



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

Fakulta dopravní  
Ústav letecké dopravy

**Vliv řízeného odpočinku na psychofyziologický stav pilota**  
**Influence of Controlled Rest on the Psychophysiological State of**  
**the Pilot**

**Bakalářská práce**

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Profesionální pilot

Vedoucí práce: Ing. Lenka Hanáková

**Kirils Nekrasovs**

---

Praha 2024



**K621.....Ústav letecké dopravy**

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Kirils Nekrasovs**

Studijní program (obor/specializace) studenta:

**bakalářský – PIL – Profesionální pilot**

Název tématu (česky): **Vliv řízeného odpočinku na psychofyziologický stav pilota**

Název tématu (anglicky): Influence of Controlled Rest on the Psychophysiological State of the Pilot

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je zhodnotit vliv řízeného odpočinku na psychofyziologický stav pilotů. Práce vychází z předpokladu, že krátký spánek v průběhu nočního letu se projeví na specifických parametrech odrážejících psychofyziologický stav pilota.
- Vykonejte analýzu současného stavu zaměřenou na problematiku krátkého spánku a jeho vliv na psychofyziologický stav člověka, s hlavním zaměřením na letecké prostředí a dále na možnosti sledování psychofyziologického stavu člověka.
- Na základě analýzy současného stavu vyberte vhodné parametry pro sledování psychofyziologického stavu. Navrhněte a realizujte experiment, prostřednictvím něhož bude možné zhodnotit vliv krátkého spánku na psychofyziologický stav člověka.
- Získaná data vyhodnoťte prostřednictvím vhodných metod.
- Výsledky interpretujte a diskutujte.
- Formulujte závěry a limitace práce.



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího práce

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

Seznam odborné literatury: G. F. Wilson, et al. Performance and psychophysiological measures of fatigue effects on aviation related tasks of varying difficulty. (2007). Fatigue Countermeasures Working Group. Controlled Rest on the Flight Deck: A resource for operators. (2018).

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lenka Hanáková, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **5. října 2023**  
(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: **5. srpna 2024**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

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



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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Kirils Nekrasovs  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 5. října 2023



## **Abstrakt**

Lidské faktory velmi ovlivňují bezpečnost letu. Jedním z faktorů je únava pilota, zejména při nočních letech. Tato bakalářská práce zkoumá vliv řízeného odpočinku na psychofyzilogický stav pilotů. Letecký průmysl si uvědomuje důležitost zmírnění rizik spojených s únavou pilotů, protože únava může významně ovlivnit výkonnost, bdělost a celkovou bezpečnost. Řízený odpočinek, který se vztahuje k plánovaným obdobím odpočinku během letů, byl zaveden jako strategie řízení únavy pilotů. Cílem mé práce je ukázat vliv krátkého odpočinku na psychofyzilogický stav pilota. Experiment byl proveden za účasti 10 studentů pilotů. Každý účastník absolvoval dva lety na simulátoru, které trvaly 3 hodiny. Jeden z letů zahrnoval nepřetržitý let, druhý zahrnoval řízený odpočinek. Sběr dat probíhal pomocí elektrokardiografie, která byla po celý let napojena na pilota. Výsledky této práce naznačují, že řízený odpočinek během letu může vést k určitému zlepšení psychofyzilogického stavu pilotů. Výsledky jsou však předběžné a k potvrzení těchto trendů a úplnému pochopení důsledků odpočinku během letů jsou nutné další údaje a další výzkum.

**Klíčová slova:** elektrokardiografie, letectví, psychofyzilogický stav pilota, řízený odpočinek, únava



## **Abstract**

Human factors greatly affect flight safety. One factor is pilot fatigue, especially during night flights. This bachelor thesis investigates the effect of controlled rest on the psychophysiological state of pilots. The aviation industry recognizes the importance of mitigating the risks associated with pilot fatigue, as fatigue can significantly affect performance, alertness, and overall safety. Controlled rest, which refers to scheduled periods of rest during flights, has been introduced as a strategy to manage pilot fatigue. The aim of this work is to show the effect of short rest periods on the psychophysiological state of the pilot. The experiment was conducted with the participation of 10 student pilots. Each participant completed two flights in a simulator that lasted 3 hours. One of the flights involved continuous flight, while the other included a short rest. Data collection was performed using an electrocardiograph that was connected to the pilot throughout the flight. The results of this work suggest that controlled rest during flight may lead to some improvement in the pilots' psychophysiological state. However, the results are preliminary, and further data and research are needed to confirm these trends and to fully understand the implications of rest during flights.

**Keywords:** aviation, controlled rest, electrocardiography, fatigue, psychophysiological state of the pilot



## **Poděkování**

Chci poděkovat vedoucí mé práce Ing. Lence Hanákové za pomoc a rady k bakalářské práci, stejně jako za pomoc poskytnutou při psaní a během experimentů. Tato práce by nevznikla bez mých spolužáků, kteří pomohli experiment zorganizovat a zároveň se na něm podíleli. Zvláštní poděkování patří mé rodině, bez které bych nemohl být tam, kde jsem teď.



### Čestné prohlášení

„Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).“ (pokud nebyla tato závěrečná práce zadána jako utajená dle čl. 15 odst. 11 aktuální Směrnice děkana pro realizaci bakalářských a magisterských studijních programů) „Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval(a) samostatně a uvedl(a) veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací a Rámcovými pravidly používání umělé inteligence na ČVUT pro studijní a pedagogické účely v Bc. a NM studiu“.

V Praze dne 4. srpna 2024

.....  
  
Podpis



<b>Úvod</b> .....	<b>12</b>
<b>1. Teoretické základy práce</b> .....	<b>13</b>
1.1 Únava .....	13
1.2 Spánek.....	14
1.3 Typy Spánku .....	15
1.4 Non-REM (Non-Rapid Eye Movement) .....	15
1.5 REM (rapid Eye Movement) .....	16
1.6 Cyklus Non-REM/REM fáze .....	17
1.7 Cirkadiální ritmus.....	17
1.8 Řízený odpočinek.....	19
1.9 Elektrokardiografie .....	21
1.10 Variabilita srdečního rytmu .....	22
1.11 Analýza v časové oblasti .....	23
1.12 Analýza ve frekvenční oblasti .....	25
1.13 Současný stav .....	26
<b>2. Praktická část</b> .....	<b>30</b>
2.1 Experiment.....	30
2.2 Zařízení.....	32
2.3 Zpracování dat .....	32
<b>3. Presentace výsledků</b> .....	<b>34</b>
<b>4. Diskuze výsledků</b> .....	<b>45</b>
<b>5. Závěr</b> .....	<b>48</b>
<b>Seznam použité literatury</b> .....	<b>50</b>
<b>Příloha 1: Vyjádření komise pro etiku ve výzkumu</b> .....	<b>54</b>





## Seznam obrázků

Obrázek 1: Cyklus spánkových fází.....	16
Obrázek 2: EKG srdce v normálním sinusovém rytmu.....	21
Obrázek 3. Flowchart výběru studie pro metaanalýzu řízeného odpočinku.....	28
Obrázek 4. VLV Lab zařízení.....	33
Obrázek 5: Znázornění parametru meanNN pomocí boxplotů.....	35
Obrázek 6: Znázornění parametru SDNN pomocí boxplotů.....	36
Obrázek 7: Znázornění parametru RMSSD pomocí boxplotů.....	37
Obrázek 8: Znázornění parametru SDHR pomocí boxplotů.....	37
Obrázek 9: Znázornění parametru HRmax-HRmin pomocí boxplotů.....	38
Obrázek 10: Znázornění parametru HRmin pomocí boxplotů.....	39
Obrázek 11: Znázornění parametru HRmax pomocí boxplotů.....	39
Obrázek 12: Znázornění parametru NN50 pomocí boxplotů.....	40
Obrázek 13: Znázornění parametru pNN50 pomocí boxplotů.....	41
Obrázek 14: Znázornění parametru VLF pomocí boxplotů.....	43
Obrázek 15: Znázornění parametru Total power pomocí boxplotů.....	43
Obrázek 16: Znázornění parametru LF/HF pomocí boxplotů.....	44
Obrázek 17: Znázornění parametru nULF pomocí boxplotů.....	45



---

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Parametry analýzy v časové oblasti. ....	23
Tabulka 2: Parametry analýzy ve frekvenční oblasti. ....	25



## Seznam symbolů a zkratek

ANOVA	Analysis of variance
ANS	Autonomic Nervous System
ATC	Air Traffic Control
ATIS	Automatic Terminal Information Service
ATPL(A)	Airline Transport Pilot License (Airplanes)
BMP	Beats Per Minute
CCIC	Cabin Crew In Charge
ČVUT	České vysoké učení technické v Praze
EDDH	Hamburg
EDDM	Mnichov
EKCH	Kodaň
EKG	Elektrokardiografie
ETA	Estimate Time of AR-Rival
FAA	Federal Aviation Administration
FOB	Fuel on Board
HF	High Frequency
HR	Heart Rate
HRV	Heart Rate Variability
ILS	Instrument Landing System
LF	Low Frequency
LF SB	Basilej-Mylhúzy-Freiburg
max	Maximum
OFP	Operational flight plan
PF	Pilot Flying
PNS	Parasympatický nervový systém
PM	Pilot Monitoring
PRISMA	Prefer-Red Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
QNH	Atmospheric pressure
REM	Rapid Eye Movement
RWY	Runway
SID	Standard Instrument Departure
SNS	Sympathetic Nervous System
STAR	Standard Instrument AR-Rival
TOC	Top of Climb



TOD	Top of Descent
ULF	Ultra Low Frequency
VLf	Very Low Frequency
VST	Variabilita Srdeční Tepu
WOCL	Window of Circadian Low



## Úvod

Únavě čelíme každý den – v každodenním životě, v práci, ve volném čase – a bere nám veškerou energii. Ovlivňuje zejména práci, protože snižuje produktivitu, pozornost a uvědomování si činností. V letectví je tato problematika důležitá, protože bezpečnost letu závisí na rozhodnutích pilota. Události související s únavou v letectví představují významné riziko pro bezpečnost a pohodu pilotů, cestujících a leteckého provozu jako celku. Náročná povaha práce v letectví, která se vyznačuje nepravidelným rozvrhem, dlouhou dobou služby a delšími obdobími bdělosti, může vést ke kumulativní únavě a zhoršovat výkonnost pilotů. Studie prokázaly, že únava zhoršuje bdělost, pozornost, rozhodovací schopnosti a kognitivní funkce, čímž zvyšuje pravděpodobnost chyb a nehod.

Lidské faktory představují jeden z hlavních problémů v oblasti bezpečnosti letů, neboť statisticky patří mezi klíčové příčiny leteckých nehod. Ze své zkušenosti mohou říci, že únava má velký vliv na výkonnost pilota, protože při řízení letadla se člověk musí soustředit na mnoho věcí a je také ve stresu, což negativně ovlivňuje rozhodování pilota. Vzhledem k tomu, že si letecký průmysl uvědomuje zásadní význam zvládnutí únavy pilotů, zavedl různé strategie a předpisy, které mají zmírnit rizika spojená s únavou. Jednou z takových strategií je řízený odpočinek, který zahrnuje plánovaná období odpočinku během letů. Cílem řízeného odpočinku je poskytnout pilotům možnost zotavit se a zmírnit negativní účinky únavy, a tím zvýšit jejich celkovou výkonnost a bezpečnost.

Řízený odpočinek musí být pečlivě naplánován, protože po spánku člověk potřebuje určitý čas na úplné probuzení a dosažení optimální úrovně výkonnosti. Řízený odpočinek by proto měl probíhat během nekritických fází letu. Cílem této práce je zjistit, zda má řízený odpočinek vliv na psychofyziologický stav pilota, či nikoliv.



## 1. Teoretické základy práce

Vzhledem k tomu, že téma je poměrně složité, je třeba se před experimentální částí lépe seznámit s únavou, spánkem, jeho mechanismy, souvislostmi s psychofyziologickým stavem člověka, jak souvisí cirkadiánní rytmus s tímto problémem a jak měřit a jaké faktory ovlivňují psychofyziologický stav pilota.

### 1.1 Únava

Únava je v leteckém průmyslu všudypřítomným problémem, který významně ovlivňuje výkonnost, bezpečnost a pohodu pilotů. Pochopení podstaty a důsledků únavy má zásadní význam pro její účinné zvládnutí a zajištění optimálního fungování pilotů. Nejprve bylo třeba pochopit, co je únava. Jelikož téma práce souvisí s letectvím, bude definice únavy použita z leteckých předpisů, a to z předpisu L6 Provoz letadel. "Únava (Fatigue) - fyziologický stav snížené duševní nebo fyzické způsobilosti vykonávat své povinnosti, vyplývající z úbytku spánku, delší nespavosti, denní fáze a/nebo pracovního zatížení (duševní a/nebo tělesné aktivity), který může narušit lidskou bdělost a schopnost vykonávat pracovní povinnosti související s bezpečností" [1].

Z této definice je zřejmé, že únava je fyziologický stav, který ovlivňuje fyzické schopnosti člověka. Spánek a jeho kvalita ovlivňují únavu, vliv má také nespavost na cirkadiánní rytmus a únava ovlivňuje bezpečnost provádění letu. Tyto faktory jsou důležité, protože mají jeden z nejsilnějších účinků v noci.

Incidenty související s únavou jsou v leteckém průmyslu stále největším problémem. Četné studie upozorňují na vysoký výskyt únavy mezi piloty, což ukazuje na potřebu účinných strategií řízení únavy. Například studie provedená Caldwellem a jeho kolegy zkoumala prevalenci únavy mezi piloty komerčních leteckých společností. Bylo zjištěno, že 54 % pilotů pociťuje významné příznaky únavy alespoň jednou týdně, přičemž 12 % z nich uvádí tyto příznaky denně [2]. Tyto statistiky podtrhují význam řešení únavy v leteckém provozu.

Únava v letectví může být způsobena řadou faktorů. Jedním z významných faktorů je narušení spánku způsobené nepravidelným pracovním rozvrhem, dlouhou pracovní dobou a změnami časových pásem.

Nedostatek spánku a narušení cirkadiánního rytmu mohou vést ke snížení bdělosti a zhoršení kognitivních funkcí. K únavě pilotů navíc přispívají faktory, jako jsou nároky na pracovní zátěž,



prostředí s vysokým tlakem a delší doba bdělosti [2]. Fyziologické a psychologické nároky spojené s létáním, jako je udržování bdělosti a přijímání kritických rozhodnutí, mohou únavu dále prohlubovat [2].

