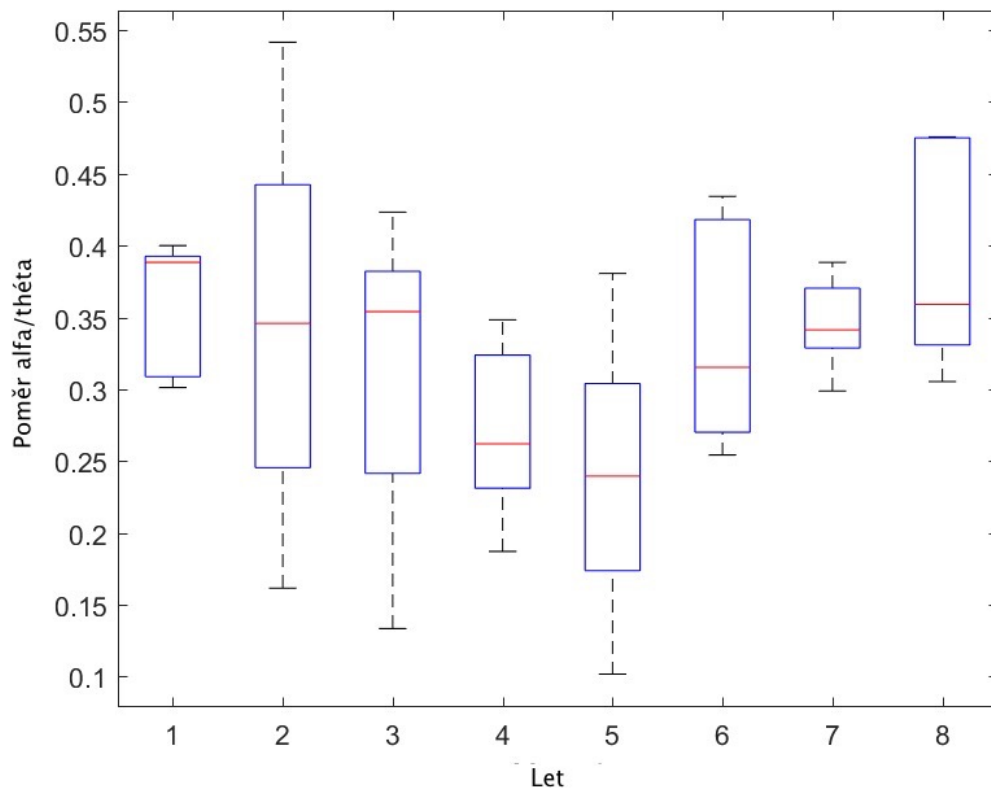
V prvním případě zkoumáme elektrodu č.2 pro první část letu (1. přelet) pro každý let. Friedmanův test prokázal signifikantní rozdíl mezi jednotlivými lety ($p=0.0005$).

Post-hoc analýza posléze zjistila signifikantní rozdíl mezi lety:

4 a 8 ($p=0.008$, $CI=(-10.428;-5.6)$),

5 a 8 ($p=0.00017$, $CI=(-11.828;-7)$).

Z grafu je možné vyčíst postupný pokles mediánu mezi prvním a pátým letem, kde dosáhne svého minima. Poté od pátého do osmého letu opět narůstá.

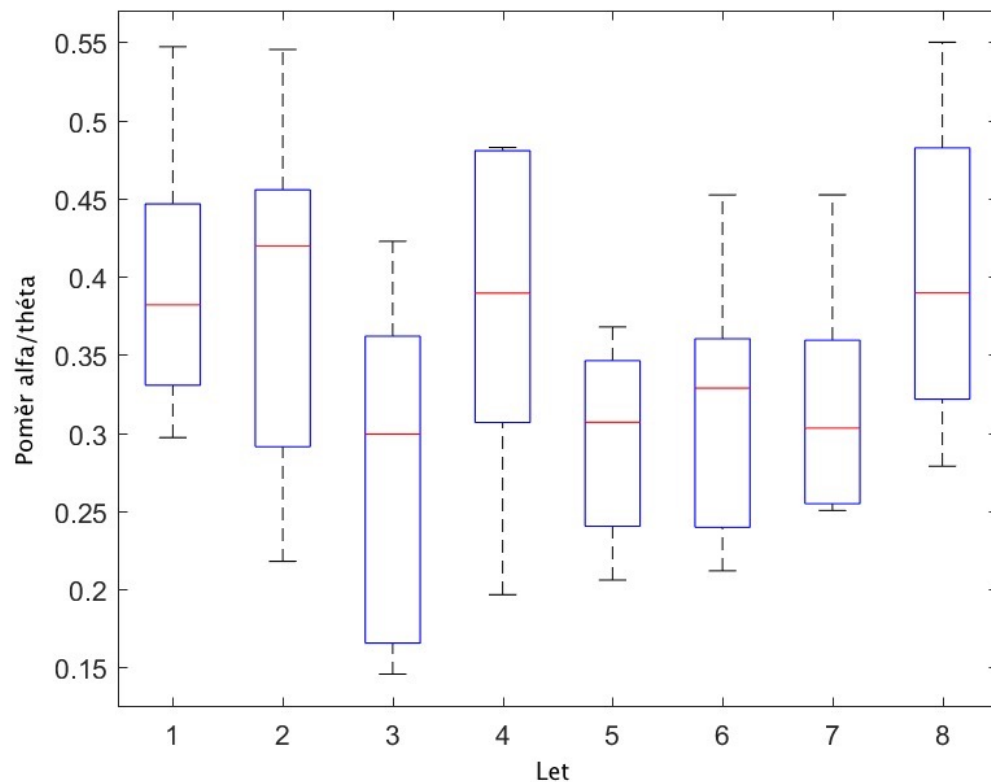


Obrázek 22: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.2 pro první přelet

Ve druhém příkladu nahlížíme znovu na elektrodu č.2, ale tentokrát pro druhou část letu. V boxplotu je možné sledovat srovnání druhého přeletu napříč všemi lety. Pomocí Friedmanova testu byl zjištěn signifikantní rozdíl mezi jednotlivými lety ($p=0.0057$). Post-hoc analýza dokázala signifikantní rozdíl mezi lety:

5 a 8 ($p=0.0249$, $CI=(-11.147;-5.75)$).

Zde není tak postupný pokles a nárůst mediánu jako v předchozím případě. Je možné pozorovat nárůst mediánu u letu č.4.



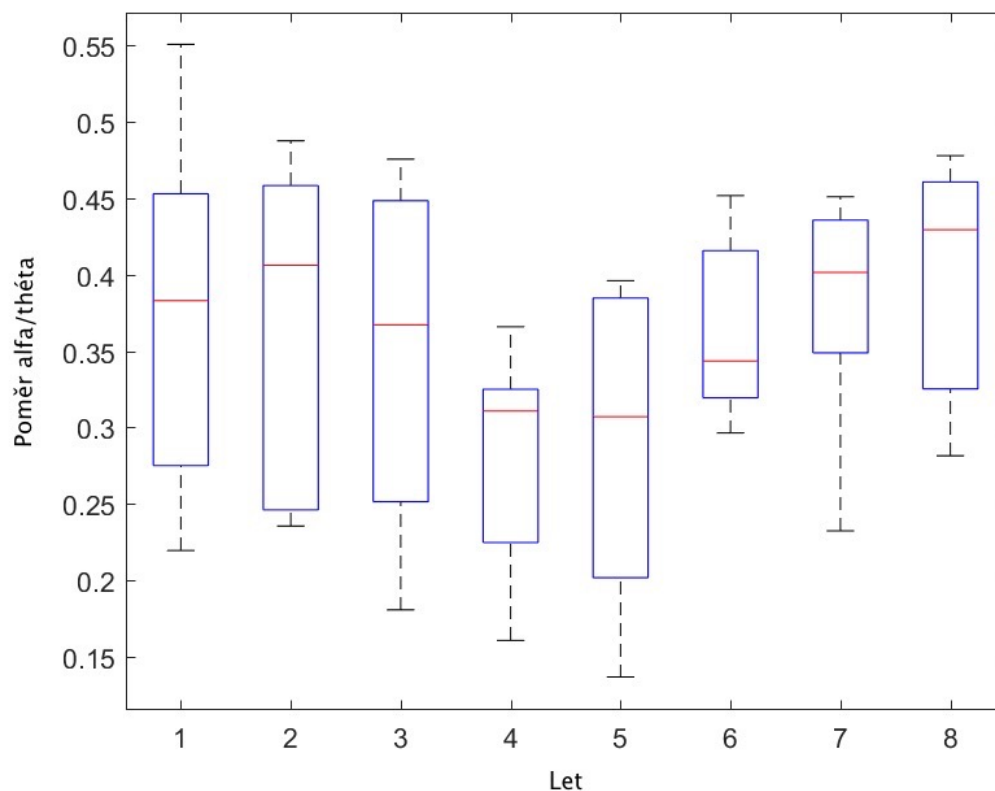
Obrázek 23: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.2 pro druhý přelet

Friedmanův test zjistil signifikantní rozdíl mezi jednotlivými lety i v případě první části letu (1.přelet) pro elektrodu č.4 ($p=0.0002$). Post-hoc analýza spatřila signifikantní rozdíl mezi lety:

4 a 8 ($p=0.005$, $CI=(-10.628;-5.8)$),

5 a 8 ($p=0.001$, $CI=(-11.228;-6.4)$).

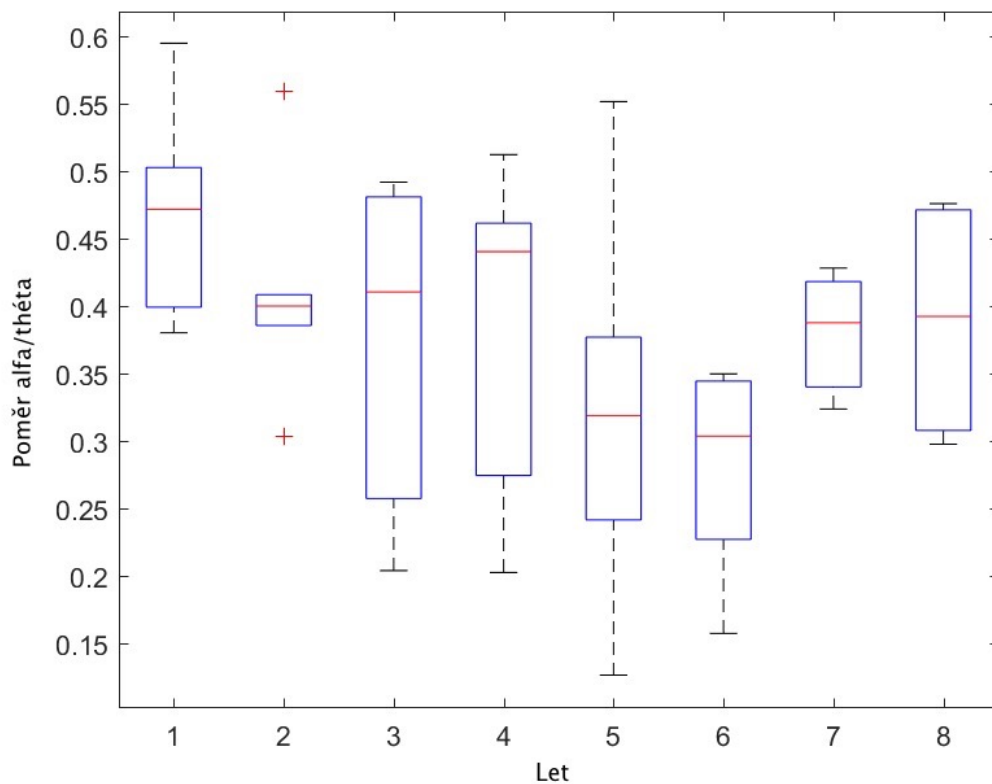
Kromě letu č.1 je možné sledovat postupný pokles mediánu mezi druhým a pátým letem. Poté až do konce medián narůstá.