V literatuře jsou dobře zdokumentovány účinky únavy na výkonnost a bezpečnost pilotů. Únava zhoršuje několik kognitivních funkcí, včetně pozornosti, paměti a rozhodování. Studie Powella et al. zkoumala vliv únavy na výkonnost pilota během simulovaného letu. Výsledky ukázaly, že únava významně zhoršuje schopnost pilotů udržet pozornost a činit přesná rozhodnutí, což zvyšuje riziko chyb a nehod [3].

Únava může navíc negativně ovlivnit psychofyziologický stav a celkovou pohodu pilotů. Chronická únava je spojena se zvýšenou úrovní stresu a sníženou subjektivní pohodou pilotů [4]. Škodlivé účinky únavy na duševní zdraví a kvalitu života pilotů podtrhují význam zavádění účinných strategií řízení únavy.

Vzhledem k tomu, že spojení mezi autonomním nervovým systémem a srdečními rytmy bylo objeveno již dávno, je možné měřit stav únavy pomocí signálů elektrokardiografie nebo EKG [5].

Únava často pramení z nedostatečného spánku, který je rozhodujícím faktorem celkové výkonnosti a pohody. Vzhledem k tomu, že nároky spojené s létáním únavu prohlubují, stává se role spánku při zmírňování jejích účinků ještě důležitější. Pochopení vztahu mezi únavou a spánkem je zásadní pro vývoj strategií pro zvýšení bdělosti a bezpečnosti v leteckém prostředí.

## 1.2 Spánek

Spánek je jednou ze základních lidských potřeb, bez které se nikdo neobejde. Úzce souvisí s únavou, protože je jedním z hlavních způsobů, jak s únavou bojovat. Na spánek a jeho kvalitu má vliv mnoho různých faktorů – hladina hluku, světlo, doba začátku spánku, doba probuzení, v jaké fázi spánku se člověk probouzí, teplota prostředí a to se liší u každého člověka. Spánek hraje zásadní roli pro pohodu a výkonnost pilotů v leteckém průmyslu. Pochopení vlivu spánku na psychofyziologický stav pilotů je zásadní pro účinné zvládnutí únavy a bezpečný letový provoz [2].

Spánek je základní biologický proces, který podporuje tělesnou a duševní regeneraci. V kontextu letectví je přiměřený a kvalitní spánek pro piloty zásadní pro udržení optimálních kognitivních funkcí, bdělosti a rozhodování [30].



Ztráta a poruchy spánku mohou vést k únavě, zhoršovat pozornost, reakční dobu a paměť a zvyšovat riziko chyb a nehod [6]. Pochopení spánkových vzorců pilotů a problémů spojených se spánkem je proto zásadní pro zmírnění rizik spojených s únavou.

Piloti se často potýkají se specifickými problémy se spánkem kvůli nepravidelnému pracovnímu rozvrhu, dlouhé pracovní době a překračování několika časových pásem. Tyto faktory narušují přirozený cyklus spánku a bdění, což ztěžuje dostatečný a regenerační spánek. Studie Signal zkoumala spánkový režim komerčních pilotů a zjistila, že se u nich často vyskytuje krátká doba spánku, nepravidelný spánkový režim a špatná kvalita spánku. Tyto spánkové vzorce mohou přispívat ke kumulativní únavě a ovlivňovat psychofyziologický stav pilotů během letových operací [7].

Bylo prokázáno, že nedostatek spánku významně ovlivňuje výkonnost pilotů a bezpečnost. Spánková deprivace a poruchy spánku jsou spojeny se zvýšeným výpadkem pozornosti, sníženou kognitivní výkonností a zhoršeným rozhodováním pilotů [8]. Kromě toho může ztráta spánku zhoršovat bdělost a ostražitost, což činí piloty náchylnějšími k chybám, nehodám a téměř nehodám [6]. Kumulativní účinky nedostatku spánku mohou nepříznivě ovlivnit psychofyziologický stav pilotů, což vede ke zvýšení hladiny stresu, zhoršení pohody a snížení celkového pracovního výkonu.

Aby bylo možné lépe pochopit, co je spánek, bylo nutné porozumět tomu, jak funguje. Na základě dokumentu Doc 9966 Manuál pro dohled nad přístupy zvládnutí únavy existují dva typy spánku – Non-REM (Non-Rapid Eye Movement) a REM (Rapid Eye Movement). Tyto výsledky byly získány sledováním mozkové aktivity, pohybu očí a svalového tonusu [9].

### **1.3 Typy Spánku**

Během spánku člověk prochází dvěma fázemi – Non-REM a REM, které se během noci několikrát opakují, tedy procházejí cykly. Dále bude podrobněji popsána práce těchto fází a jejich cyklus.

#### **1.4 Non-REM (Non-Rapid Eye Movement)**

Během Non-REM fáze je mozková aktivita mnohem nižší ve srovnání s bdělým mozkem. Během této fáze dochází k regeneraci těla – budování svalů a opravě poškozených tkání.





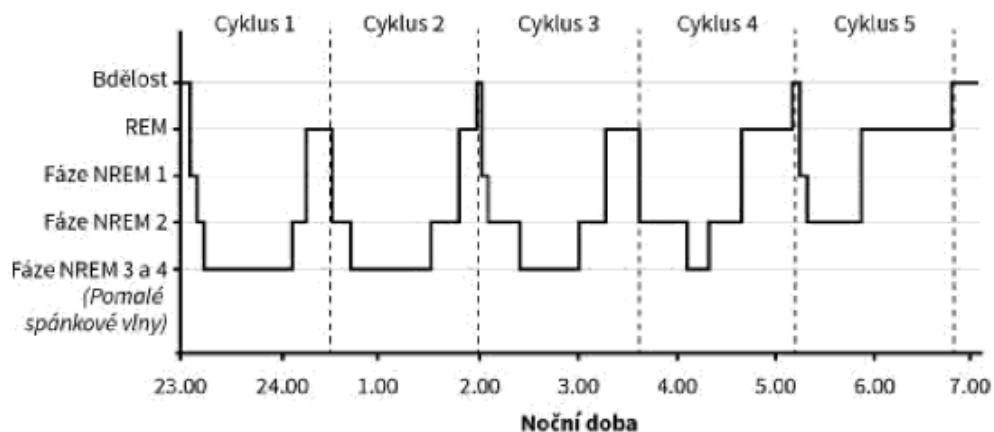
Tato fáze spánku zabírá v průměru 3/4 spánku dospělého člověka. Non-REM fáze lze také rozdělit na další tři fáze, které se liší mozkovou aktivitou. První a druhá fáze jsou podobné a v těchto fázích člověk usíná. Charakteristickým rysem prvních dvou fází od třetí je, že v prvních dvou je snadné člověka probudit, a nazývají se „lehký spánek“. Třetí fáze se nazývá „hluboký spánek“. V této fázi mozek přestává vnímat informace z vnějšího světa. Čím aktivnější a náročnější den člověk měl, tím déle bude třetí fáze Non-REM trvat [9].

### **1.5 REM (rapid Eye Movement)**

Na rozdíl od Non-REM fáze je v REM fázi mozková aktivita více podobná aktivitě bdělého mozku. Podle názvu této fáze spánku lze usuzovat, že se během ní začínají pohybovat oči spícího člověka, dochází k lehkým svalovým záškubům a nepravidelnému rytmu srdce a dýchání. U typického dospělého zabírá tato fáze přibližně 1/4 veškerého spánku. Na rozdíl od předchozí fáze se v této části spánku obnovuje mozek a ukládají se informace. Během REM fáze lidé sní a také dochází k bloádě signálů vstupujících do svalů, aby nedošlo k jejich poškození během snění. Proto se člověk po probuzení v této fázi může cítit slabý nebo mírně paralyzovaný [9].

## 1.6 Cyklus Non-REM/REM fáze

Během normálního spánku má člověk několik cyklů Non-REM a REM fází, jejichž délka je přibližně 90 minut, ale může se lišit individuálně. Na obrázku 1 je zobrazen graf spánku dospělých, avšak ve skutečnosti bude graf vypadat jinak, protože ukazuje rychlé změny ve spánkových fázích a nezahrnuje fáze probuzení. Na vodorovné ose je uveden čas, na svislé ose fáze spánku.



Obrázek 1: Cykly spánkových fází [31]

Konec spánku obvykle končí fází REM. Na konci diagramu je naznačeno, že se člověk probudil během fáze REM. To znamená, že s vysokou pravděpodobností si spící sen zapamatoval [9].

## 1.7 Cirkadiální rytmus

Cirkadiální rytmus je cyklické kolísání různých biologických procesů, které úzce souvisí se změnou dne a noci a trvá přibližně 24 hodin. Cirkadiální rytmus je zodpovědný za mnoho procesů v těle, přičemž klíčovou funkcí je regulace bdělosti a spánku. Během cirkadiálního rytmu se mění mozková aktivita, produkce hormonů, obnova buněk a další biologické procesy [10].

Regulaci tohoto procesu v lidském těle zajišťuje část mozku nazývaná hypotalamus. Pro správnou činnost tohoto orgánu jsou v lidském oku přítomny speciální buňky, které reagují na světlo a přenášejí informace do hypotalamu, který pak reguluje cirkadiální rytmus a produkci melatoninu. Melatonin je hormon, který pomáhá tělu určit, ve které fázi cirkadiálního cyklu se osoba nachází [32].



Ve dne je hladina melatoninu nízká nebo minimální, zatímco v noci dosahuje maximálních hodnot [11].

Během průměrného 24hodinového cirkadiálního cyklu má člověk tzv. "okno sníženého cirkadiálního rytmu" (Window of Circadian Low, WOCL). Toto okno se měří podle místního času, kde daný člověk žije. Existují dva typy: primární, který začíná mezi 2. a 6. hodinou ranní, a sekundární, který je mezi 15. a 17. hodinou odpolední. Během této doby se člověk může cítit unavený a méně produktivní, protože tělo potřebuje spánek [12].

Cirkadiální rytmus, vnitřní biologické hodiny, hraje zásadní roli v psychofyzilogickém stavu pilotů v leteckém průmyslu. Pochopení vlivu cirkadiálního rytmu na výkonnost a pohodu pilotů je nezbytné pro zavedení účinných strategií řízení únavy. V letectví je pro piloty klíčové udržovat stabilní cirkadiální rytmus, aby optimalizovali bdělost, kognitivní výkonnost a celkovou pohodu. Narušení cirkadiálního rytmu, jako jsou nepravidelné pracovní rozvrhy a přechody mezi časovými pásmy, mohou vést k desynchronizaci a negativně ovlivnit pohodu, což může mít vliv na schopnost pilotů vykonávat svou práci [7]. Pochopení účinků narušení cirkadiálního rytmu je zásadní pro vývoj účinných strategií ke zmírnění rizik spojených s únavou.

Práce na směny, která je v letectví běžná, zahrnuje nepravidelné pracovní rozvrhy, které vyžadují, aby piloti byli vzhůru a vykonávali povinnosti v době, která je obvykle spojena se spánkem. Tyto nepravidelné rozvrhy mohou narušit přirozenou synchronizaci mezi vnitřními cirkadiálními hodinami a vnějšími časovými signály. Studie Van Dongena zkoumala účinky práce na směny na spánek a kognitivní výkonnost pilotů. Výsledky ukázaly, že nepravidelné pracovní rozvrhy a noční směny vedou u pilotů ke snížené kvalitě spánku, zvýšené ospalosti a zhoršení kognitivních funkcí. Tyto cirkadiální poruchy mohou přispívat k únavě a ohrožovat výkonnost pilota a jeho bezpečnou práci [13].

Narušení cirkadiálního rytmu může mít významný dopad na výkonnost a bezpečnost pilotů. Desynchronizace cirkadiálních rytmů může vést ke zvýšené ospalosti, snížené bdělosti a zhoršení kognitivních funkcí během kritických letových operací [14]. Tyto účinky mohou ovlivnit rozhodovací schopnosti pilotů, reakční dobu a situační povědomí, což zvyšuje riziko chyb a nehod. Kromě toho může narušení cirkadiálního rytmu ovlivnit také celkovou pohodu pilotů, což vede ke zvýšení úrovně stresu a snížení kvality života [15].



## 1.8 Řízený odpočinek

Řízený odpočinek v pilotní kabině je účinným nástrojem ke zmírnění únavy letových posádek. Tento přístup umožňuje zvládat nevyhnutelnou nadměrnou únavu během letu pomocí krátkých zdřímnutí jednoho pilota během období nízké pracovní zátěže, kdy sedí u řízení letadla. Zbývající pilot přebírá současně role pilota řídicího (PF) a pilota monitorujícího (PM), přičemž monitoruje letadlo a jeho systémy. Pochopení účinků řízeného odpočinku na psychofyzilogický stav pilotů je klíčové pro vývoj strategií zmírňování únavy založených na důkazech.

Řádný odpočinek a správné postupy rozpisu jsou zásadní, a řízený odpočinek se nesmí používat jako plánovací nástroj. Nenahrazuje řádný předletový spánek, ale je určen jako reakce na neočekávanou únavu během provozu [42]. Stručně řečeno, řízený odpočinek není prostředkem k odložení služby nebo prodloužení doby letové služby. Není určen ke snížení spánkového dluhu, spíše je to možnost, pokud by únava přemohla jinak odpočatou a připravenou posádku. Řízený odpočinek je dalším prvkem v programu zvládnání únavy a měl by být používán s dalšími protipatřeními na zvládnání únavy na palubě, jako jsou fyzické cvičení, jasné osvětlení kokpitu ve vhodnou dobu, vyvážené jídlo, konzumace tekutin a intelektuální aktivita [42]. Dřímání má příznivý vliv na výkon a může být nejúčinnějším protipatřením proti únavě při práci. Zdřímnutí pouhých 25 minut může zlepšit výkon na hodiny [43].

Řízený odpočinek by měl být použit v letovém sektoru trvajícím 3 hodiny nebo více, musí být použit během období nízké pracovní zátěže při cestovním letu, kdy jsou povětrnostní podmínky příznivé a není vyžadována odchylka související s počasím. Odpočinek musí začít po dokončení fáze Top of Climb (TOC) a být ukončen 30 minut před plánovaným Top of Descent (TOD). Nesmí být delší než 40 minut, s dalšími 20 minutami pro provozní orientaci před obnovením služeb v pilotním prostoru; těchto 20 minut může být součástí 30 minut před TOD [44]. Před zahájením řízeného odpočinku je třeba poskytnout krátký čas na přípravu odpočinku (přibližně 5 minut). To by mělo zahrnovat provozní instruktáž (briefing), ukončení probíhajících úkolů a pozornost věnovanou jakýmkoliv fyziologickým potřebám kterékoliho člena posádky.