Obrázek 24: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.4 pro první přelet.

Druhá část letu měřená na elektrodě č.4 po otestování Friedmanovým testem obsahovala signifikantní rozdíly mezi lety ($p=0.0081$). Dle post-hoc analýzy šlo o lety: 1 a 6 ($p=0.024$, $CI=(0.352;5.75)$).

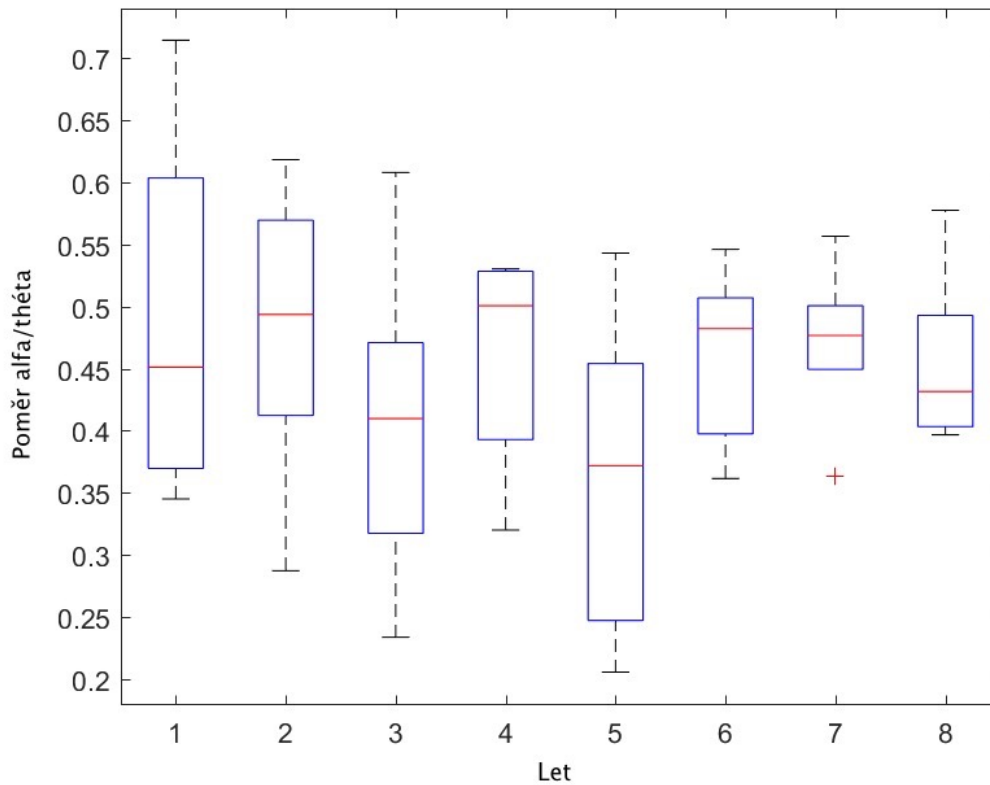
Zde na rozdíl od předchozích příkladů je medián minimální u letu č.6. U letu č.2 se nachází extrémní hodnoty nad maximem i pod minimem. Od letu č.4 lze pozorovat pokles mediánu a posléze po letu č.6 opět jeho nárůst.



Obrázek 25: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.4 pro druhý přelet

Pro elektrodu č.6 a první přelet Friedmanův test opět zpozoroval signifikantní rozdíl mezi lety ($p=0.0116$). Následná post-hoc analýza ukázala, že šlo o lety: 5 a 7 ($p=0.0218$, $CI=(-10.028;-5.2)$).

V případě této elektrody má medián tendenci vzrůstat a klesat mezi jednotlivými lety a žádný postupný pokles ani nárůst tak zpozorovat nelze.



Obrázek 26: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.6 pro první přelet

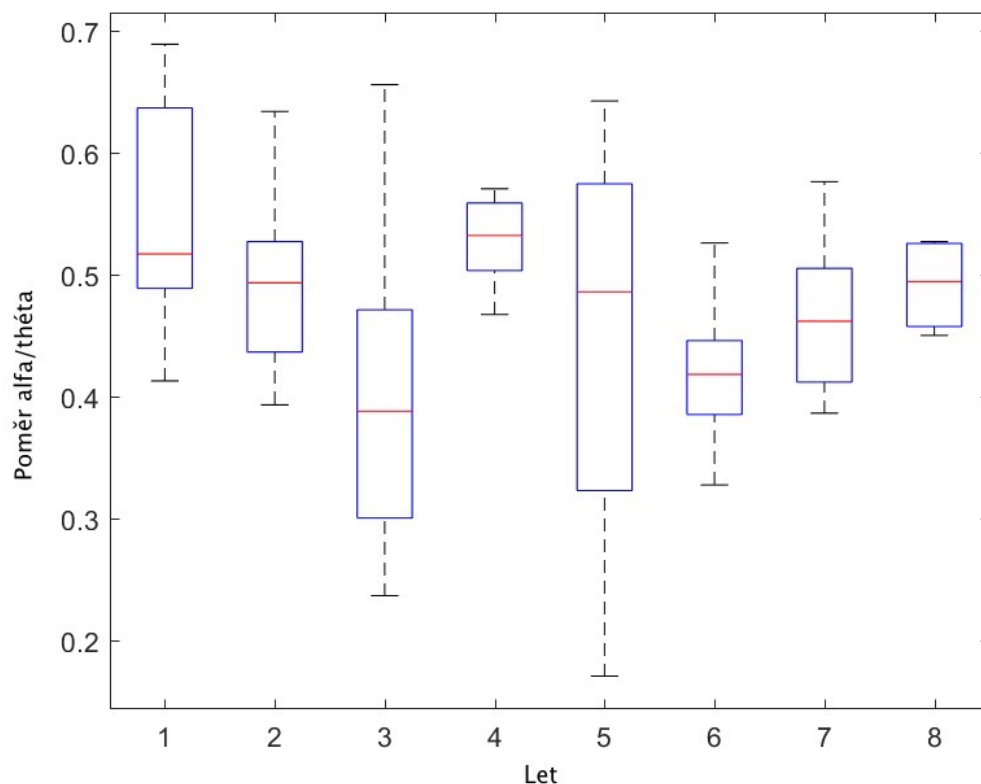
Friedmanův test zaznamenává signifikantní rozdíl také v případě elektrody č.6 pro druhý přelet (0.0003). Post-hoc analýza ukazuje, že se jedná o rozdíl mezi lety:

3 a 4 ($p=0.0048$, $CI=(-11.897;-6.5)$),

4 a 5 ($p=0.0147$, $CI=(0.602;6)$),

4 a 6 ($p=0.041$, $CI=(0.102;5.5)$).

Medián má tendenci klesat mezi prvním a třetím letem. Poté skokově naroste, ale dále až do letu č.6 opět klesá. Mezi šestým a osmým letem lze vidět jeho růst.



Obrázek 27: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.6 pro druhý přelet

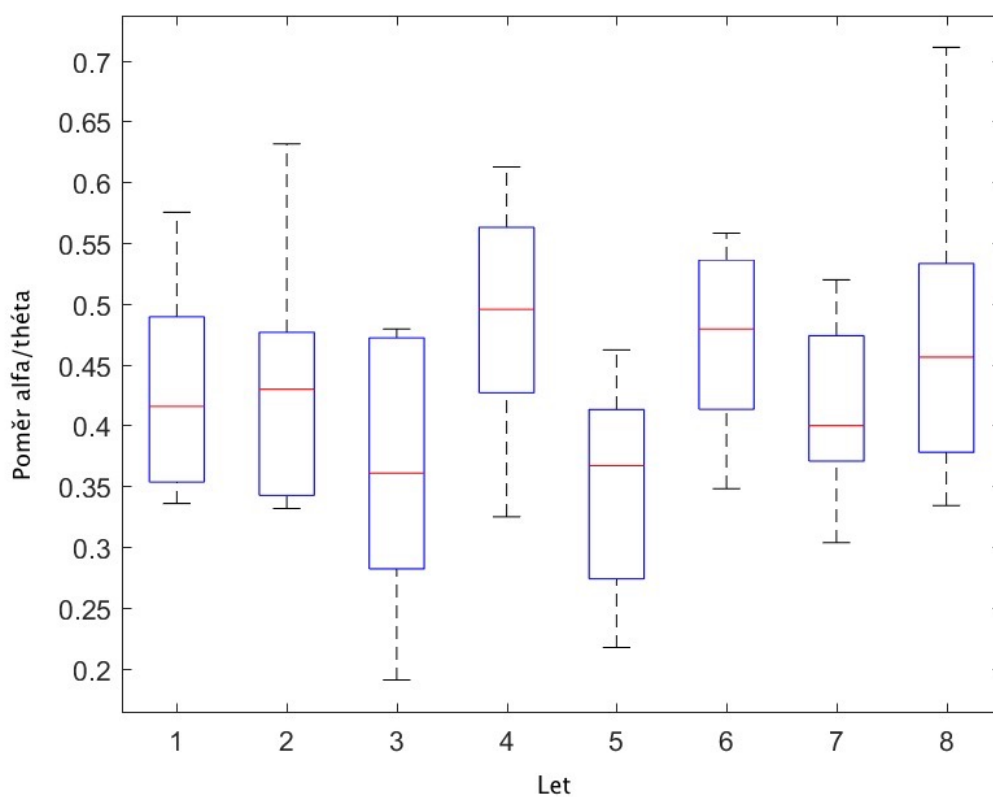
Pro elektrodu č.10 a první přelet Friedmanův test zaznamenal signifikantní rozdíl mezi lety ($p=0.0005$). Následná post-hoc analýza ukázala, že šlo o lety:

4 a 5 ($p=0.005$, $CI=(0.971;10.628)$),

5 a 6 ($p=0.005$, $CI=(-10.628;-5.8)$),

5 a 8 ($p=0.0218$, $CI=(-10.028;-5.2)$).

V případě této elektrody má medián tendenci vzrůstat a klesat mezi jednotlivými lety a žádný postupný pokles ani nárůst tak zpozorovat nelze. Pouze v případě letu č.4 lze vidět skokový nárůst.