Během řízeného odpočinku musí neodpočívající pilot plnit povinnosti PF a PM, být schopen neustále ovládat letoun a udržovat si plné situační povědomí o svém okolí. Neodpočívající pilot nemůže z jakéhokoli důvodu opustit své sedadlo, včetně fyziologických přestávek.



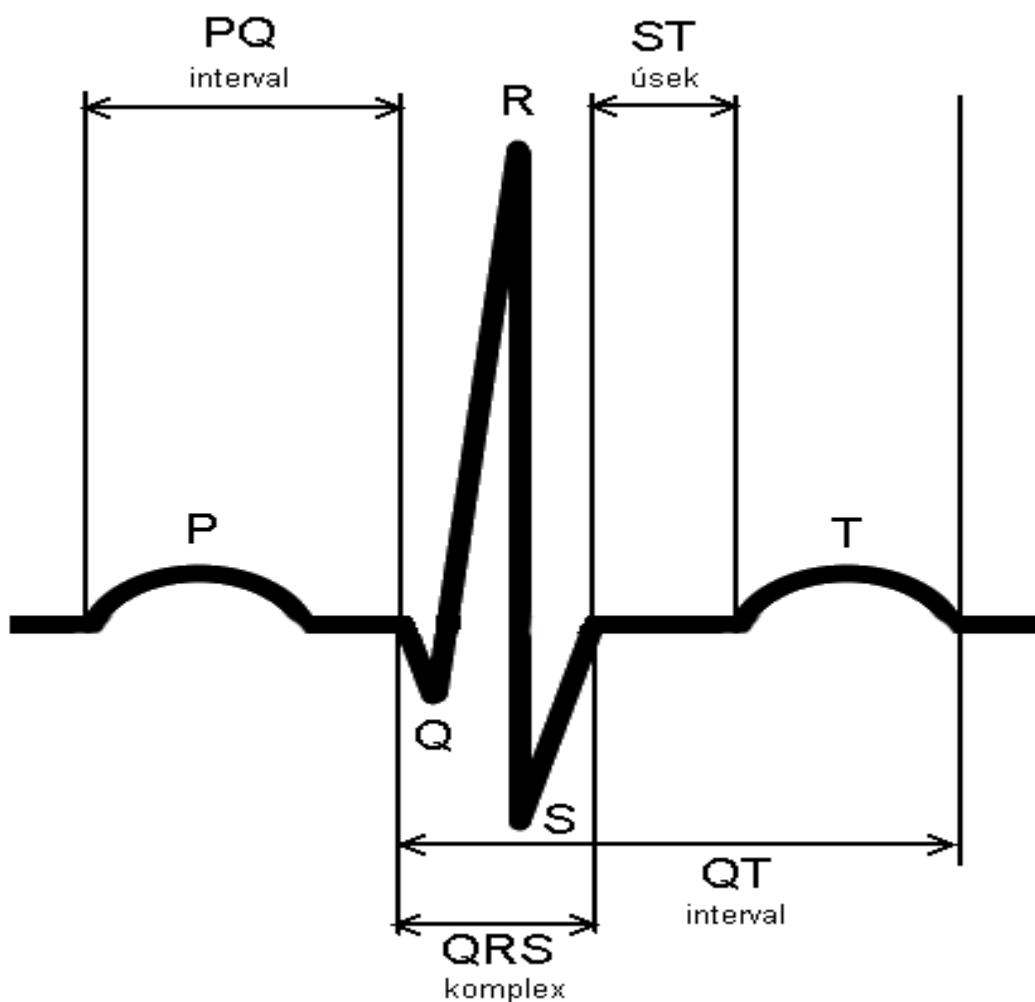
Při provádění řízeného odpočinku musí být zavedené postupy pro udržení bdělosti členů letové posádky, kteří neodpočívají. Kapitán informuje CCIC o úmyslu člena letové posádky vzít si řízený odpočinek a o době konce tohoto odpočinku. CCIC musí zajistit častou kontrolu letové posádky pomocí interkomu. Nejlépe, a aby nerušil odpočívajícího člena posádky, by měl neodpočívající člen letové posádky volat palubnímu průvodčímu přibližně každých 20 minut (noc) nebo 30 minut (den). CCIC zavolá neodpočívajícímu členovi letové posádky nebo provede fyzickou kontrolu, pokud nebyla v daném čase navázána žádná komunikace. V případě jakýchkoliv abnormálních podmínek musí pilot, který neodpočívá, probudit odpočívajícího pilota. Je třeba se vyhnout jakémukoliv zásahu do systému, který by normálně vyžadoval cross-check podle zásad vícečlenné posádky, dokud odpočívající člen posádky neobnoví své povinnosti, a během řízeného odpočinku nejsou povoleny změny nadmořské výšky. Na konci doby řízeného odpočinku musí člen posádky, který neodpočívá, provést úplnou provozní instruktáž pro člena letové posádky, který odpočíval, a to alespoň s následujícími informacemi: postup na trati, ETA, odhadované a skutečné hodnoty FOB, stav letadla, počasí na trase a v terminálu, a provozní události během doby odpočinku [45].

Zavedení řízeného odpočinku se může u jednotlivých leteckých společností a regulačních orgánů lišit. Například Federální letecký úřad (FAA) ve Spojených státech vypracoval pokyny pro řízený odpočinek, které stanoví maximální dobu trvání a konkrétní provozní podmínky pro jeho použití [16]. Cílem těchto pokynů je vyvážit potřebu řízeného odpočinku pilotů s provozními požadavky a bezpečnostními hledisky.

Řízený odpočinek byl navržen jako strategie zmírnění únavy, která řeší problémy s udržením bdělosti a výkonnosti během delší doby služby. Tím, že pilotům poskytne příležitost k regeneračnímu spánku nebo odpočinku, může řízený odpočinek pomoci snížit únavu, zlepšit kognitivní funkce a zlepšit celkový psychofyziologický stav. Výzkum prokázal potenciální přínos řízeného odpočinku při zmírňování rizik spojených s únavou. Studie Caldwell [2] zkoumala účinnost řízeného odpočinku na výkonnost a bdělost pilotů. Výsledky ukázaly, že strategický spánek zlepšil subjektivní ukazatele bdělosti a ostražitosti ve srovnání s nepřetržitým bděním. Kromě toho byl řízený odpočinek spojen se sníženou ospalostí, lepší náladou a zlepšeným kognitivním výkonem během následných letových úkolů [2][17]. Je však důležité poznamenat, že zavedení řízeného odpočinku by mělo být doprovázeno vhodnými zásadami, školením a provozními postupy, aby bylo zajištěno jeho bezpečné a účinné používání. Při zavádění programů řízeného odpočinku je navíc třeba zohlednit individuální rozdíly a preference týkající se spánku a odpočinku.

## 1.9 Elektrokardiografie

Elektrokardiografie je lékařské vyšetření, které se používá k měření elektrické aktivity srdce v průběhu času. Zaznamenává elektrické impulsy srdce jako vlny na grafu (Obrázek 2). EKG úzce souvisí s psychofyzilogickým stavem, protože poskytuje poznatky o tom, jak autonomní nervový systém (ANS) reaguje na psychologické a fyziologické stresory. EKG se používá k výpočtu variability srdeční frekvence (HRV), což je změna časových intervalů mezi jednotlivými údery srdce. HRV je spolehlivým ukazatelem aktivity autonomního nervového systému a celkové úrovně stresu. Například nízká HRV je často spojena s vyšším stresem, úzkostí a horší emoční regulací, zatímco vyšší HRV je spojena s lepší odolností vůči stresu a vyváženější autonomní reakcí [27].



Obrázek 2: EKG srdce v normálním sinusovém rytmu [33]



Stresové nebo emočně vypjaté situace mohou posunout rovnováhu směrem k dominanci sympatiku, což se odráží ve změnách HRV a dalších ukazatelích EKG. Úkoly, které vyžadují intenzivní kognitivní úsilí, mohou rovněž ovlivnit srdeční frekvenci a HRV. Sledování těchto změn pomocí EKG může pomoci pochopit, jak mentální zátěž ovlivňuje fyziologické reakce [29]. Mezi hlavní složky EKG patří vlna P, komplex QRS a vlna T (Obrázek 2). Časové intervaly mezi těmito složkami, zejména intervaly R-R (doba mezi po sobě jdoucími vlnami R), se používají při analýze HRV.

### 1.10 Variabilita srdečního rytmu

Tepová frekvence je počet úderů srdce za minutu. Variabilita srdečního tepu (VST) je kolísání časových intervalů mezi sousedními údery srdce [20]. VST ukazuje činnost autonomního nervového systému (ANS). ANS se skládá ze dvou větví: sympatického nervového systému (SNS), který je zodpovědný za reakci těla "boj nebo utěk", a parasympatického nervového systému (PNS), který se podílí na relaxaci a zotavení. Díky VST je naše tělo schopno reagovat a přizpůsobovat se vnějším podnětům, které ovlivňují náš fyziologický a psychický stav. Jelikož člověk není stroj, srdce pracuje chaoticky – musí se přizpůsobovat, a právě tyto změny lze díky VST pozorovat. Čím je srdce stabilnější, tím je VST nižší, a naopak. Díky tomu je možné analyzovat práci lidského organismu a pochopit, v jakém stavu se nachází, například zda je ve stresu [21].

Variabilitu srdeční frekvence lze hodnotit dvěma způsoby: výpočtem indexů založených na statistických operacích s R-R intervaly (analýza v časové oblasti) nebo spektrální analýzou (analýza ve frekvenční oblasti) série R-R intervalů. Obě metody vyžadují přesné načasování R-vln. Analýzu lze provádět na krátkých segmentech elektrokardiogramu (EKG) (trvajících 0,5 až 5 minut) nebo na 24hodinových EKG záznamech [22].



## 1.11 Analýza v časové oblasti

Indexy VST v časové oblasti kvantifikují míru variability měření intervalu mezi jednotlivými údery, což je doba mezi po sobě jdoucími údery srdce. Tyto hodnoty mohou být vyjádřeny v původních jednotkách nebo jako přirozený logaritmus ( $\ln$ ) původních jednotek, aby se získalo normálnější rozdělení [23]. Parametry zkoumané v časové oblasti a v frekvenční oblasti jsou popsány v tabulce 1 a tabulce 2.

Tabulka 1: Parametry analýze v časové oblasti [34]

Parametr	Jednotka	Popis
meanNN	ms	Průměrný čas NN intervalů
SDNN	ms	Směrodatná odchylka NN intervalů
RMSSD	ms	Střední kvadratická hodnota rozdílů po sobě jdoucích intervalů R-R
meanHR	bmp	Průměrná tepová frekvence
SDHR	bmp	Směrodatná odchylka tepové frekvence
HRMax - HRMin	bmp	Rozdíl maximální a minimální tepové frekvence
minHR	bpm	Minimální tepová frekvence
maxHR	bmp	Maximální tepová frekvence
NN50	-	Počet dvojic sousedních NN intervalů lišících se od sebe více než 50 ms
pNN50	%	Procento NN50 ze zkoumaného záznamu

MeanNN se vztahuje k průměru všech intervalů od normálu k normálu (NN), kde NN intervaly jsou intervaly mezi po sobě jdoucími vrcholy R-vlny v EKG signálu, s vyloučením jakýchkoli artefaktů nebo nesinusových kmitů. MeanNN je užitečná metrika pro zachycení celkových trendů srdeční frekvence, která odráží autonomní rovnováhu a fyziologické reakce na různé fáze aktivity a odpočinku. V souvislosti s prací naznačuje kolísání srdeční frekvence pilotů spojené s jejich provozními povinnostmi [35].

SDNN (standardní odchylka intervalů NN): SDNN odráží celkovou variabilitu srdeční frekvence a vliv SNS i PNS na variabilitu srdeční frekvence. Vyšší hodnoty SDNN jsou obecně spojeny s lepším kardiovaskulárním zdravím a větší adaptabilitou na stres [24]. SDNN je vysoce korelován s výkonem v pásmu ULF, VLF a LF a s celkovým výkonem [26].

RMSSD (Root Mean Square of Successive Differences): RMSSD měří krátkodobou variabilitu srdeční frekvence, která je primárně ovlivňována PNS. Vyšší hodnoty RMSSD ukazují na dominantnější aktivitu PNS, což naznačuje stav relaxace a zotavení [25].





MeanHR označuje průměrnou tepovou frekvenci za dané období, která se vypočítá jako průměrný počet tepů za minutu. MeanHR poskytuje přímou míru srdeční frekvence a úzce souvisí s MeanNN. Poskytuje přímou a intuitivní představu o průměrné srdeční frekvenci během sledovaného období. MeanHR je užitečný pro posouzení celkové kardiovaskulární zátěže a aktivity autonomního nervového systému [34].

SDHR je zkratka pro standardní odchylku srdeční frekvence. Měří variabilitu srdeční frekvence za určité období a vyjadřuje, jak moc se srdeční frekvence odchyluje od průměrné srdeční frekvence. SDHR kvantifikuje krátkodobé výkyvy srdeční frekvence a poskytuje pohled na autonomní regulaci srdce. Odráží kombinovaný vliv sympatického i parasympatického nervového systému na variabilitu srdeční frekvence [35].

HRmax-HRmin označuje rozdíl mezi maximální a minimální srdeční frekvencí zaznamenanou během určitého období. Tato metrika poskytuje přehled o rozsahu kolísání tepové frekvence v daném časovém úseku. Větší rozdíl znamená větší variabilitu, která je obvykle známkou zdravé autonomní funkce a schopnosti srdce dynamicky reagovat na různé fyziologické podmínky. Menší rozdíl může naznačovat sníženou autonomní flexibilitu nebo zvýšený stres [35].

minHR je nejnižší srdeční frekvence zjištěná během určitého období. Odráží minimální úroveň parasympatické aktivity nebo stav relaxace, kterého může srdce dosáhnout. Nižší minHR je často pozorována u dobře trénovaných sportovců a jedinců s dobrým kardiovaskulárním zdravím [35].

MaxHR je nejvyšší srdeční frekvence pozorovaná během určitého období. Udává maximální úroveň sympatické aktivity nebo nejvyšší úroveň stresu, kterou srdce během sledovaného období zažívá. Vyšší MaxHR lze pozorovat při fyzické námaze nebo stresových situacích [35].

NN50 poskytuje údaj o parasympatické (vagové) aktivitě. Vyšší hodnoty NN50 naznačují vyšší parasympatickou aktivitu, která je spojena s relaxací a zdravým autonomním nervovým systémem. Je užitečný v klinických a výzkumných podmínkách pro hodnocení variability srdeční frekvence, zejména při posuzování rovnováhy mezi sympatickými a parasympatickými vlivy [35].

pNN50 (procento po sobě jdoucích intervalů NN > 50 ms): pNN50 představuje podíl sousedních intervalů R-R, které se liší o více než 50 ms. Stejně jako RMSSD poskytuje pNN50 vzhled do vlivu parasympatiku na variabilitu srdeční frekvence a relaxaci [25].



## 1.12 Analýza ve frekvenční oblasti

Analýza frekvenční oblasti je cennou metodou studia variability srdeční frekvence (VST) a zahrnuje transformaci časové řady R-R intervalů (čas mezi po sobě jdoucími srdečními tepy) do frekvenční oblasti. Tato analýza umožňuje identifikovat specifické frekvenční složky spojené se sympatickou a parasympatickou aktivitou. Analogicky k elektroencefalogramu lze použít rychlou Fourierovu transformaci (FFT) nebo autoregresní (AR) k rozdělení VST na její složky ULF, VLF, LF a HF rytmy pracující v různých frekvenčních pásmech [25].

Tabulka 2: Parametry analýze ve frekvenční oblasti [34]

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

ULF označuje výkon ve spektru HRV při frekvencích nižších než 0,003 Hz. Složky ULF jsou ovlivněny cirkadiánními rytmy a velmi dlouhodobými regulačními mechanismy. Změny výkonu ULF mohou indikovat celkový zdravotní stav a dlouhodobou autonomní regulaci. Vzhledem k extrémně nízké frekvenci často vyžaduje dlouhodobé sledování (24 hodin), aby bylo možné ji přesně změřit [35].

VLF označuje výkon ve spektru HRV na frekvencích mezi 0,003 Hz a 0,04 Hz. Nižší výkon VLF je spojen s vyšší úmrtností a špatnými zdravotními výsledky. Výkon VLF je ovlivňován jak sympatickou, tak parasympatickou aktivitou, ale ve srovnání s LF a HF složkami je méně prozkoumán [35].

Nízkofrekvenční (LF) výkon představuje spektrální výkon VST ve frekvenčním rozsahu 0,04 až 0,15 Hz a je ovlivněn jak sympatickou, tak parasympatickou aktivitou. Často se považuje za index sympatické modulace [24].



Vysokofrekvenční (HF) výkon odpovídá spektrálnímu výkonu VST ve frekvenčním rozsahu 0,15 až 0,4 Hz a je převážně ovlivněn parasympatickou (vagovou) aktivitou. Odráží respirační sinusovou arytmií a představuje vagový vliv na variabilitu srdečního rytmu během dýchání [24].

Poměr nízkofrekvenčního a vysokofrekvenčního výkonu (poměr LF/HF), který se odvozuje z EKG, může poskytnout informace o rovnováze mezi aktivitou sympatiku (boj nebo útěk) a parasympatiku (odpočinek a trávení) [28].

Parametr Total je název pro celkový výkon a ukazuje celkovou aktivitu autonomního nervového systému. Při dlouhém měření udává součet energie v pásmech ULF, VLF, LF a HF. U krátkodobých záznamů se zobrazuje pouze součet VLF, LF a HF [25].

nULF označuje podíl celkového výkonu v pásmu ULF, normalizovaný tak, aby se zohlednil celkový výkon minus složka VLF. nULF poskytuje vzhled do dlouhodobé autonomní regulace ve vztahu k celkovému výkonu HRV. Zvýšení nULF by mohlo naznačovat lepší dlouhodobé regulační mechanismy, což by mohlo svědčit o lepší odolnosti vůči stresu po delší dobu [35].

nVLF označuje podíl celkového výkonu v pásmu VLF, normalizovaný tak, aby se zohlednil celkový výkon minus složka ULF. nVLF poskytuje přehled o relativním podílu složek velmi nízkých frekvencí na celkové HRV. Vyšší nVLF může naznačovat větší vliv pomalejších fyziologických procesů na variabilitu srdeční frekvence [35].

nLF označuje výkon v nízkofrekvenčním pásmu (0,04 až 0,15 Hz), normalizovaný na celkový výkon minus VLF a ULF složky. nLF odráží jak sympatickou, tak parasympatickou (hlavně sympatickou) aktivitu. Vyšší hodnoty nLF naznačují zvýšenou sympatickou modulaci nebo sníženou parasympatickou aktivitu [35].

nHF označuje výkon ve vysokofrekvenčním pásmu (0,15 až 0,4 Hz), normalizovaný na celkový výkon minus VLF a ULF složky. nHF je převážně spojen s parasympatickou (vagovou) aktivitou. Vyšší hodnoty nHF naznačují větší vliv parasympatiku na variabilitu srdeční frekvence, což je obvykle spojeno s relaxací a dobře fungujícím autonomním nervovým systémem [35].

### 1.13 Současný stav

V této části práce byla provedena analýza vědeckých prací, které souvisejí s řízeným odpočinkem v letectví. Analýza ukázala, že na toto téma není dostatek vědeckých prací,



protože většina studií se týkala letů na dlouhé vzdálenosti. Zároveň ukazuje, že tento problém je poměrně aktuální vzhledem k nedostatku dostatečného počtu studií.

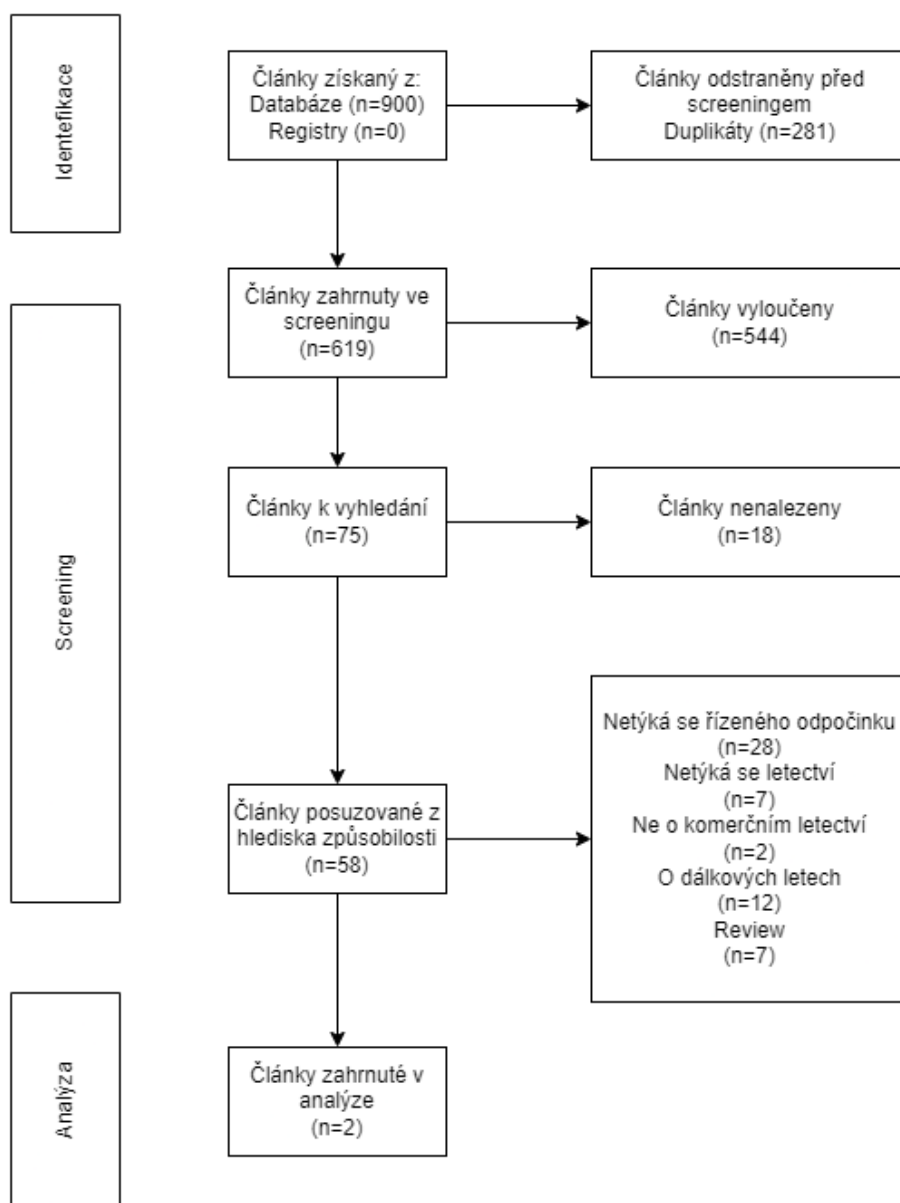
K vyhledávání prací a výzkumu byly použity dvě databáze, Scopus a Web of Science, a následně byly výsledky výzkumu zaznamenány v systému PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) [36]. Pro databáze byla použita následující vyhledávací kritéria:

Scopus: TITLE-ABS-KEY ( ( "napping" AND ( operator OR pilot ) ) OR "controlled rest"  
OR ( fatigue AND aviation AND pilot ) )

Web of Science: TS=( ( "napping" AND ( operator OR pilot ) ) OR "controlled rest" OR ( fatigue AND aviation AND pilot ) )

Po obdržení seznamu vhodných studií bylo nutné vyfiltrovat ty, které neodpovídaly tématu. Zpočátku byly odfiltrovány duplikáty mezi databázemi Scopus a Web of Science. Dalším krokem bylo prostudování názvů článků a vyfiltrování těch, které se netýkaly letectví a krátkých přestávek. Následovalo hledání samotných článků a jejich dostupnost. Poté byla provedena kontrola samotných textů a nevyhovující práce byly odstraněny. Obrázek č. 3 popisuje proces podrobněji.

Identifikace studií za pomoci databázi Scopus a Web of Science



Obrázek 3. Flowchart výběru studie pro metaanalýzu řízeného odpočinku

První studie [18] zahrnovala 251 pilotů Air New Zealand, kteří museli vyplnit anonymní průzkum. Z těchto 251 pilotů bylo 109 kapitánů, 104 prvních důstojníků a 38 druhých důstojníků. V průzkumu účastníci uvedli svou hodnost a věk (do 40, 40-49 a 50-60 let). Dotazník shromáždil informace o používání strategií zvládnání únavy a měření únavy. Piloti byli požádáni, aby ohodnotili, jak často si zdírmli před noční službou na 6bodové škále od „nikdy“ do „vždy“ a kolikrát použili proceduru usínání v kokpitu v předchozích 12 měsících.



Byla také hodnocena frekvence užívání hypnotických léků, melatoninu a alternativních léků za poslední 2 měsíce za účelem zvládnání únavy. Celková únava byla hodnocena pomocí Vitality Scale, což je čtyřpoložková škála z SF-36 Health Survey určená k hodnocení subjektivní únavy. Škála má vysokou úroveň spolehlivosti a platnosti jak v obecné populaci, tak ve vzorcích lékařských. Vitality Scale je měřena v pozitivním směru, s nízkým skóre indikujícím vyšší úroveň únavy. Vliv únavy byl také hodnocen dvěma specifickými únavovými položkami. První se pilotů zeptal: „Když se podíváte zpět na poslední dva měsíce v práci, jak často jste pociťovali výraznou únavu ze své práce?“ Piloti odpovídali na 7bodové Likertově škále od „třikrát nebo vícekrát týdně“ po „nikdy“. Piloti byli také dotázáni: „Do jaké míry během posledních 4 týdnů zasahovala únava do vašich běžných společenských aktivit s rodinou, přáteli, sousedy nebo skupinami?“ Hodnoceno na 5bodové Likertově škále od „vůbec ne“ po „extrémně“. Piloti také dokončili jednu samostatně hodnocenou zdravotní položku – „Jak byste v současné době ohodnotili své zdraví ve srovnání s osobou s vynikajícím zdravím?“ Hodnoceno na 7bodové Likertově škále od „hrozně“ po „vynikající“.

Výsledky byly následující: celkově 13 % odpovědělo, že pociťovali výraznou únavu ze své práce třikrát týdně nebo častěji, a 17 % uvedlo, že pociťují únavu pouze jednou za 2 týdny nebo méně. Nebyl žádný rozdíl ve skóre této položky podle flotily nebo hodnosti. Celkově 64 % pilotů uvedlo výraznou únavu ze své práce jednou týdně nebo častěji. V reakci na to, jak často únava v posledním měsíci narušovala běžné společenské aktivity, uvedlo 6 % pilotů, že únava překážela „extrémně“, 23,9 % odpovědělo „dost trochu“, 35,9 % „středně“, 30,7 % „mírně“ a 3,6 % „vůbec ne“. U pilotů, kteří používali řízený odpočinek v kokpitu, byl trend hlásit nižší úroveň únavy ve srovnání s piloty, kteří tuto proceduru nikdy nepoužili.

Do druhé studie [19] se zapojilo 44 subjektů – 41 mužů a 3 ženy, z toho 19 kapitánů a 25 prvních důstojníků. Každý účastník sbíral data během přibližně dvoutýdenního období běžného letního plánování. Účastníkům byl poskytnut iPod touch (6. gen) s vlastní aplikací, která jim umožnila zaznamenat čas začátku a dobu trvání odpočinku během letu a určit, zda se jedná o řízený odpočinek nebo odpočinek na lůžku. Účastníci také nosili monitor aktivity (Actiwatch Spectrum PRO) na svém nedominantním zápěstí, aby objektivně monitorovali aktivitu spánku a bdění v 1minutových epochách. Konečný datový soubor zahrnoval 239 letů. Každý účastník přispěl v průměru 5,5 lety. O řízený odpočinek se pokusilo 46 % všech pozorovaných letů, přičemž 10 % všech letů zahrnovalo dvě řízené doby odpočinku. Ze 133 hlášených řízených dob odpočinku byla 80 % podle aktigrafie úspěšná. Průměrná délka pokusu o řízený odpočinek byla 43,1 minut. Kapitáni uváděli řízený odpočinek u 38 % letů, ve srovnání s prvními důstojníky, kteří uváděli 52 % letů s řízeným odpočinkem.



## 2. Praktická část

V této části práce bude popsána praktická část, konkrétně experiment, zařízení, získaná data, zpracování dat, analýza získaných dat a problémy spojené s experimentem.

### 2.1 Experiment

Celý experiment byl naplánován čtyřmi studenty a za pomoci několika učitelů. Během experimentu byli přítomni vždy dva až čtyři studenti, jeden učitel a dva subjekty. Experiment probíhal v budově ČVUT v Praze na Fakultě dopravní. V této budově se nachází místnost s simulátorem letadla Beechcraft Baron 58. Zařízení trenažéru bylo podobné tomu, se kterým studenti absolvují praktickou část výcviku. Simulátor využívá Microsoft Flight Simulator X 2006, samotný letoun měl maximální vzletovou hmotnost 2495 kg a maximální rychlost 202 uzlů. Nastavení, která byla použita během experimentu, se blížila skutečnosti, konkrétně: Fuel Flow - 11,8 US gal/h, 2100 ot./min., Manifold Pressure 20,5 In Hg, rychlost 173 uzlů.