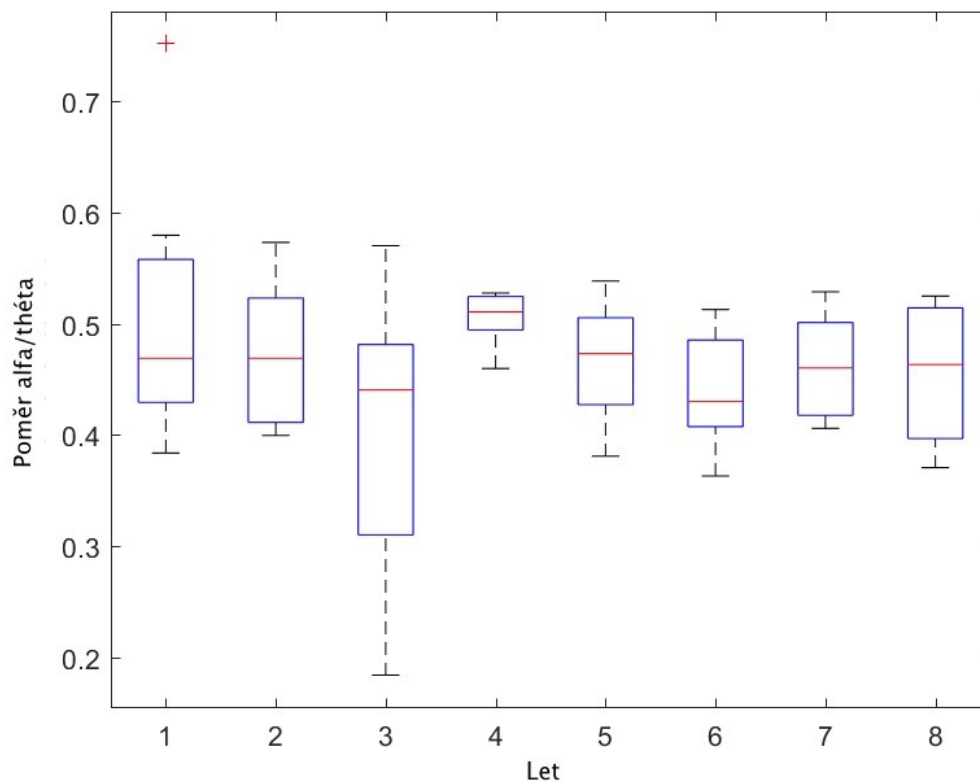
Obrázek 28: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.10 pro první přelet

Pro druhý přelet elektrody č.10 Friedmanův test odhalil signifikantní rozdíl mezi jednotlivými lety ($p=0.0032$). Následná post-hoc analýza ukázala, že šlo o lety:

3 a 4 ($p=0.0085$, $CI=(-11.647;-6.25)$),

4 a 6 ($p=0.0085$, $CI=(0.852;6.25)$).

V případě této elektrody se medián udržuje téměř konstantní. Lze sledovat mírné nárůsty a poklesy, ale ne tak výrazné jako u předchozích elektrod.



Obrázek 29: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.10 pro druhý přelet

4 Diskuze výsledků

V dotazníku subjekty odpovídaly postupně na šest otázek týkající se šesti různých témat.

První z nich, otázka na psychické vypětí, prokázala postupný nárůst mediánu, což znamená, že pro piloty byl každý další let více psychicky vyčerpávající. Maximum je u pátého letu, který se uskutečnil kolem páté hodiny ranní. Tehdy zažívá tělo dle cirkadiánního rytmu útlum a chce se mu nejvíc spát. Postupně se začínajícím dnem se i tělo postupně ožíví a opět začíná lépe fungovat. Navzdoru tomu, že v noci nespalo. Proto je vidět od pátého letu pokles mediánu a tedy i psychického vypětí u pilotů. Statisticky signifikantní rozdíly dokazuje i statistika mezi lety 1 a 5, 2 a 4, 2 a 5.

Druhé téma, fyzická náročnost, ukazuje podobný průběh jako předchozí. I když lety jsou všechny stejně fyzicky náročné, subjekty nejspíše vlivem únavy cítily každý další let jako náročnější. Opět je maximum u letu č.5, tedy v době cirkadiánního útlumu. Po pátém letu již pokles není tak znatelný jako v předchozím případě, ale přesto je zaznamenatelný. Statistika dokázala signifikantní rozdíl mezi 1. a 5. letem.

Časová tíseň nezaznamenala žádný signifikantní rozdíl mezi lety. Odpovídá tomu i průběh mediánu v grafu, který je víceméně konstantní. Důvodem k tomu může být, že na piloty nebyl vyvíjen přílišný časový nátlak. Na přípravu letu měli dostatek času a nebyli konfrontováni například s běžným provozem, zpožděním a podobně.

Největší rozptyl odpovědí byl u otázky číslo 4 týkající se kvality výkonu. Signifikantní rozdíl mezi jednotlivými lety nebyl zjištěn. Žádný trend mediánu úplně předpovědět nelze. Tato otázka je velmi subjektivní a tudíž složitě vyhodnotitelná. Každému pilotovi se také s narůstající únavou mění nároky na sebe samotného.

V páté otázce zabývající se náročností úkolu také zůstával medián bez výrazných změn. Friedmanův test neprokázal žádný signifikantní rozdíl. Znamená to tedy, že pro piloty byly lety víceméně stejně náročné, což tak skutečně mělo být. Je to opět jedna ze subjektivních otázek, na kterou může mít každý subjekt vlastní měřítko.

Poslední otázka se ptala jestli byl pilot během letu ve stresu. Z grafu a statistického testu vyplývá, že po celou dobu byla většina subjektů v klidu. Necítili se

téměř vůbec vystresovaní. Avšak v grafu jsou vidět i jednotlivé extrémní hodnoty, které značí, že některé subjekty se mohly cítit pod tlakem.

V celkovém hodnocení dotazníku, tedy po vyhodnocení všech otázek dohromady, je možné sledovat trend mediánu s maximem u pátého letu. Na začátku jsou subjekty odpočaté a v dobré náladě. Čtvrtý a pátý let zaznamenává maximum pracovní zátěže u pilotů. V době cirkadiánního útlumu je to předpokladatelné. Následně se začínajícím novým dnem se probouzí i tělo a u pilotů se pracovní zátěž postupně snižuje. Je vidět, že se v celkovém hodnocení nejvíce promítly otázky na psychické vypětí a fyzickou náročnost. Další otázky s nevýraznými změnami mediánu tomu nijak znatelně nepřispěly.

U EEG byly vyhodnoceny 4 z 16 elektrod. Velké signifikantní rozdíly vychází u elektrody č.2, která se nachází na přední straně hlavy. Poměr alfa/théta je nejmenší u čtvrtého a pátého letu tedy v době cirkadiánního útlumu. To, že je poměr minimální znamená, že převažuje pásmo théta a subjekt je nejvíce utlumený. Následuje nárůst a s tím spojené i probouzení těla. Statisticky je dokázaný signifikantní rozdíl mezi lety 4 a 8, 5 a 8.

Podobně jasné výsledky ukazuje ještě elektroda č.4 nacházející se v centrální části. Postupný pokles poměru alfa/théta s minimem kolem páté hodiny ranní následovaný nárůstem během denních hodin. Signifikantní rozdíl byl shledán mezi lety 1 a 6, 4 a 8, 5 a 8.

U elektrod 6 a 10 nacházejících se po stranách helmy nelze vidět podobný průběh mediánu jako u předchozích dvou případů. I když se u nich najdou různé signifikantní rozdíly, tak jsou spíše skokové a mezi každým letem se pohybují nahoru nebo dolů. Z těchto grafů tedy nelze s jistotou předpovědět v jakém stavu se pilot nachází.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo porovnat subjektivní a objektivního hodnocení únavy pilotů. V teoretické části jsem se věnoval různým typům dotazníků a jejich tvorbě. Příklady jejich užití pro různá odvětví nebo pro různé situace. Za účelem tohoto experimentu byl vytvořen subjektivní dotazník inspirovaný dotazníkem N-TLX. Co se týče objektivního hodnocení únavy pilotů byly do detailu popsány metody PVT, EKG a EEG. Nakonec pro účely této bakalářské práce bylo z objektivních metod vybráno právě EEG pro hodnocení psychického vypětí a celkové únavy. K EEG jsem se uchýlil z důvodu nejkvalitnějších a nejzajímavějších dat, která během měření byla nasbírána.

Data byla sbírána během letů na simulátoru na Ústavu letecké dopravy. Proběhla celkem čtyři 24 hodinová měření, každého z nich se zúčastnily dva měřené subjekty a dvě osoby, které se staraly o průběh měření (řídící letového provozu, asistence při nasazování helmy EEG, akcelerometrů, EKG). Každý subjekt absolvoval během 24 hodin celkem 8 letů a po každém z nich vyplnil subjektivní dotazník a další testy.

Při porovnání výsledků z elektrod č.2 a č.4 s výsledky ze subjektivního dotazníku o psychickém vypětí lze sledovat podobnost v trendu mediánu. Obě metody zaznamenaly piloty na začátku měření v odpočatém stavu, který s postupem noci slábl. Největší psychické vypětí nastalo kolem páté hodiny ranní během cirkadiánního útlumu. Poté s východem slunce se začali probouzet i piloti a jejich pozornost narůstala.

Výsledky EEG se dají porovnat také s celkovým hodnocením subjektivního dotazníku, protože poměr pásem alfa/théta značí i celkovou únavu jedince. I zde se výsledky z elektrod č.2 a č.4 a průběh mediánu podobají s celkovým vyhodnocením dotazníku. Opět největší útlum nastává v brzkých ranních hodinách a ustává během dopoledních hodin. Subjektivní hodnocení pilotů z dotazníku tedy odpovídá objektivnímu hodnocení z EEG, a tedy se zdá, že dotazník poskytuje validní informace ohledně únavy, a to na základě jeho porovnání s objektivními daty.

Pokud se podívám na elektrody č.6 a č.10, tak jejich medián se v průběhu nijak významně nemění a pokud ano, tak skokově mezi jednotlivými lety. Jejich důvěryhodnost pro hodnocení únavy tímto klesla, protože není možné, aby subjekt, který nespí byl ve 21 hodin odpočatý, ve 22 hodin unavený, ve 23 hodin opět odpočatý a takto to probíhalo 24 hodin.



Největší limitací této práce a celého výzkumu byla nemoc COVID-19, která znemožnila další pokračování letů na simulátoru a tudíž nebylo možné použít širší vzorek pro měření. Další potíže jsou způsobené časovou náročností experimentu. 24 hodin najednou strávených na simulátoru a navíc bez spánku není příliš přívětivé. Piloti často odmítli účastnit se měření z důvodů pracovních nebo školních povinností, které jim znemožnily strávit 24 hodin na jednom místě.

Tato bakalářská práce nabízí možnost pro další práce v podobě vyhodnocení zbývajících otázek v dotazníku a porovnání se zbylými objektivními metodami například EKG nebo PVT.