Studie se zúčastnilo celkem 10 osob, z toho 9 mužů a 1 žena. Průměrný věk účastníků byl  $22 \pm 0,55$  let. Všichni účastníci byli v době experimentu studenty 6. semestru ČVUT, obor profesionální pilot, a byli zařazeni do integrovaného výcviku ATPL(A). Účastníci měli nalétáno v průměru  $175 \pm 20,20$  letových hodin. Každý z účastníků měl navíc zkušenosti s létáním v podmínkách IFR, přičemž průměrná doba letu podle přístrojů činila  $60 \pm 17$  hodin.

Před zahájením experimentu byli subjekty důkladně informováni o procesu sběru dat a účelu studie. Svůj souhlas s účastí ve výzkumu vyjádřili podpisem informovaného souhlasu, čímž potvrdili, že rozumí příslušným postupům a souhlasí se zpracováním svých osobních údajů. Žádost o vyjádření Etické komise pro výzkum Vědecké rady ČVUT je součástí práce jako příloha A.

Několik dní před experimentem subjekty dostaly informace a pokyny. Informace zahrnovaly operational flight plan (OFP), mapy, které obsahovaly přilety, odlety, letiště a informace o letadle. Pokyny obsahovaly denní režim, co dělat a co nedělat, a to: provádějte svůj běžný denní režim beze změn, dobře se vyspěte, nepijte nápoje obsahující kofein a podobné stimulanty, nepijte alkohol, nesportujte ani neprovádějte jiné aktivity, které zvýší únavu a nespěte během dne.

Experimentu se zúčastnilo 10 pilotů-žáků. Každý z nich letěl dvě noci a interval mezi nocemi byl několik dní, takže spánková deprivace výsledky neovlivnila. Experiment začal ve 22:15, ale všichni účastníci se sešli dříve, aby připravili simulátor, nastavili zařízení a subjekty se mohly seznámit se simulátorem a přístroji. Před samotným experimentem byly každému subjektu v



klidném stavu odebrány hodnoty EKG pro následné porovnání naměřených hodnot během experimentu.

Před začátkem letu bylo k subjektu připojeno zařízení VLV Lab, které zaznamenávalo hodnoty EKG, a záznam byl spuštěn těsně před začátkem letu. Samotné lety byly co nejvíce podobné skutečným letům, se kterými se subjekty mohou setkat v reálném životě. Let ve 22:15/03:00 představoval instruktáž, seznámení s mapami a samotným simulátorem včetně zkušebního letu.

Ve 22:55/03:40 byl pilotům předán ATIS a proběhla simulovaná komunikace s ATC, který pilotovi předal povolení k nastartování motorů, povolení ke vzletu a povolení k vedení letu, informace SID, počáteční výšku letu a ostatní informace pro vedení letu, které pilot dostává v reálném životě. Poté pilot nastavoval všechna zařízení, tedy mapy, frekvence, které bude během letu potřebovat. Samotný vzlet se uskutečnil ve 23:15/04:00. Během letu musel pilot sledovat stav paliva a zaznamenávat údaje, a letadlo letělo na autopilota. To bylo provedeno tak, že pilot v nekritických částech letu sledoval samotný let. Během druhého letu, který zahrnoval řízený odpočinek, byl po 1 hodině a 30 minutách (00:45/05:30) zahájen řízený odpočinek - na 30 minut mohl pilot usnout. Po odpočinku by se pilot probudil a dostal by instrukce pro STAR a pokyny pro přiblížení ILS.

Výběr letišť a letištních drah vycházel z toho, že piloti sami ještě neletěli a příliš je neznali, ale že oba lety budou trvat stejně dlouho a samotná letiště si budou dost podobná - od SID a STAR až po umístění vzletových a přistávacích drah. Na základě těchto požadavků byla pro první let vybrána tato letiště: Mnichov - EDDM a Kodaň - EKCH. V Mnichově se startovalo z dráhy 26L, poté se pokračovalo na SID INPUD2S a dále přes body INPUD - UPALA - LONLI - BAMKI - BIRKA - EMBOX - SUVAL - PABMI - ROSOK - MONAK, následoval STAR MONAK1N a přistání na dráze 22L.

Pro druhý let byla vybrána letiště Basilej - Mulhouse - Freiburg - LFSB a Hamburk - EDDH. Vzlet probíhal z dráhy 33, dále na STAR ELBEG7N a poté na ELBOG - NEDOV - TEDGO - GEBNO - EDUDU - ADIBA - BEBLA - UMKUK - ELKER - ULSEN - NOLGO. Mezi body ADIBA a ELKER byl řízený odpočinek. Za bodem NOLGO následoval STAR NOLGO1P a přistání na dráhu 23.



## 2.2 Zařízení

Během experimentu bylo každému pilotovi změřeno EKG pomocí VLV Lab. Tento přístroj nepřetržitě měří biologické a technické signály, jako je EKG, EMG, kožní odpor, respirační křivka, teplota, vlhkost, tlak, fyzická aktivita atd. Přístroj, který jsem měl k dispozici, byl v minimální konfiguraci – měřicí jednotka, jednorázové měřicí elektrody patientského kabelového svazku. K záznamu EKG byly použity jednorázové elektrody, které byly následně připojeny k měřicím elektrodám a umístěny na měřenou osobu. Příklad použitého zařízení je na obrázku 4.



Obrázek 4. VLV Lab zařízení [37]

Údaje ze zařízení byly okamžitě přeneseny do počítače a zaznamenány. Zaznamenaná data bylo možné sledovat v průběhu experimentu. Vzorkovací frekvence snímaných dat byla 1000 Hz.

## 2.3 Zpracování dat

Jak již bylo zmíněno, EKG data byla zaznamenána pomocí VLV Lab. Data byla následně zaznamenána v textové podobě ve formátu .txt, z něhož byla z celého letu extrahována data za poslední hodinu letu – u druhého letu to byla část po řízeném odpočinku. Ke zpracování dat byl použit program Matlab. Na samém počátku byla získaná data použita v algoritmu Pan-Tompkins [38].

Tento algoritmus extrahuje QRS komplex, z něhož jsou extrahovány R-R intervaly, a z R-R intervalů jsou odstraněny náhodné šumy, přičemž výstupem jsou NN intervaly. Po získání intervalů NN byla nová data prohnána algoritmy, které vypočítávají data pro analýzy v časové a frekvenční oblasti. Dále byly pro výběr statistického testu provedeny testy normálního



rozdělení dat. K tomuto účelu byly použity dva testy – Jarque-Beraův test a Kolmogorov–Smirnov test [39].

Kolmogorov-Smirnovův test ukázal, že data jsou neparametrická. Pro zpracování dat bylo nutné zvolit test, který může pracovat s opakovanými měřeními na jednom subjektu a testovat faktor mezi subjekty. Ke statistické analýze dat byla použita metoda repeated measures ANOVA, navzdory tomu, že data jsou neparametrická, což může ovlivnit výsledky statistické analýzy [40]. Data nebyla parametrická, a z tohoto důvodu byla porušena sféricita, proto byla pro p-hodnotu použita Greenhouse-Geisserova korekce [41]. Byly zvoleny tyto faktory: zda řízený odpočinek ovlivňuje psychofyzilogický stav pilota, zda existuje rozdíl mezi létáním ve 23:00 a 04:00, a zda spolu tyto údaje souvisejí.

Před statistickou analýzou byly stanoveny tři nulové hypotézy ( $H_0$ ):

1. Ve vztahu k závislé proměnné není mezi skupinami faktoru odpočinku žádný významný rozdíl.
2. Mezi skupinami faktoru času odletu není ve vztahu k závislé proměnné žádný významný rozdíl.
3. Neexistuje žádný interakční efekt mezi faktorem odpočinku a dobou odletu

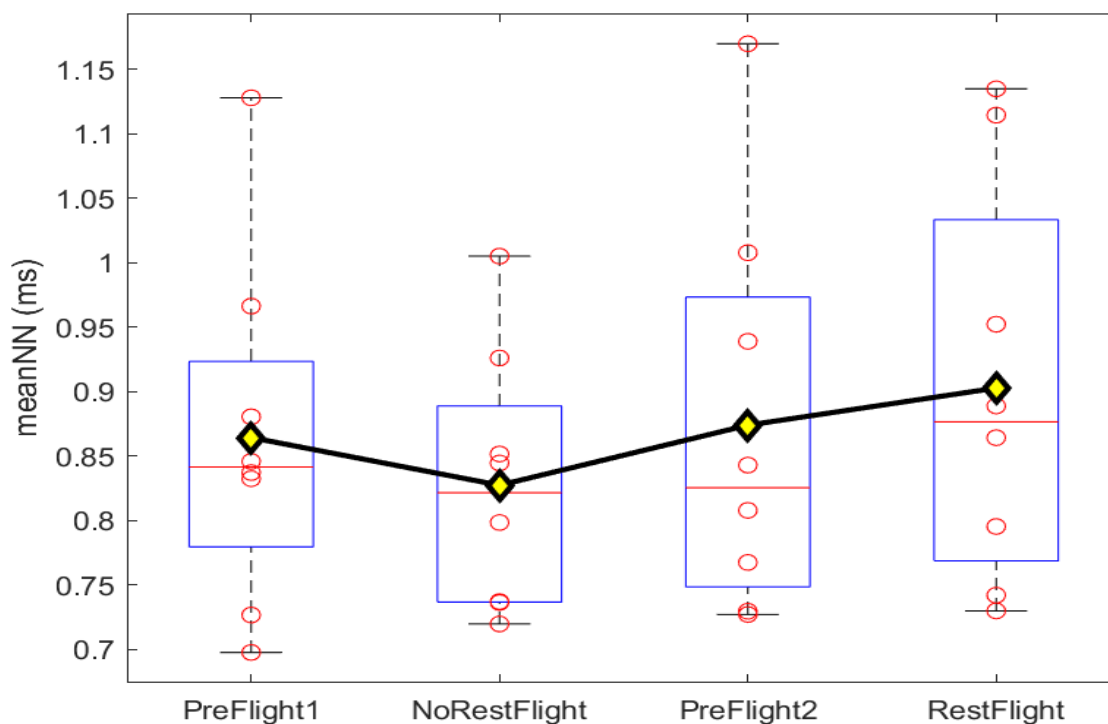
Hladina významnosti (p-hodnota) byla zvolena jako standardní - 5 %. Pokud byla u některého z faktorů p-hodnota menší než 0,05, nulová hypotéza byla zamítnuta, a pak byl dále proveden Tukey-Kramerův test s jedním ze tří parametrů. Tento test přesně ukáže, v čem spočívá rozdíl mezi daty.

### 3. Prezentace výsledků

V této části jsou popsány výsledky statistických analýz se zaměřením na hodnoty, u nichž je p-hodnota menší než 5 % a u nichž byl proveden Tukey-Kramerův test.

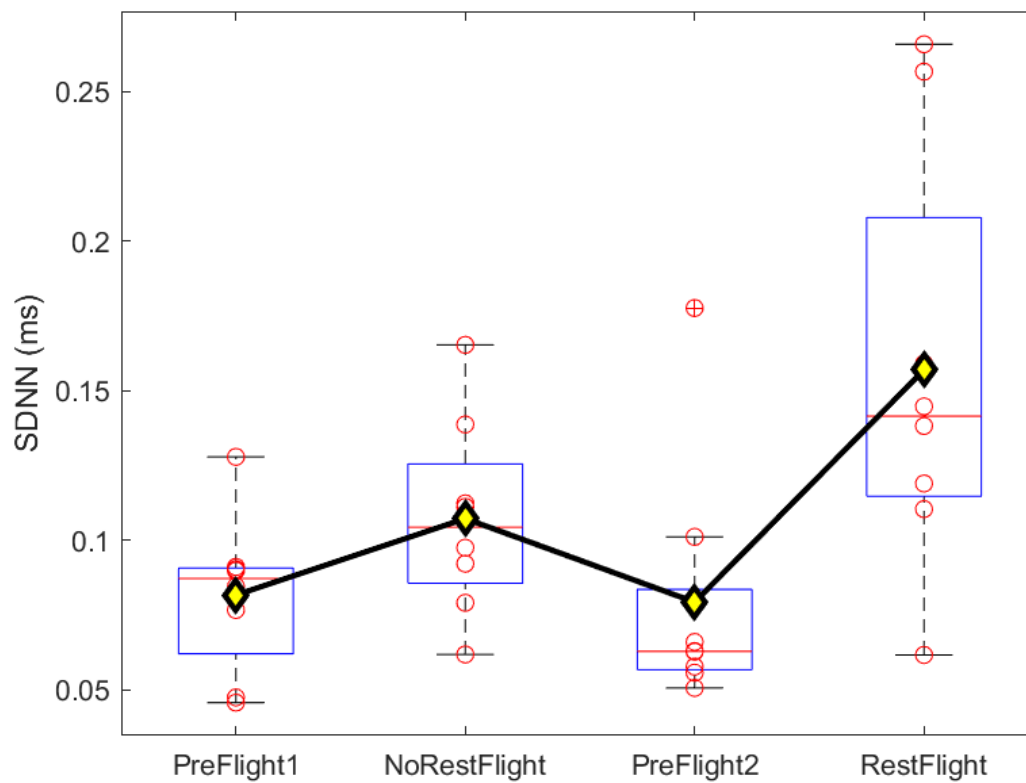
Původně bylo pilotů 10, ale data 2 subjektů se ztratila nebo se poškodila. Oba studenti patřili ke skupině, která měla odlet ve čtyři hodiny ráno.

V analýze časové oblasti byla p-hodnota menší než 5 % pro ukazatel meanNN ( $p = 1,55E-06$ ), ale Tukey-Kramerův test neodhalil žádné významné statistické rozdíly. Obrázek 5 ukazuje rozdíl průměru a mediánu mezi NoRestFlight a RestFlight, přičemž ukazuje velké maximum pro měření PreFlight1 a PreFlight2.



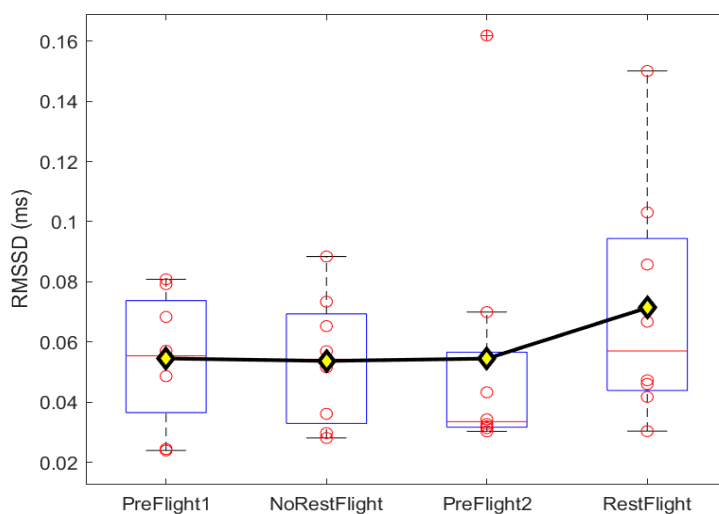
Obrázek 5: Znáornění parametru meanNN pomocí boxplotů

U ukazatele SDNN byl zjištěn významný rozdíl ( $p = 2,00E-04$ ) mezi prvním měřením (PreFlight1) a prvním letem bez odpočinku (NoRestFlight) ( $p = 1,62E-02$ , CI =  $-0,056928 / -0,0073645$ ). Boxplot SDNN, obrázek 6, ukazuje velký rozdíl mezi min a max u RestFlight ve srovnání s jinými měřeními. PreFlight2 má velkou odlehlou hodnotu.

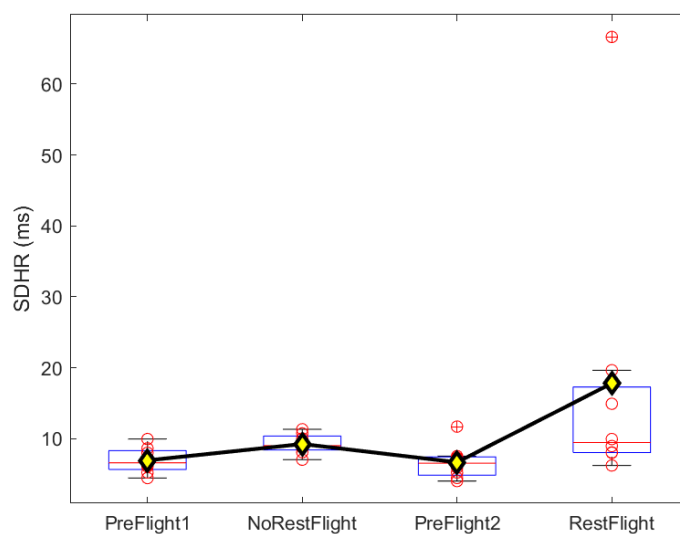


Obrázek 6: Znáornění parametru SDNN pomocí boxplotů

RMSSD ukázal statisticky významné rozdíly mezi různými měřeními ( $p = 1,58E-03$ ); Tukey-Kramerův test však neidentifikoval žádné významné párové rozdíly. Podobně SDHR vykazoval významné rozdíly ( $p = 1,11E-02$ ), Tukey-Kramerův test však neidentifikoval žádné významné párové rozdíly. Boxplot RMSSD, obrázek 7, ukazuje malou změnu průměru mezi prvními třemi měřeními a pouze u RestFlight došlo k mírnému nárůstu. Také RestFlight má na rozdíl od ostatních měření vysoké maximum. Boxplot SDHR, obrázek 8, ukazuje nárůst mezi druhým (NoRestFlight) a třetím (RestFlight) měřením. Medián zůstal většinou na stejné úrovni během všech měření, ale průměr se výrazně zvýšil při třetím (RestFlight) měření.

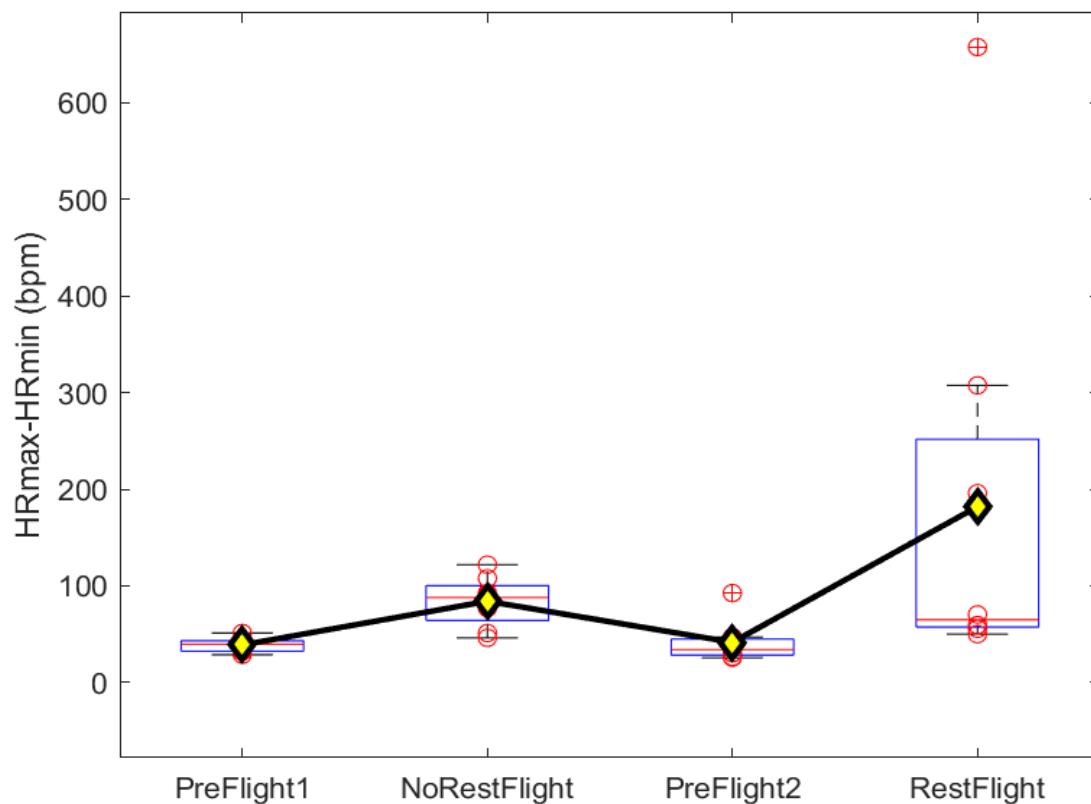


Obrázek 7: Znáornění parametru RMSSD pomocí boxplotů



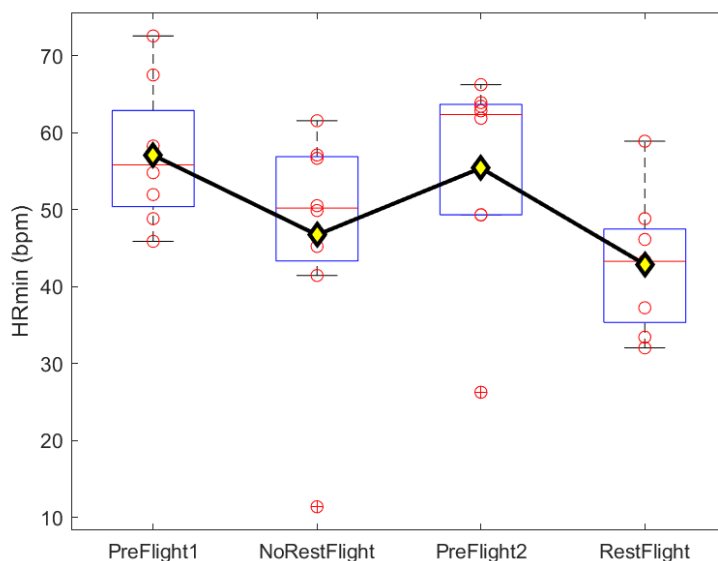
Obrázek 8: Znáornění parametru SDHR pomocí boxplotů

U HRmax-HRmin byly zjištěny statisticky významné rozdíly ( $p = 2,14E-02$ ) mezi prvním měřením (PreFlight1) a prvním letem bez odpočinku (NoRestFlight) ( $p = 2,17E-03$ , CI = -75,118 / -24,026). Ukazatel minHR rovněž vykazoval významné rozdíly ( $p = 4,34E-06$ ), přičemž rozdíly byly mezi prvním měřením (PreFlight1) a letem s odpočinkem (RestFlight) ( $p = 1,60E-02$ , CI = 3,2785 / 25,097). SDHR, obrázek 8, a HRmax-HRmin, obrázek 9, průměr má podobný trend. Obě hodnoty se po základním měření zvyšují a na obou grafech je odlehlá hodnota na RestFlight.

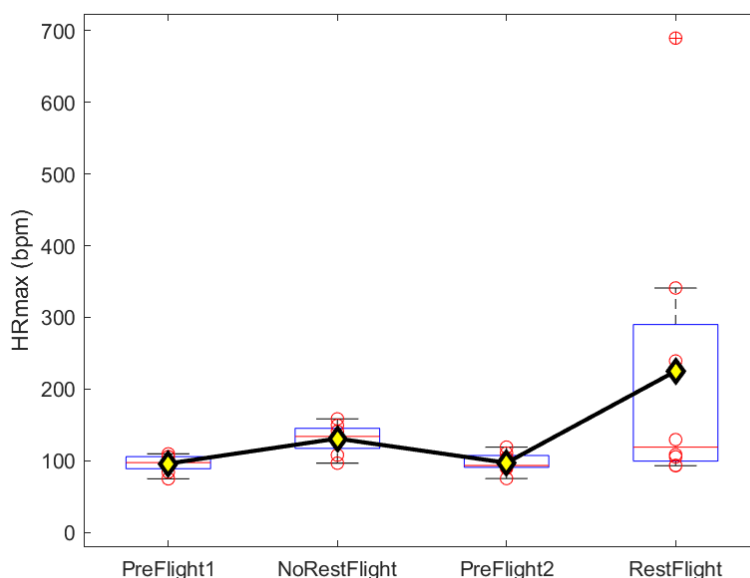


Obrázek 9: Znázornění parametru HRmax-HRmin pomocí boxplotů

Ukazatel maxHR zvýraznil statisticky významné rozdíly ( $p = 3,77E-03$ ) mezi prvním měřením (PreFlight1) a letem bez odpočinku (NoRestFlight) ( $p = 7,79E-03$ , CI = -62,41 / -12,723), stejně jako mezi letem bez odpočinku (NoRestFlight) a druhým měřením před letem (PreFlight2) ( $p = 4,90E-02$ , CI = 0,18382 / 70,328). Boxplot HRmin, obrázek 10, má některé odlehlé hodnoty u prvních dvou měření a RestFlight vykazuje nejnižší medián a průměr ze všech tří měření. Boxplot HRmax, obrázek 11, má podobný průběh jako HRmax-HRmin.