Seznam použité literatury

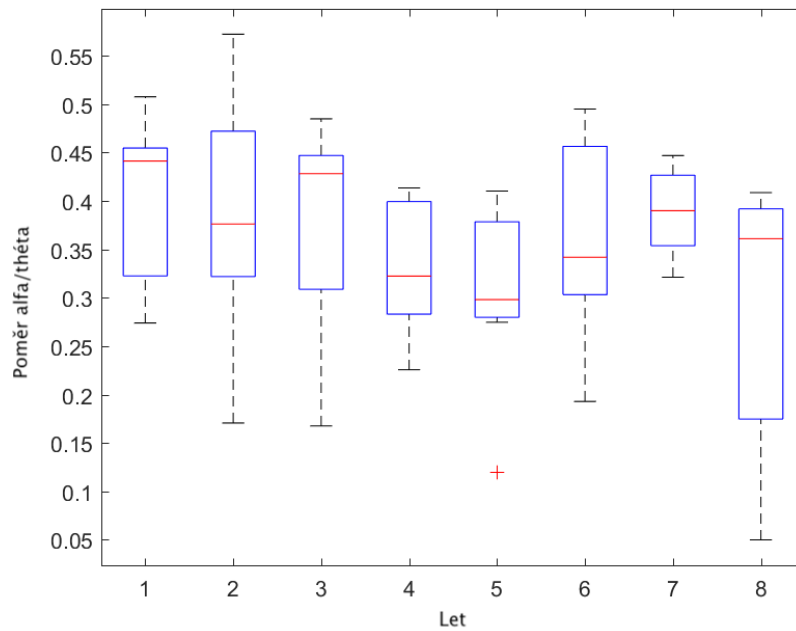
- [1] Ultracortex mark iv, 2020. Dostupné také z: <https://docs.openbci.com>.
- [2] Valerie J Gawron, Jonathan French, and Doug Funke. An overview of fatigue. 2001.
- [3] John A. Caldwell. Fatigue in aviation. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 3(2):85–96, 2005.
- [4] International Air Transport Association. Fatigue Management Guide for Airline Operators. 2015. Dostupné také z: <https://www.icao.int/safety>.
- [5] The European Union Aviation Safety Agency. Easy Access Rules for Air Operations (Regulation (EU) No 965/2012), 2019.
- [6] Jim Waterhouse, Thomas Reilly, Greg Atkinson, and Ben Edwards. Jet lag. *The Lancet*, 369(9567):1117–1129, 2007.
- [7] Gregory D. Roach, Charli Sargent, David Darwent, and Drew Dawson. Duty periods with early start times restrict the amount of sleep obtained by short-haul airline pilots. *Accident Analysis & Prevention*, 45:22–26, 2012.
- [8] *An Assessment of NASA's National Aviation Operations Monitoring Service*. National Academies Press, Washington, D.C, 2009.
- [9] The National Aviation Operational Monitoring Service (NAOMS): A documentation of the development of a survey methodology. Dostupné také z: <https://ntrs.nasa.gov>.
- [10] The National Aeronautics and Space Administration. General aviation survey, 2006. Dostupné také z: <https://www.nasa.gov>.
- [11] Kevin B. Gregory, William Winn, Kent Johnson, and Mark R. Rosekind. Pilot fatigue survey. *Air Medical Journal*, 29(6):309–319, 2010.
- [12] Civil Aviation Safety Authority. Oar utility of GAAP review survey, 2009. Dostupné také z: <https://www.casa.gov.au>.
- [13] European Cockpit Association. Pilot fatigue, 2012. Dostupné také z: <https://www.eurocockpit.be>.
- [14] Linsey M. Barker and Maury A. Nussbaum. Fatigue, performance and the work environment. *Journal of Advanced Nursing*, 67(6):1370–1382, 2011.

- [15] Sandra G. Hart. Nasa-task load index (NASA-TLX); 20 years later. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50(9):904–908, 2016.
- [16] Peter Hoonakker, Pascale Carayon, Ayse P. Gurses, Roger Brown, Adjhaporn Khunlertkit, Kerry McGuire, and James M. Walker. Measuring workload of ICU nurses with a questionnaire survey. *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering*, 1(2):131–143, 2011.
- [17] Kumru Didem ATALAY, Gülin Feryal Can, Şaban Remzi ERDEM, and İbrahim Haldun MÜDERRİSOĞLU. Assessment of mental workload and academic motivation in medical students. *Journal of the Pakistan Medical Association*, 66(5):574,578, 2016.
- [18] Norman M Bradburn, Seymour Sudman, and Brian Wansink. *Asking questions: the definitive guide to questionnaire design—for market research, political polls, and social and health questionnaires*. John Wiley & Sons, 2004.
- [19] I.M. Crawford. Marketing research and information systems, 1997. Dostupné také z: <http://www.fao.org>.
- [20] Priyanka A. Abhang, Bharti W. Gawali, and Suresh C. Mehrotra. Technological basics of eeg recording and operation of apparatus. In *Introduction to EEG- and Speech-Based Emotion Recognition*, pages 19–50. Elsevier, 2016.
- [21] Michael X Cohen. Where does EEG come from and what does it mean? *Trends in Neurosciences*, 40(4):208–218, 2017.
- [22] Richard Rokyta. *Fyziologie*. Galén, Praha, třetí, přepracované vydání (první vydání v nakladatelství galén) edition, 2016.
- [23] Gianluca Borghini, Laura Astolfi, Giovanni Vecchiato, Donatella Mattia, and Fabio Babiloni. Measuring neurophysiological signals in aircraft pilots and car drivers for the assessment of mental workload, fatigue and drowsiness. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 44:58–75, 2014.
- [24] Ashley Craig, Yvonne Tran, Nirupama Wijesuriya, and Hung Nguyen. Regional brain wave activity changes associated with fatigue. *Psychophysiology*, 49(4):574–582, 2012.
- [25] John A. Caldwell, Kecia K. Hall, and Bradley S. Erickson. Eeg data collected from helicopter pilots in flight are sufficiently sensitive to detect increased

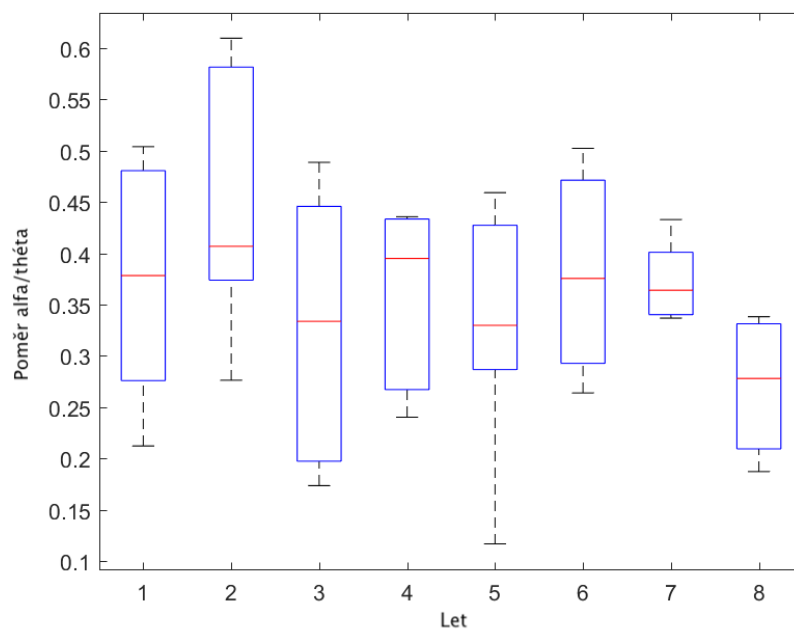
- fatigue from sleep deprivation. *The International Journal of Aviation Psychology*, 12(1):19–32, 2009.
- [26] Fred Shaffer and J. P. Ginsberg. An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in Public Health*, 5:3–4, 2017.
- [27] Autumn Schumacher. Linear and nonlinear approaches to the analysis of r-r interval variability. *Biological Research For Nursing*, 5(3):211–221, 2016.
- [28] Mitchell Miglis. *Sleep and the Autonomic Nervous System*, pages 227–244. 12 2017.
- [29] The neural basis of the psychomotor vigilance task. *Sleep*, 2005. Dostupné také z: <https://academic.oup.com/sleep>.
- [30] Ondřej Bešťák. *Využití elektroencefalografie pro sledování únavy u pilotů*. České vysoké učení technické v Praze, Praha, 2020.
- [31] Understanding and interpreting box plots. Dostupné také z: <https://www.wellbeingatschool.org.nz>.
- [32] Michael Galarnyk. Understanding boxplots, 2018. Dostupné také z: <https://towardsdatascience.com/understanding-boxplots-5e2df7bcbd51>.
- [33] Tomáš Mrkvička and Vladimíra Petrášková. *Úvod do statistiky*. Jihočeská univerzita, České Budějovice, 1. vyd edition, 2006.
- [34] Friedman’s test, 2020. Dostupné také z: <https://www.mathworks.com/help/stats/friedman.html>.
- [35] Multiple comparison test, 2020. Dostupné také z: <https://www.mathworks.com/help/stats/multcompare.html>.

Přílohy

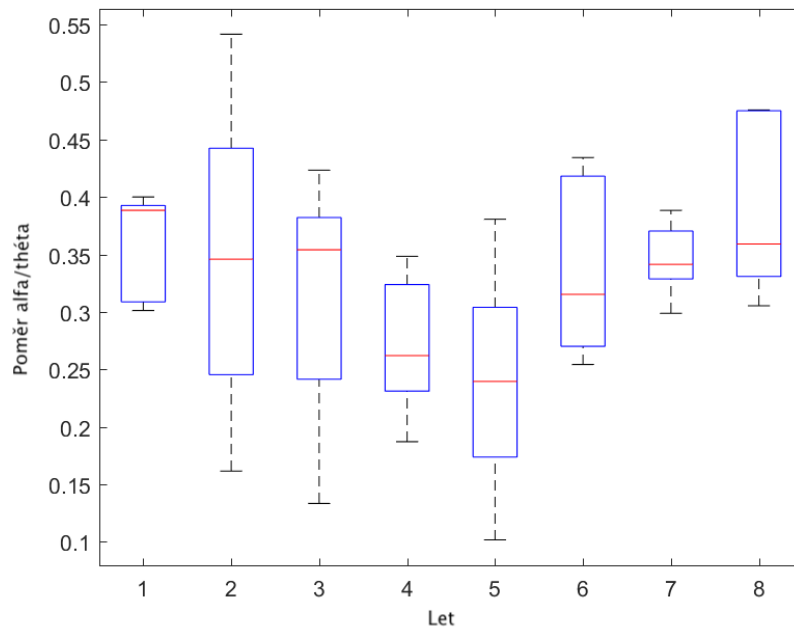
Příloha 1: Boxploty k jednotlivým elektrodám



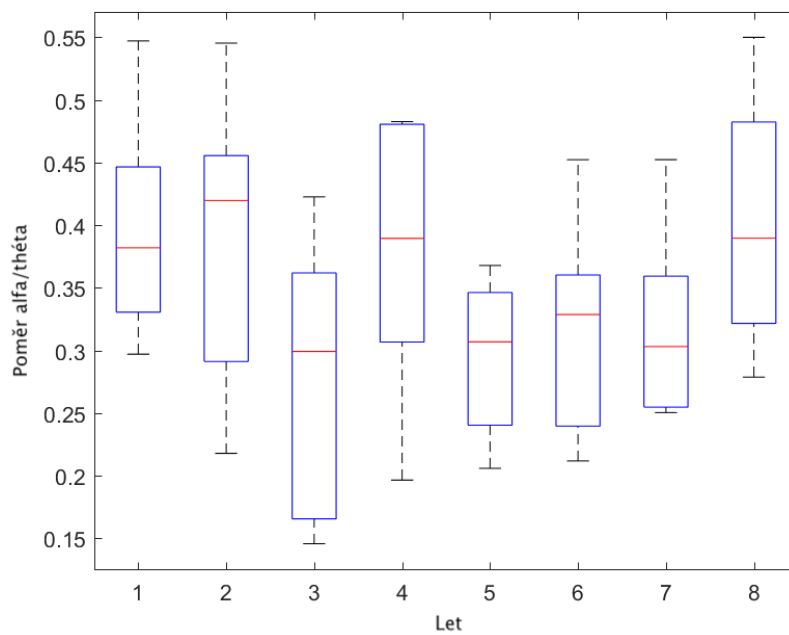
Obrázek 30: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.1 pro první přelet