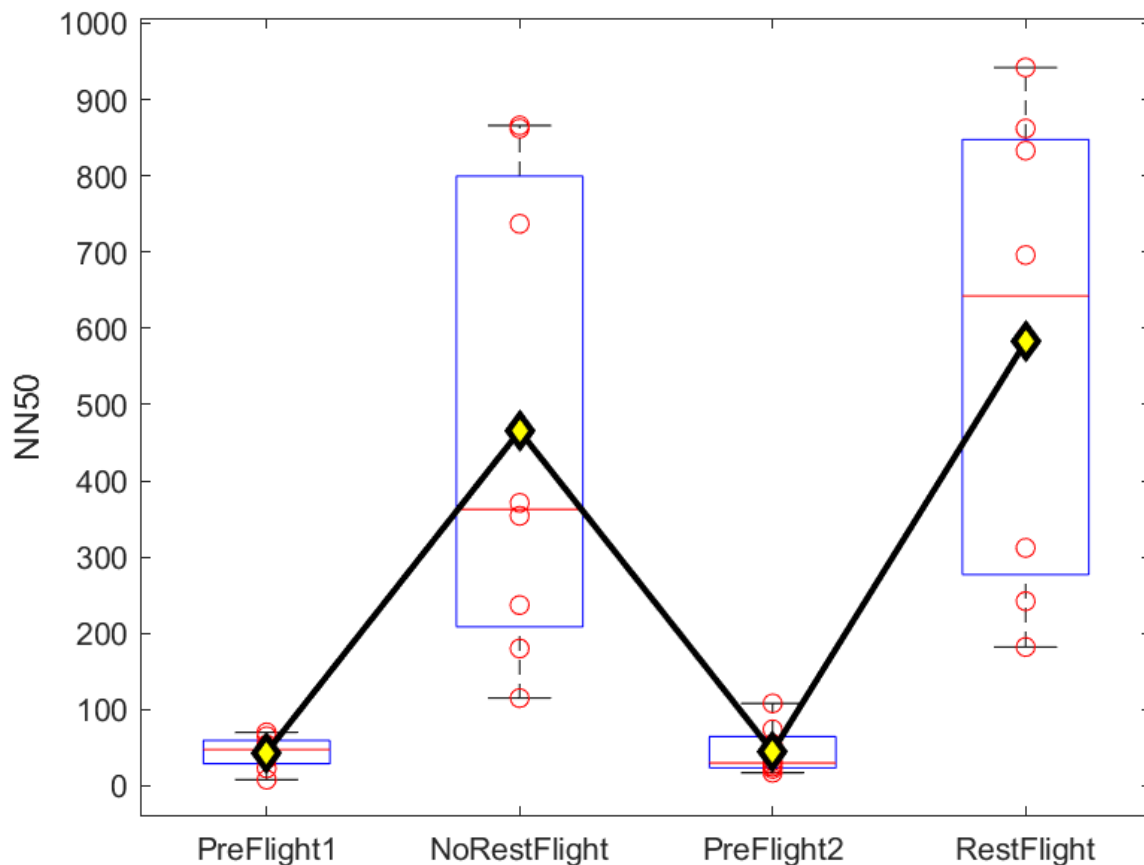


Obrázek 10: Znázornění parametru HRmin pomocí boxplotů



Obrázek 11: Znázornění parametru HRmax pomocí boxplotů

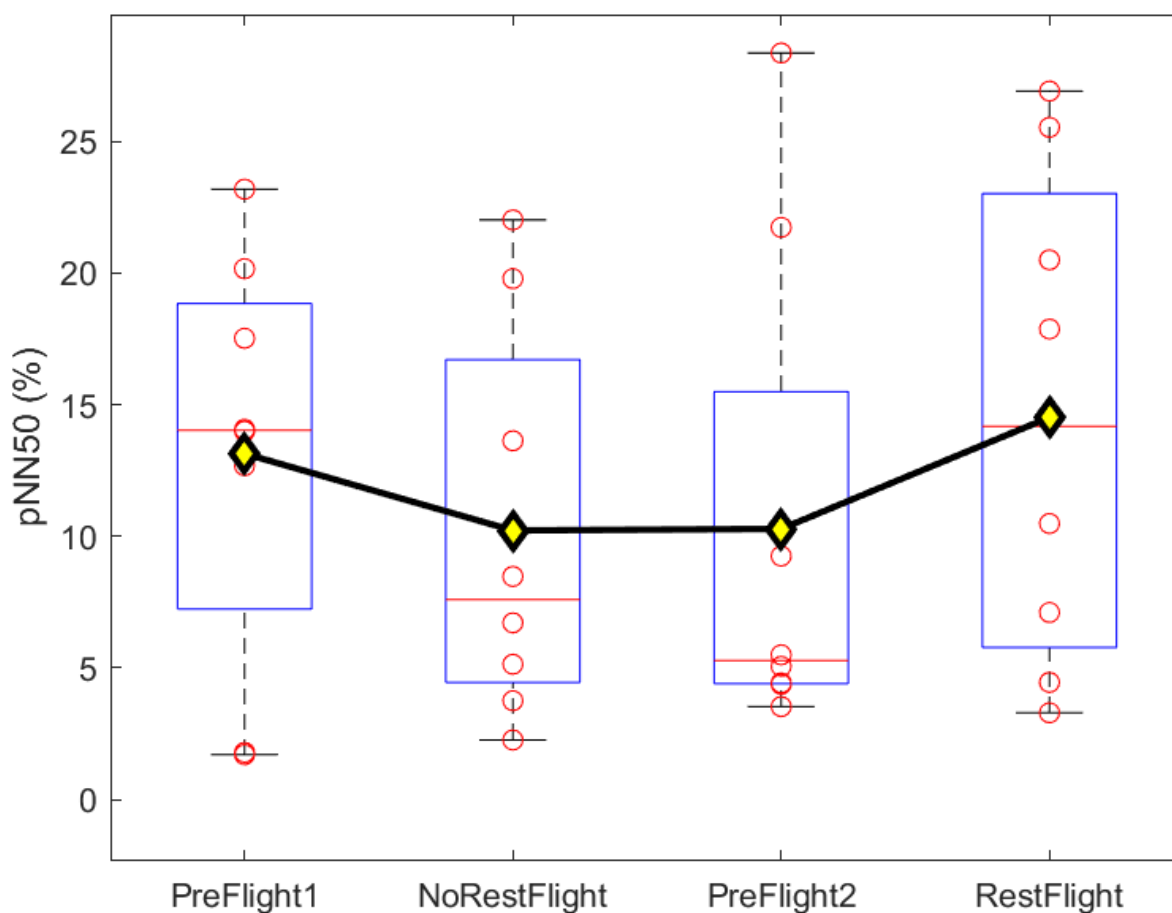
U ukazatele NN50 ( $p = 3,23E-03$ ) odhalil Tukey-Kramerův test rozdíly mezi prvním měřením (PreFlight1) a letem bez odpočinku (NoRestFlight) ( $p = 4,31E-02$ , CI = -805,7 / -14,829), prvním měřením před letem (PreFlight1) a letem s odpočinkem (RestFlight) ( $p = 1,07E-02$ , CI = -879,37 / -151,43), mezi letem bez odpočinku (NoRestFlight) a druhým měřením před letem (PreFlight2) ( $p = 4,31E-02$ , CI = 14,707 / 799,23) a mezi druhým měřením před letem (PreFlight2) a letem s odpočinkem (RestFlight) ( $p = 1,21E-02$ , CI = -882,77 / -141,43).



Obrázek 12: Znáznornění parametru NN50 pomocí boxplotů



U ukazatele pNN50 ( $p = 9,12E-03$ ) nebyly po použití Tukey-Kramerova testu zjištěny žádné významné párové rozdíly. Navzdory výsledkům Tukey-Kramerova testu byla p-hodnota mezi NoRestFlight a RestFlight 0,051568. Boxplot NN50, obrázek 12, má velmi nízké hodnoty pro PreFlight1 i PreFlight2, zatímco medián a průměr pro RestFlight jsou vyšší než pro NoRestFlight. Boxplot pNN50, obrázek 13, je zcela odlišný od NN50. Ukazuje pokles průměru i mediánu při NoRestFlight a PreFlight2 a návrat na stejnou úroveň při RestFlight.



Obrázek 13: Znáznornění parametru pNN50 pomocí boxplotů

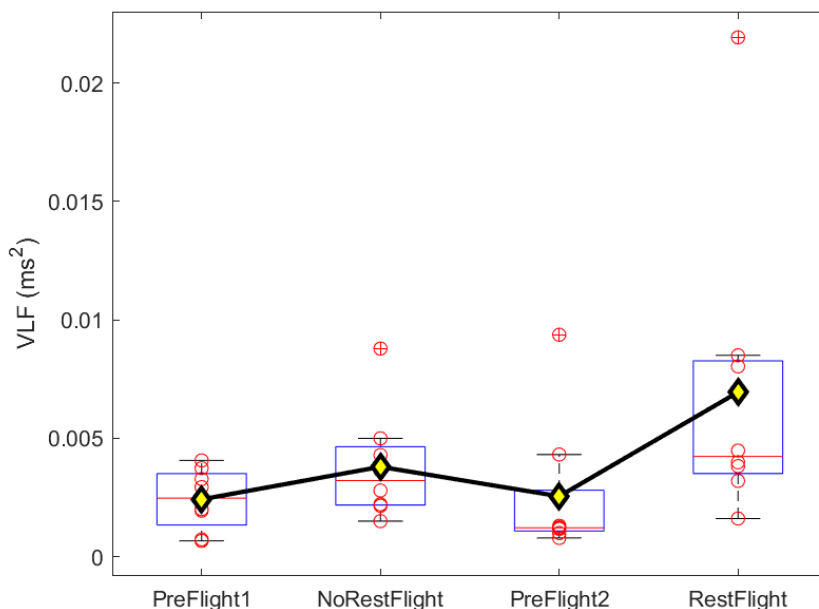


V analýze frekvenční oblasti byla p-hodnota pro VLF menší než 5 % ( $p = 1,36E-02$ ), ale Tukey-Kramerův test neodhalil žádné významné párové rozdíly. Totéž platí pro poměr LF/HF. Přestože ANOVA s opakovanými měřeními ukázala významný rozdíl ( $p = 5,40E-04$ ), Tukey-Kramerův test neprokázal žádné významné párové rozdíly.

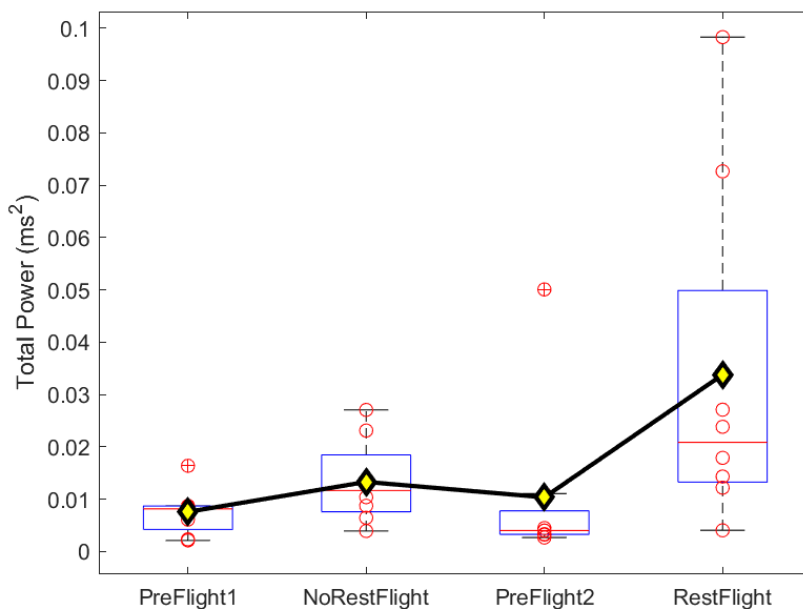
Celkový výkon ukázal statisticky významný rozdíl ( $p = 1,69E-02$ ) a statisticky významný rozdíl mezi prvním měřením před letem (PreFlight1) a letem bez odpočinku (NoRestFlight) ( $p = 2,91E-02$ , CI = -0,013639 / -0,00088522).

Ukazatel nULF je obzvláště zajímavý, protože ANOVA s opakovanými měřeními ukázala významný rozdíl ( $p = 3,04E-04$ ) a Tukey-Kramerův test odhalil několik párových rozdílů: mezi prvním měřením před letem (PreFlight1) a letem s odpočinkem (RestFlight) ( $p = 9,63E-04$ , CI = -0,69049 / -0,26629), letem bez odpočinku (NoRestFlight) a letem s odpočinkem (RestFlight) ( $p = 2,62E-02$ , CI = -0,45941 / -0,03527) a mezi druhým měřením před letem (PreFlight2) a letem s odpočinkem (RestFlight) ( $p = 1,71E-03$ , CI = -0,70437 / -0,23918).

Boxplot VLF, obrázek 14, a Boxplot Total Power, obrázek 15, ukazují podobné trendy v jejich mediánech, navzdory rozdílům v jejich absolutních hodnotách a rozmezí mezi jejich minimy a maximy. Obě metriky vykazují srovnatelné posuny ve svých centrálních tendencích, což naznačuje konzistentní vzorec odezvy napříč měřenými podmínkami.



Obrázek 14: Znáznornění parametru VLF pomocí boxplotů

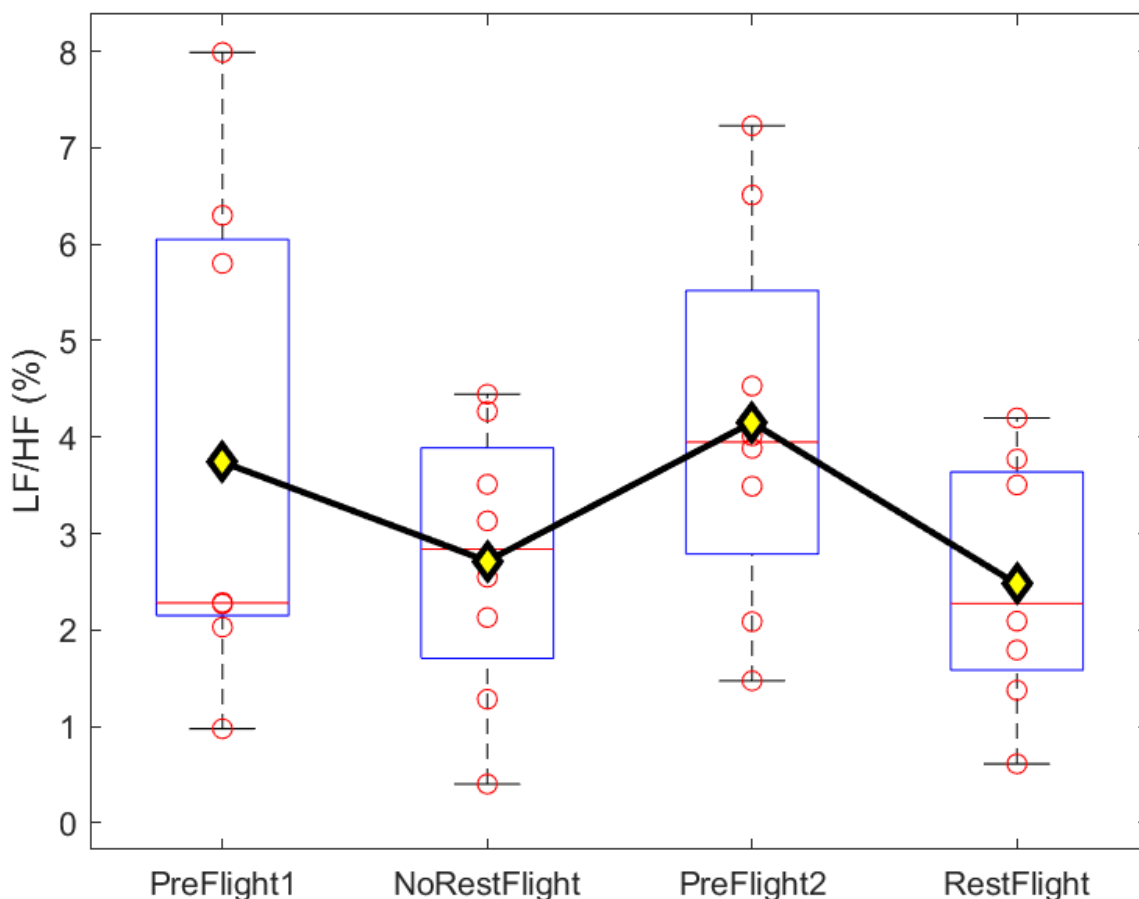


Obrázek 15: Znáznornění parametru Total power pomocí boxplotů



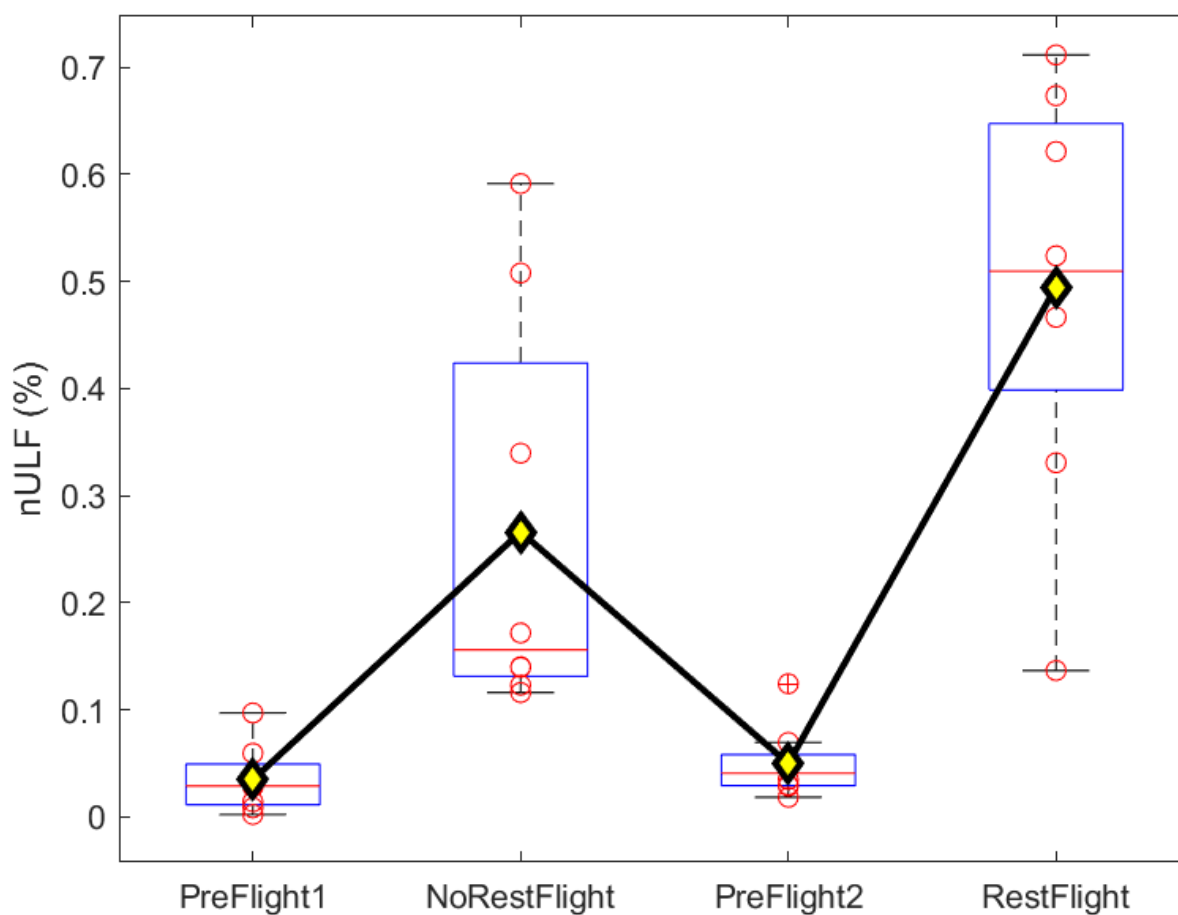
Shoda v trendech mediánů naznačuje, že VLF a celkový výkon mohou být podobně ovlivněny základními fyziologickými procesy, i když se jejich konkrétní hodnoty liší. To by mohlo naznačovat, že obě měření reagují na stejné stresové nebo regenerační faktory u pilotů, což odráží společný vliv na autonomní regulaci.