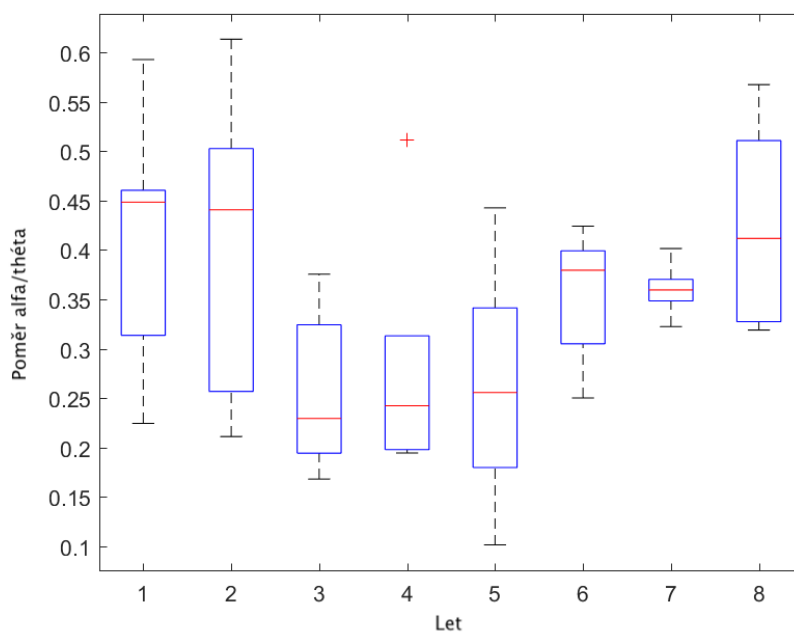
Obrázek 31: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.1 pro druhý přelet



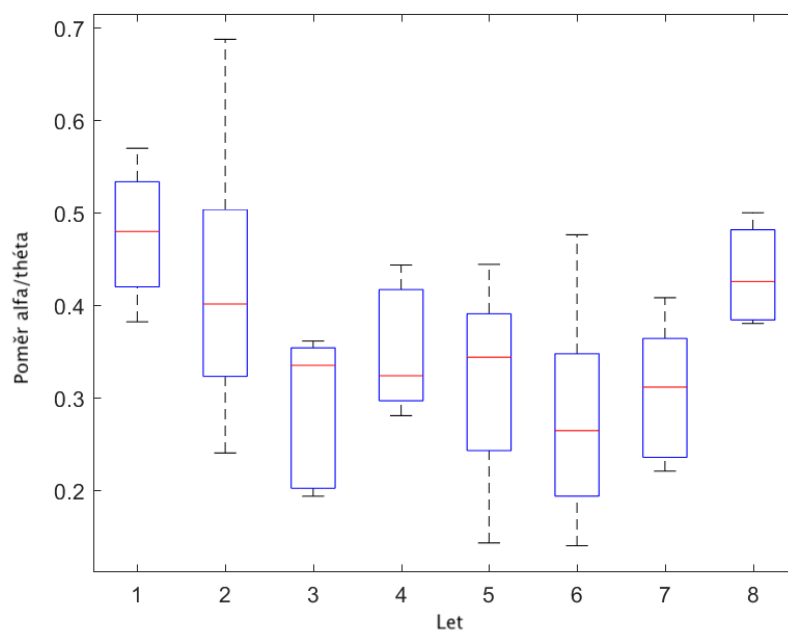
Obrázek 32: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.2 pro první přelet



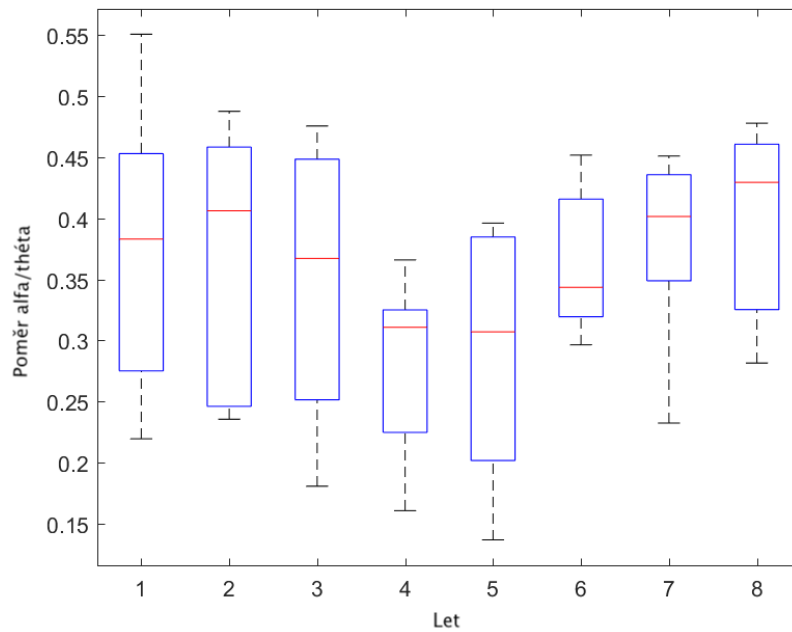
Obrázek 33: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.2 pro druhý přelet



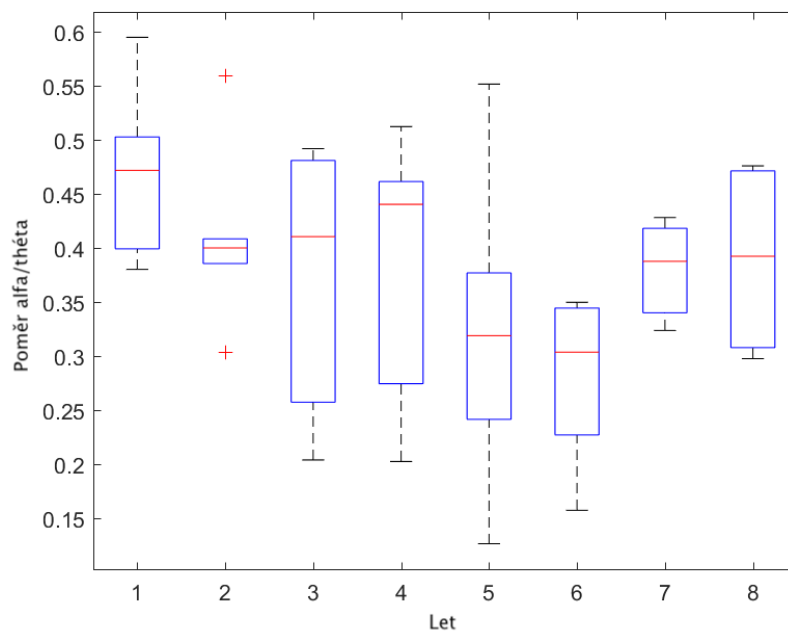
Obrázek 34: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.3 pro první přelet



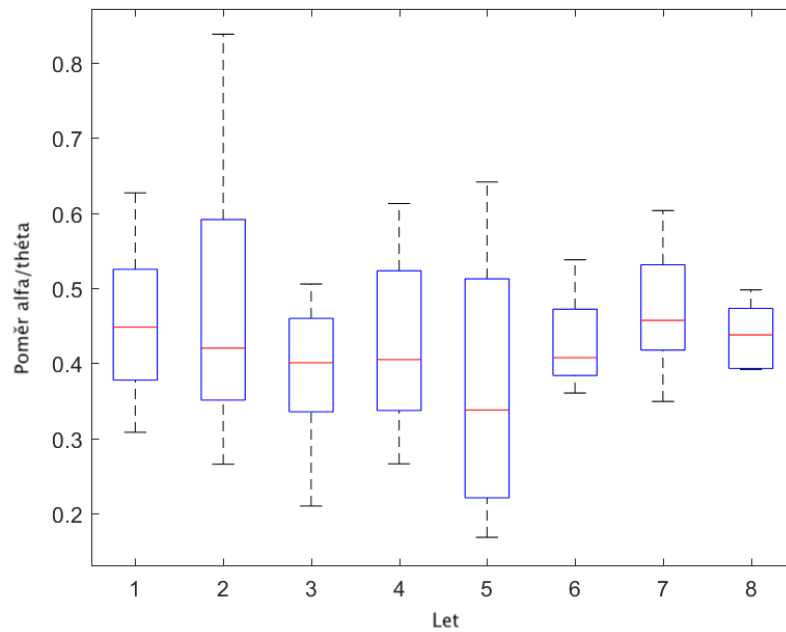
Obrázek 35: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.3 pro druhý přelet



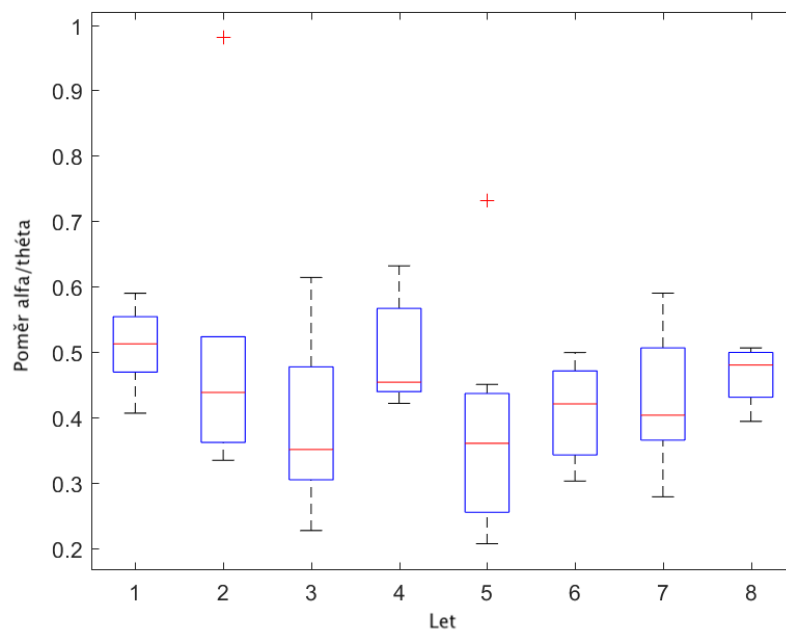
Obrázek 36: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.4 pro první přelet



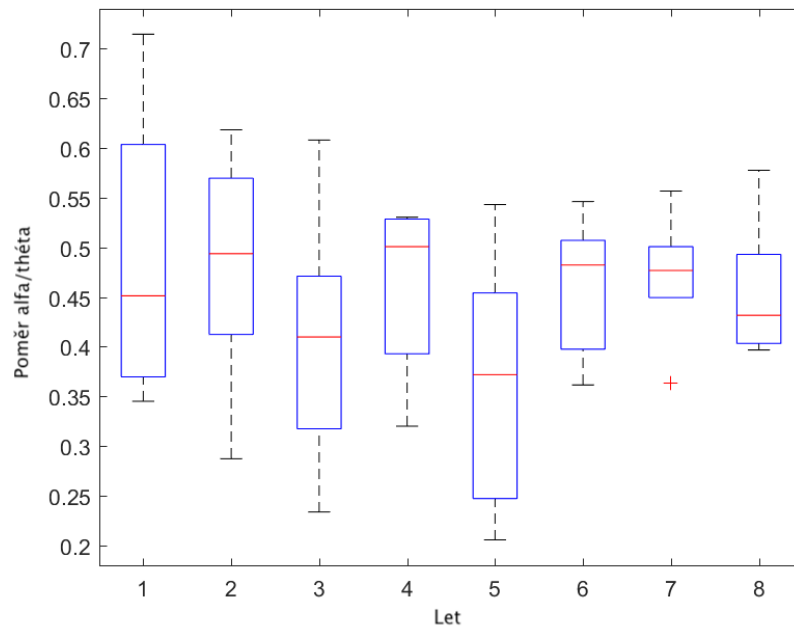
Obrázek 37: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.4 pro druhý přelet



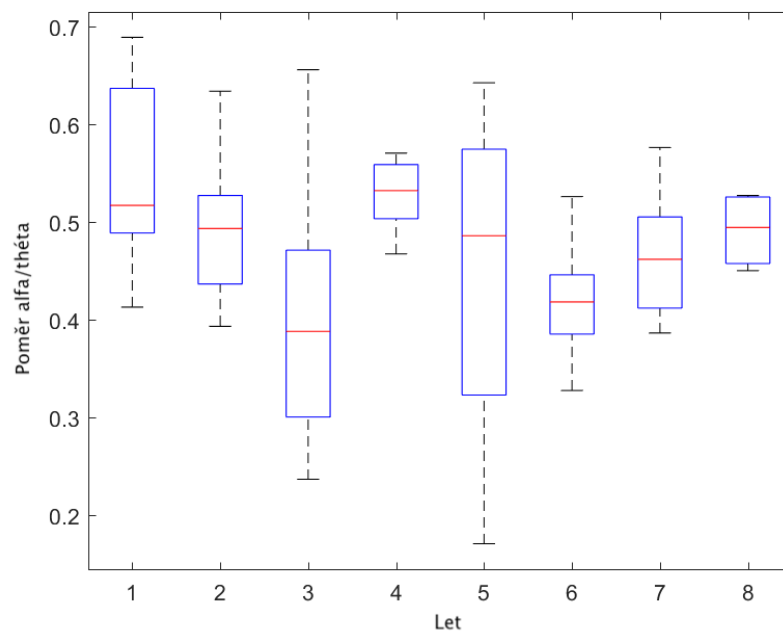
Obrázek 38: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.5 pro první přelet



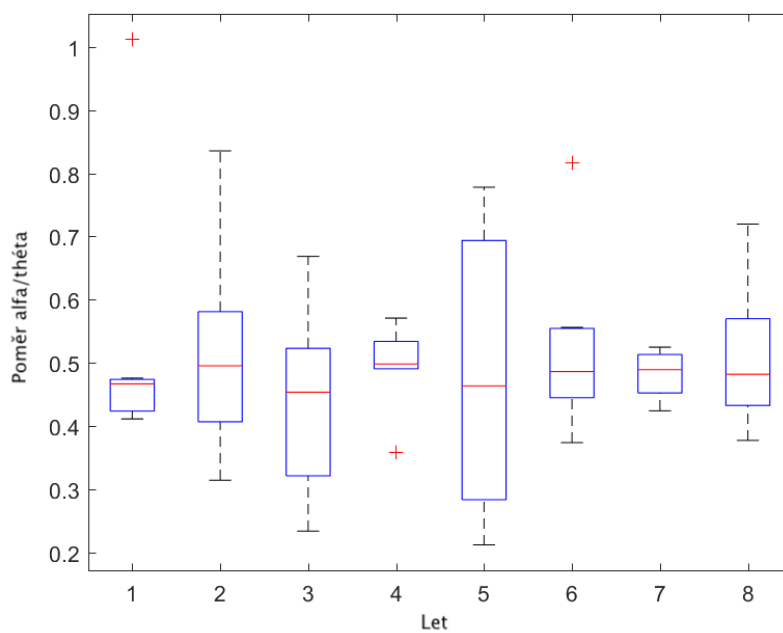
Obrázek 39: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.5 pro druhý přelet



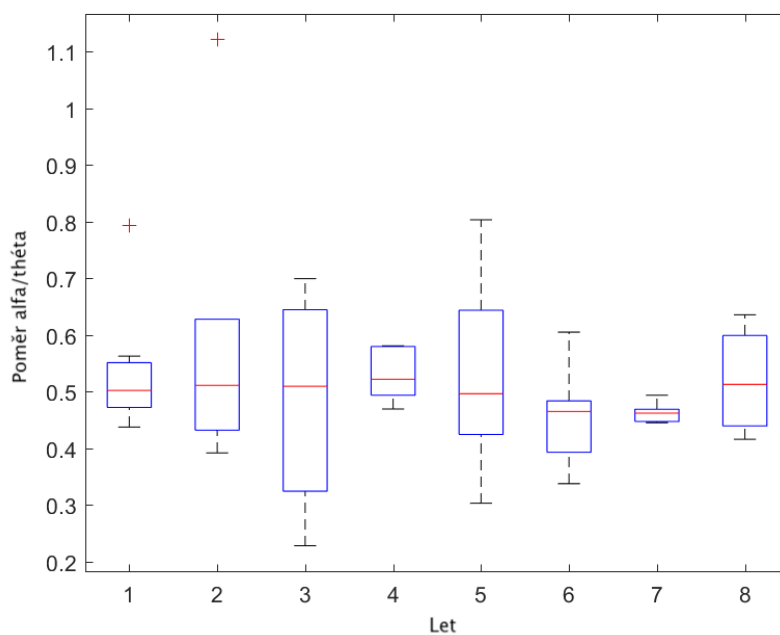
Obrázek 40: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.6 pro první přelet



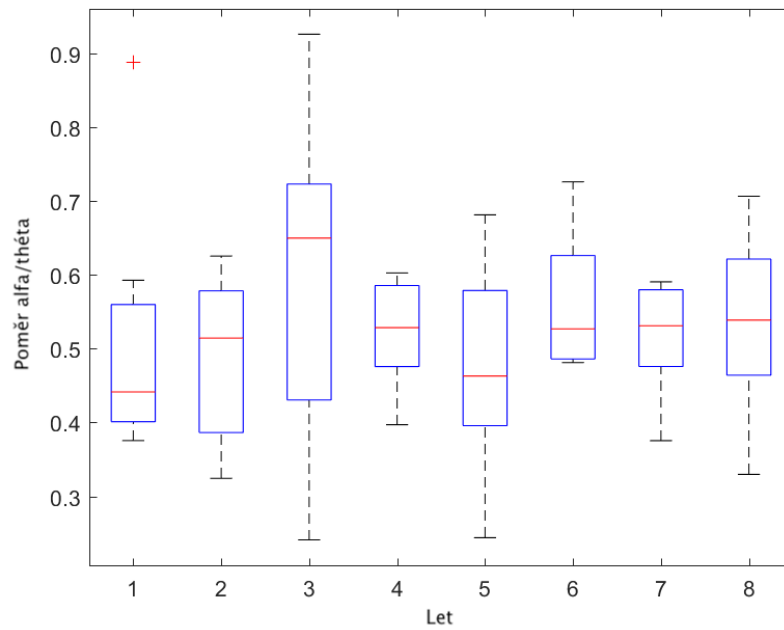
Obrázek 41: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.6 pro druhý přelet



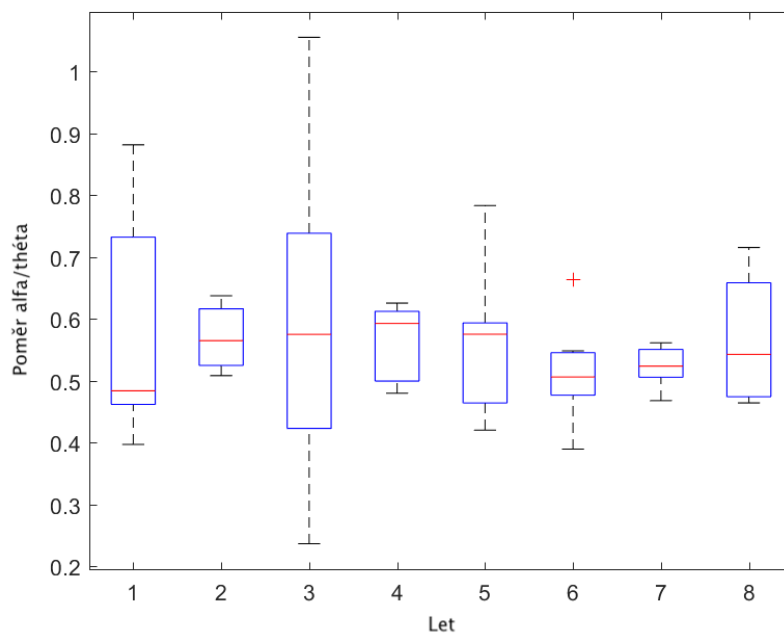
Obrázek 42: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.7 pro první přelet



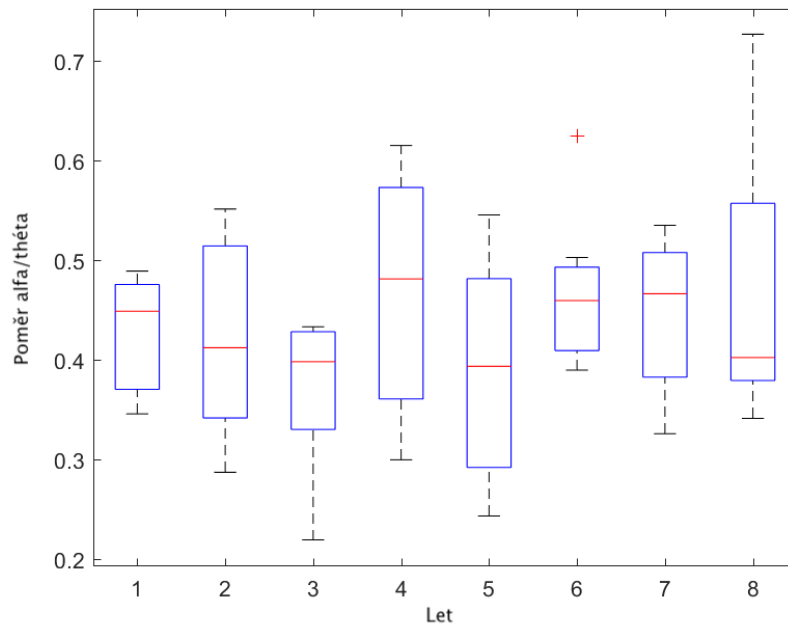
Obrázek 43: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.7 pro druhý přelet



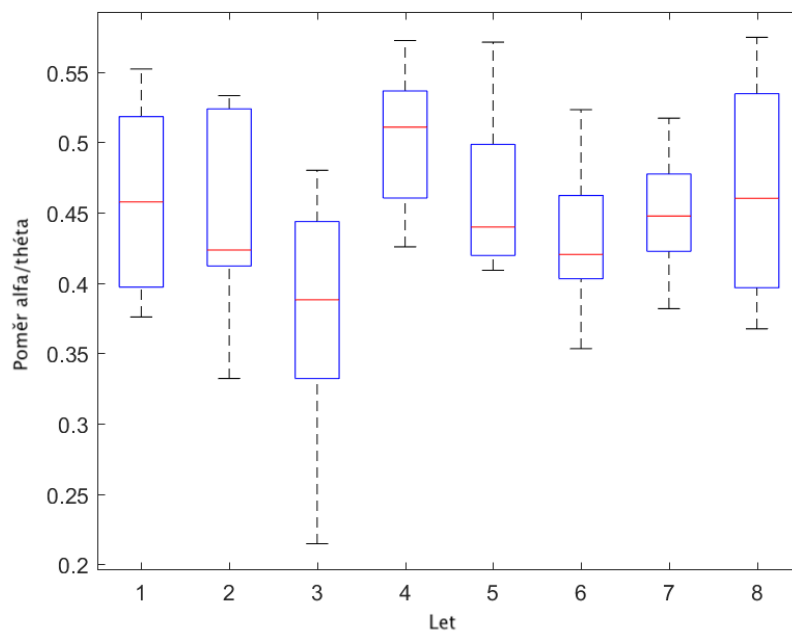
Obrázek 44: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.8 pro první přelet



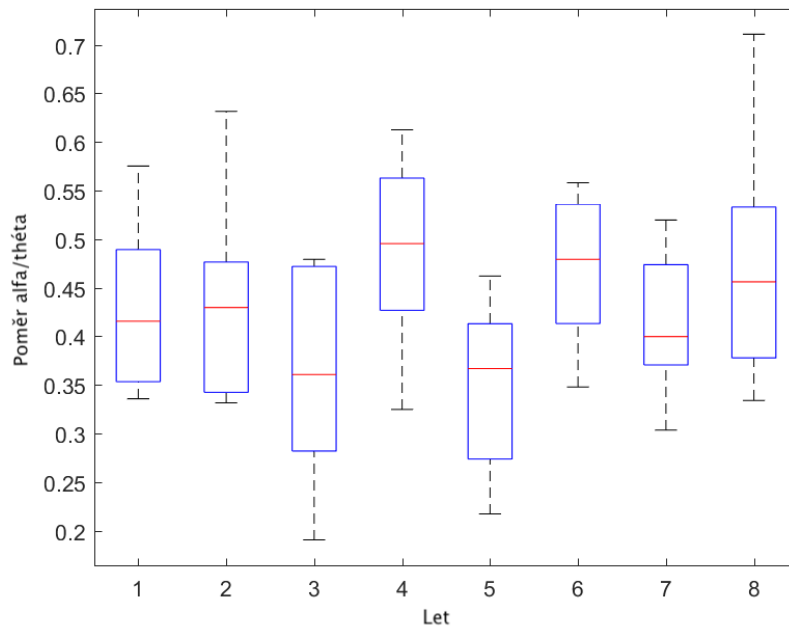
Obrázek 45: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.8 pro druhý přelet



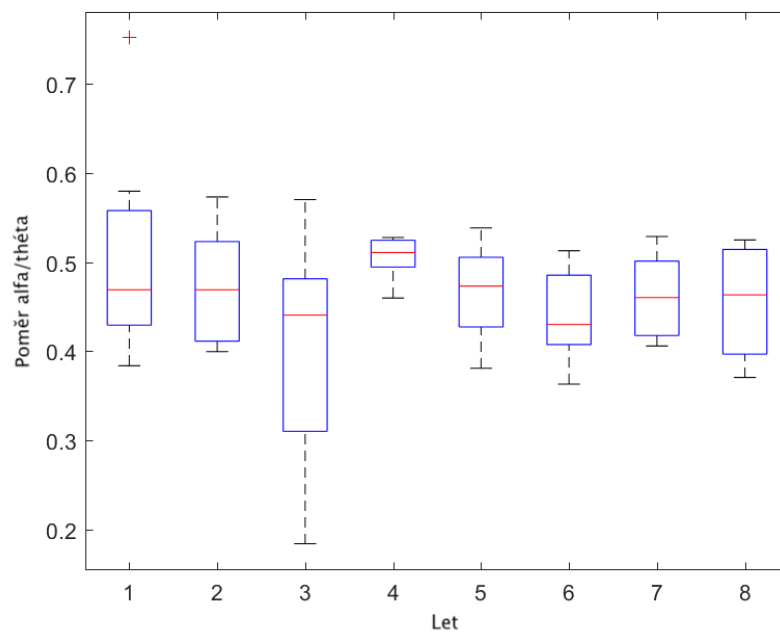
Obrázek 46: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.9 pro první přelet



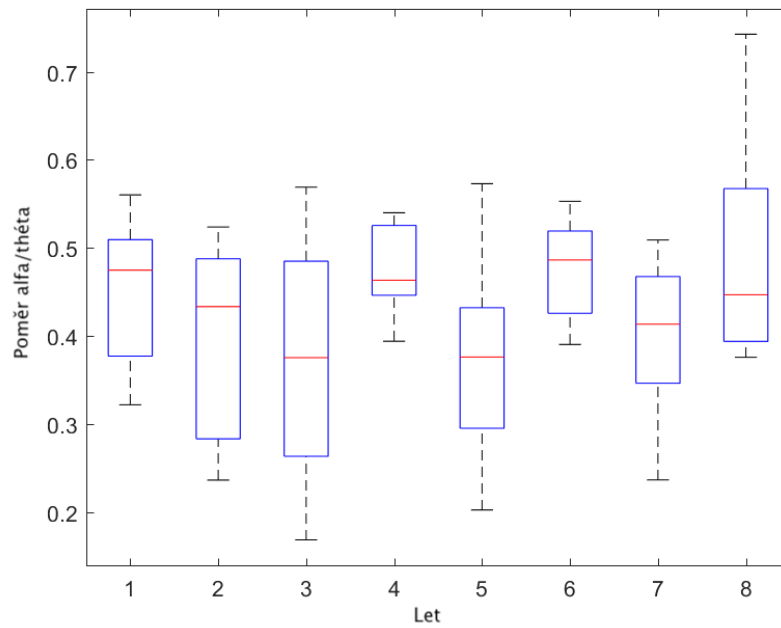
Obrázek 47: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.9 pro druhý přelet



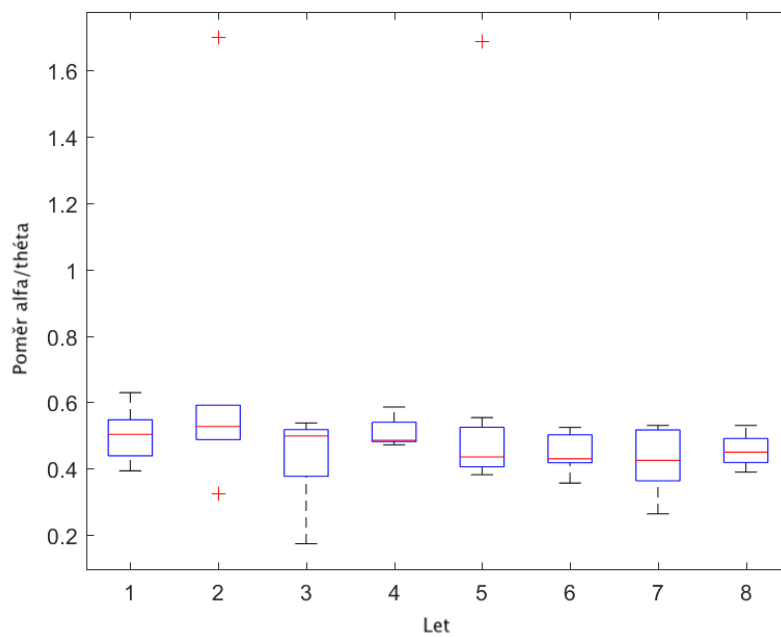
Obrázek 48: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.10 pro první přelet



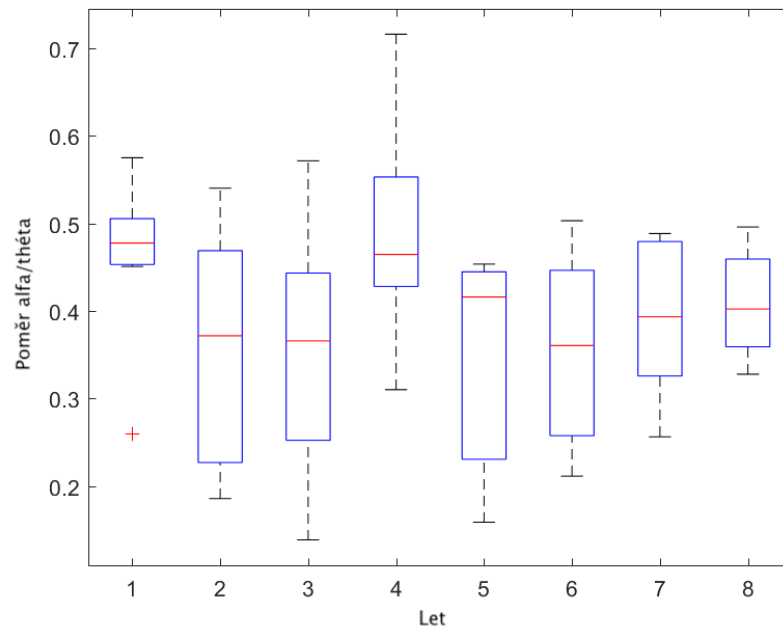
Obrázek 49: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.10 pro druhý přelet



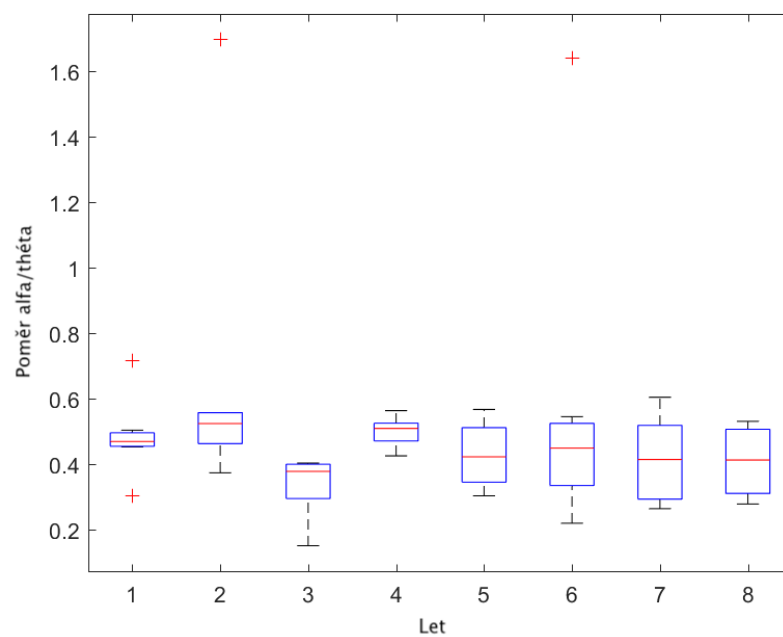
Obrázek 50: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.11 pro první přelet



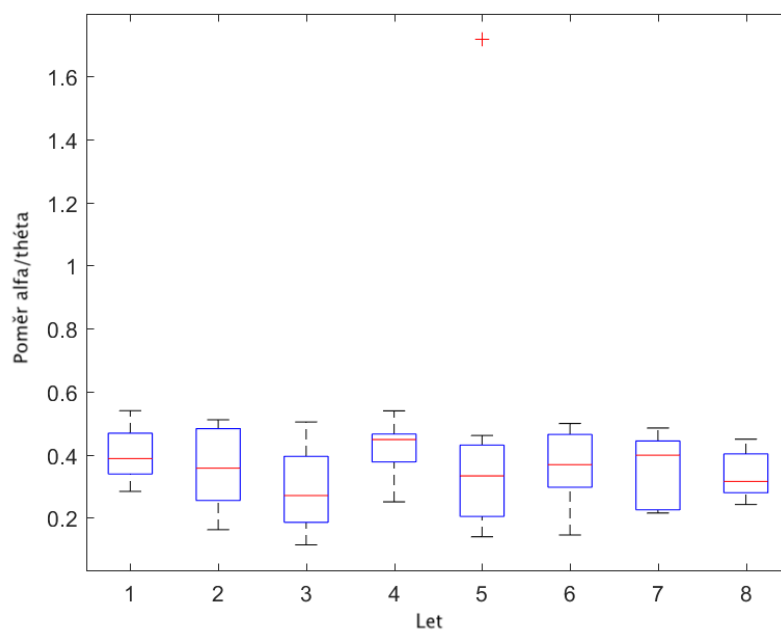
Obrázek 51: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.11 pro druhý přelet



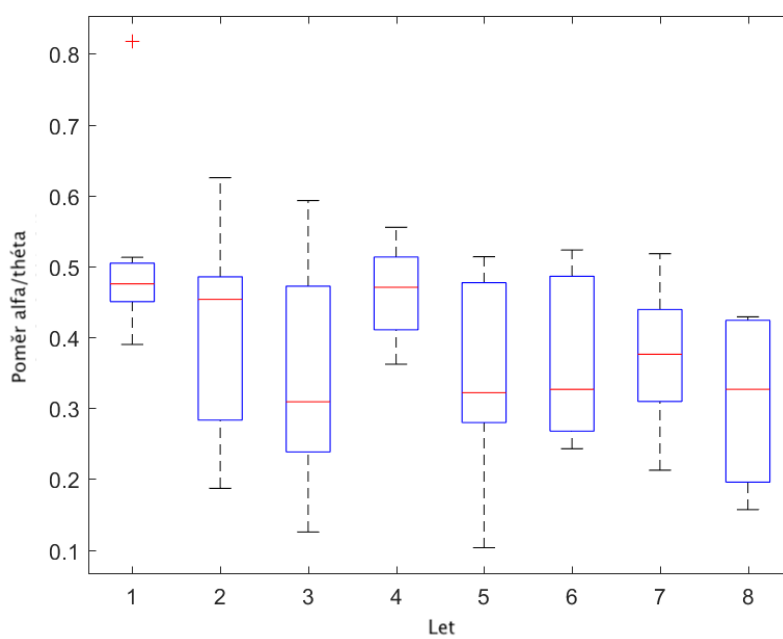
Obrázek 52: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.12 pro první přelet



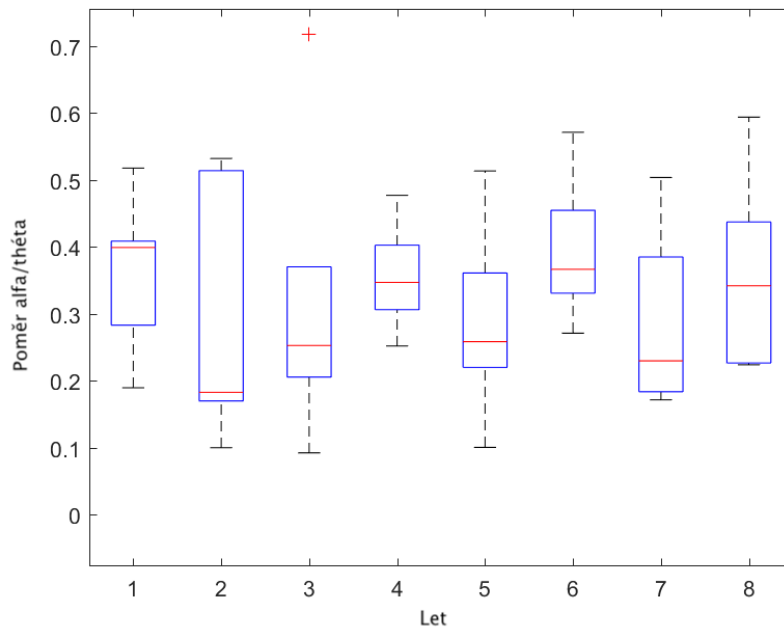
Obrázek 53: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.12 pro druhý přelet



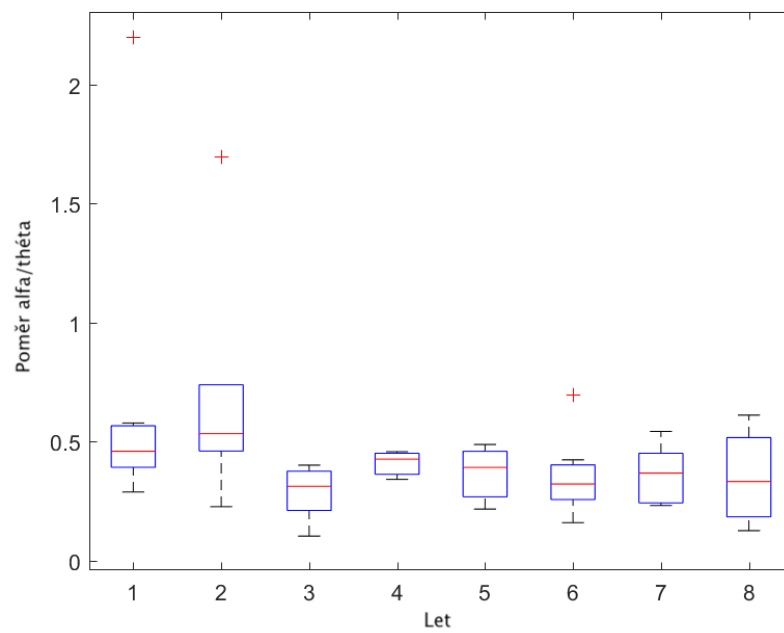
Obrázek 54: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.13 pro první přelet



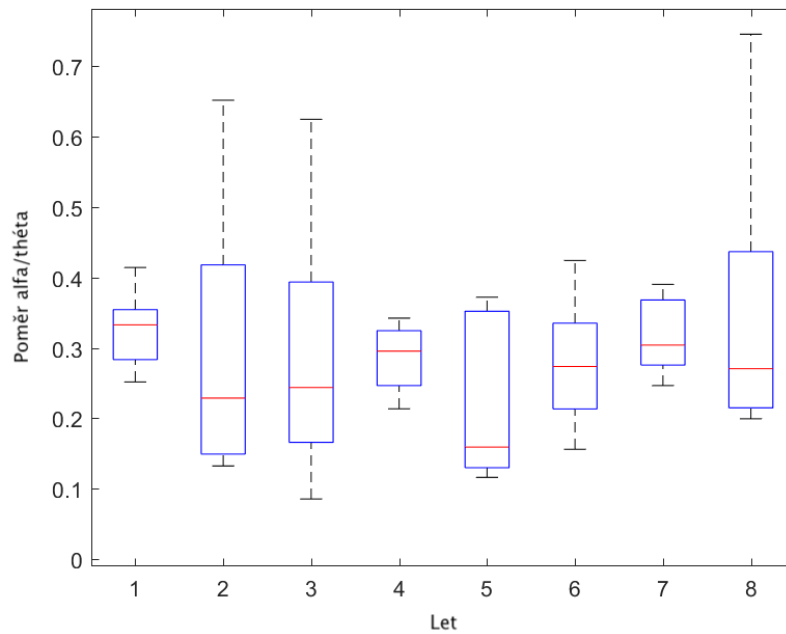
Obrázek 55: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.13 pro druhý přelet



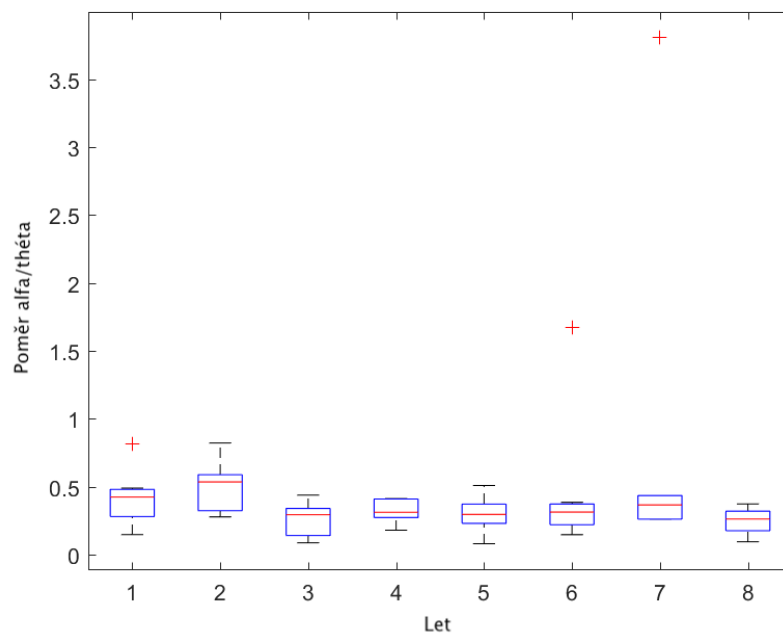
Obrázek 56: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.14 pro první přelet



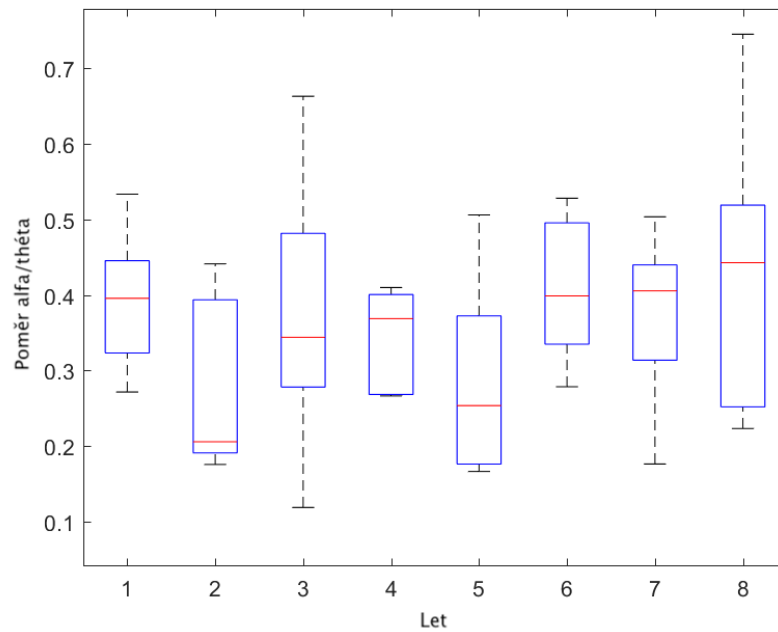
Obrázek 57: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.14 pro druhý přelet



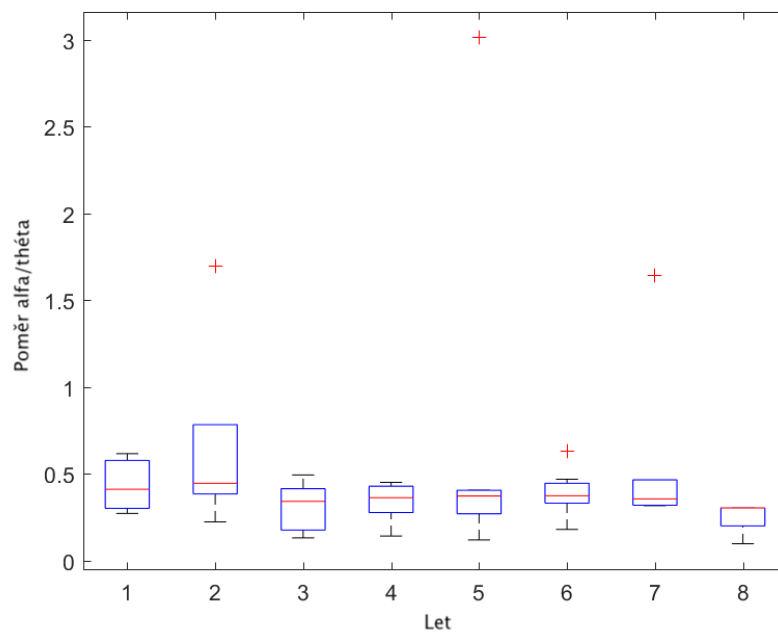
Obrázek 58: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.15 pro první přelet



Obrázek 59: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.15 pro druhý přelet



Obrázek 60: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.16 pro první přelet



Obrázek 61: Boxplot k vyhodnocení EEG. Elektroda č.16 pro druhý přelet