Při pohledu na obrázek 16 je patrné, že maximum a minimum základního měření jsou vyšší ve srovnání s měřením za letu. Skutečnost, že před lety PreFlight1 a PreFlight2 jsou hodnoty maxima a minima vyšší než při letech, může naznačovat, že piloti měli před lety širší rozsah autonomní rovnováhy (včetně vyšší úrovně stresu). Po letu se poměr LF/HF mohl více stabilizovat nebo snížit, možná v důsledku uniformity letového prostředí nebo psychické adaptace na daný úkol.



Obrázek 16: Znázornění parametru LF/HF pomocí boxplotů

Boxplot nULF, obrázek 17, ukazuje zajímavý vzorec, kde jsou hodnoty během podmínek NoRestFlight i RestFlight výrazně vyšší ve srovnání se základními měřeními, která byla prováděna v kratších pětiminutových intervalech. Minimální hodnota v režimu RestFlight se dostává stejně nízko jako v režimu NoRestFlight, zatímco medián a průměr zůstávají na mnohem vyšších hodnotách.



Obrázek 17: Znáznornění parametru nULF Boxplot pomocí boxplotů



#### 4. Diskuze výsledků

Po přezkoumání všech shromážděných údajů lze učinit několik závěrů. Za prvé, údaje ukazují, že nebyl zjištěn žádný rozdíl v době vzletu. Za druhé, pokud se data přezkoumají hromadně, existuje trend, který ukazuje určitý vliv na psychofyzilogický stav pilotů po odpočinku. Bohužel většina Tukey-Kramerových testů neposkytla další informace k této záležitosti. To se může stát, když je efekt rozložen do více podmínek, aniž by nějaká dvojice vyčnívala, a když je počet subjektů nízký.

Při posuzování každého parametru zvlášť pak bude možné lépe pochopit vliv klidu na piloty. V grafu průměrné hodnoty NN za letu bez odpočinku a s odpočinkem je pak vidět, že meanNN se po odpočinku zvýšila. To znamená, že autonomní nervový systém je lépe adaptován a připraven na stres než při letu bez odpočinku.

Stejný trend je patrný i u SDNN. V průměru se tento parametr u většiny subjektů zvýšil, což svědčí o lepší kondici autonomního nervového systému na stres a únavu. RMSSD se po odpočinku u většiny subjektů rovněž zlepšil. Stejně jako u posledních dvou ukazují vysoké hodnoty RMSSD na parasympatickou aktivitu a dobře fungující autonomní nervový systém, zatímco nízké hodnoty ukazují na únavu, stres nebo dokonce zdravotní problémy.

Tato zjištění jsou v souladu se stávající literaturou, která soustavně ukazuje, že odpočinek, zejména spánek, zlepšuje parametry HRV, což svědčí o vyváženější autonomní funkci a lepší odolnosti vůči stresu [46]. Zvýšení průměrných hodnot meanNN, SDNN a RMSSD naznačuje, že řízený odpočinek pozitivně ovlivňuje schopnost pilotů zvládat stres, což je v rozporu s původní hypotézou, že řízený odpočinek nebude mít žádný vliv.

Při měření tepové frekvence vznikají určité anomálie, které byly pravděpodobně způsobeny vadným zařízením, protože někdy došlo k výpadku přístroje. I přes problémy s vybavením je stále vidět zlepšení - rozdíl mezi HRmax a HRmin, HRmin a HRmax - všechny ukazatele se zlepšily, což svědčí o odolnosti vůči stresu a odpočinku. Tato metrika svědčí o schopnosti autonomního nervového systému regulovat srdeční frekvenci v reakci na měnící se fyziologické požadavky. Menší rozdíl HRmax-HRmin naznačuje omezenou schopnost modulovat srdeční frekvenci, což dále dokládá škodlivé účinky nedostatečného odpočinku na autonomní funkce během letu. Tato zjištění jsou v souladu s širší literaturou, která konzistentně ukazuje, že nedostatečný odpočinek nebo spánková deprivace mohou vést ke snížení HRV, zvýšené dominanci sympatiku a zvýšenému kardiovaskulárnímu riziku [25].



NN50, další časová míra, která odráží počet po sobě jdoucích intervalů NN, které se liší o více než 50 ms, nevykazuje velký rozdíl, ačkoli průměrná hodnota a medián vzrostly, což opět svědčí o připravenosti organismu na zátěž. Jak NN50, tak pNN50 vykazují zlepšení po spánku. Vyšší počty NN50 během klidových stavů ve srovnání se stavy bez odpočinku podtrhují význam odpočinku pro zachování parasympatické aktivity. NN50 je obzvláště citlivý na vagový tonus a jeho snížení během prvního letu bez odpočinku ukazuje na sníženou vagovou odpověď, která by mohla ohrozit schopnost pilota vyrovnat se se stresory během letu [47]. Zajímavý byl výsledek p-hodnoty pNN50, který se blížil hodnotě 0,05. Tento výsledek může naznačovat, že řízený odpočinek může mít vliv na psychofyziologický stav pilota.

Tato zjištění podporují názor, že odpočinek zvyšuje aktivitu parasympatiku, která je pro zvládnutí stresu klíčová. To je také v rozporu s původní hypotézou, což dále naznačuje, že odpočinek má významný vliv na fyziologický stav pilotů.

Zjištění ve frekvenční oblasti, i když jsou méně konzistentní v rámci jednotlivých metrik, nicméně poskytují další poznatky o vlivu odpočinku na autonomní funkce. Zatímco metriky jako LF, HF a LF/HF nevykazovaly v Tukey-Kramerově testu významné změny, celkový výkon a nULF (ultra nízká frekvence) vykazovaly významné změny. Total Power představuje celkovou HRV ve všech frekvenčních pásmech a často se interpretuje jako ukazatel celkové aktivity autonomního nervového systému. Snížení Total Power během letu bez odpočinku naznačuje generalizované snížení autonomní regulace, což dále zdůrazňuje dopad nedostatečného odpočinku.

Tyto výsledky jsou v souladu s předchozími studiemi, které ukázaly, že snížený celkový výkon je spojen se sníženou autonomní funkcí, zejména v podmínkách stresu nebo únavy [48]. Toto zjištění podporuje závěr, že odpočinek v rozporu s hypotézou zlepšuje celkovou autonomní regulaci.

Zajímavé údaje z frekvenční analýzy. Index VLF se zvýšil, což svědčí o větším nástupu únavového namáhání. Graf ukazuje abnormálně vysokou významnost letu se spánkem, což může dávat nesprávný předpoklad o tomto ukazateli.

Slabou změnu lze pozorovat u LF/HF. LF složka je spojována se sympatickou i parasympatickou aktivitou, zatímco HF složka je primárně spojována s parasympatickou aktivitou. Poměr LF/HF se často používá jako index rovnováhy mezi sympatickou a parasympatickou



aktivitou. To znamená, že čím nižší je index, tím menší stres a únavu tělo zažívá. Tento graf ukazuje, že index LF/HF mírně klesl v průměru a mediánu.

nULF je jediným ukazatelem, jehož test potvrdil statistický rozdíl mezi letem bez spánku a se spánkem. Změny v nULF jsou obzvláště zajímavé, protože ULF je obvykle spojován s dlouhodobými regulačními mechanismy, včetně termoregulace. Významné rozdíly pozorované v nULF mezi podmínkami před letem a za letu, zejména pokud nebyl odpočinek, by mohly naznačovat, že krátkodobý odpočinek (nebo jeho nedostatek) ovlivňuje tyto dlouhodobé regulační procesy, ačkoli přesné mechanismy ještě nejsou zcela objasněny. Toto zjištění si zaslouží další zkoumání, protože naznačuje, že vliv odpočinku - nebo spánkové deprivace - přesahuje rámec okamžitých autonomních reakcí a ovlivňuje širší fyziologické systémy.

Původní hypotéza předpokládala, že řízený odpočinek nebude mít na piloty žádný vliv. Údaje však konzistentně ukazují, že řízený odpočinek má významný vliv na různé fyziologické parametry související s autonomními funkcemi. Zlepšení měř HRV, jako jsou meanNN, SDNN, RMSSD, NN50 a Total Power, stejně jako významné změny pozorované u nULF, jsou v rozporu s hypotézou. Tato zjištění jsou v souladu s širší literaturou, která konzistentně ukazuje, že odpočinek a spánek jsou klíčové pro udržení autonomní rovnováhy, odolnosti vůči stresu a celkové fyziologické pohody [25], [46].

Závěrem lze říci, že hypotéza, že řízený odpočinek nemá na piloty žádný vliv, není těmito údaji podložena. Důkazy naopak naznačují, že řízený odpočinek hraje zásadní roli při zlepšování fyziologického stavu pilotů, zejména při zlepšování jejich autonomních funkcí a připravenosti zvládat stres.





## 5. Závěr

Cílem této práce bylo prozkoumat vliv řízeného odpočinku na psychofyzilogický stav pilotů se zvláštním zaměřením na ukazatele variability srdeční frekvence a posoudit, zda má načasování vzletu významný vliv na tyto fyziologické reakce. Prostřednictvím statistických analýz, jako jsou repeated measures ANOVA a Tukey-Kramerovy testy, byly zkoumány parametry HRV v časové i frekvenční oblasti s cílem zjistit, jak tyto faktory ovlivňují činnost autonomního nervového systému a celkový kardiovaskulární stav pilotů během letu a po něm.

Analýza odhalila významná zjištění u několika ukazatelů HRV, což naznačuje, že krátkodobý odpočinek má skutečně měřitelný vliv na psychofyzilogický stav pilotů. Statisticky významné rozdíly byly pozorovány v ukazatelích časové domény, jako jsou SDNN, HRmax-HRmin, NN50 a meanHR. Pozoruhodné je, že meanNN a pNN50 vykazovaly během prvního letu bez odpočinku významné snížení ve srovnání s výchozími měřeními, což naznačuje, že stres a další faktory během letu přispívají ke snížení celkové variability srdeční frekvence. Toto snížení naznačuje zvýšený posun k dominanci sympatiku během letu. Zatímco celková srdeční frekvence zůstala relativně stabilní, specifické metriky HRV byly citlivější na účinky odpočinku. Při analýze frekvenční domény metriky jako VLF, LF, HF a LF/HF nevykazovaly v Tukey-Kramerově testu významné rozdíly, ale Total Power a nULF ano, zejména mezi měřeními před letem a měřeními provedenými během letu, což naznačuje, že odpočinek ovlivňuje rovnováhu sympatické a parasympatické aktivity během letu.

Zajímavé je, že čas letu nepřinesl ve výsledcích repeated measures ANOVA významné p-hodnoty, což naznačuje, že čas vzletu neměl podstatný vliv na parametry HRV analyzované v této studii. Toto zjištění mohlo být ovlivněno počtem subjektů, ale také může naznačovat, že fyziologický stres spojený s létáním je více závislý na stavu odpočinku pilota než na denní době zahájení letu. Tato zjištění mají důsledky pro zdraví pilotů a bezpečnost letectví. Mohlo by to také znamenat, že zásahy zaměřené na optimalizaci doby odpočinku mohou být zásadnější než pouhá úprava letových řádů tak, aby se zabránilo ranním odletům.

Na základě výsledků bylo zjištěno několik omezení této práce, která je třeba si uvědomit. Zaprvé, počet subjektů byl relativně malý, s údaji pouze od deseti pilotů, což omezuje zobecnitelnost výsledků. Kromě toho došlo ke ztrátě nebo poškození údajů od dvou subjektů, což dále snižuje statistickou sílu studie. Dalším omezením je kvalita zařízení použitého k měření HRV. Vyskytly se případy poruch zařízení, zejména při měření srdeční frekvence, což mohlo vnést anomálie a ovlivnit přesnost údajů. Studie se navíc zaměřila na krátké lety, což nemusí



plně zachytit širší dopad odpočinku na delší nebo složitější letové operace. A konečně, design studie nezohledňoval potenciální matoucí faktory, jako jsou individuální rozdíly v kvalitě spánku, úrovni stresu nebo podmínkách vnějšího prostředí, které mohly ovlivnit výsledky.

Navzdory těmto omezením poskytuje studie cenné poznatky o úloze krátkodobého odpočinku při modulaci psychofyzilogických reakcí pilotů během letu. Významné změny pozorované u několika klíčových ukazatelů HRV zdůrazňují význam odpočinku pro udržení kardiovaskulární a autonomní stability, která je rozhodující pro výkonnost a bezpečnost pilotů. Zjištění naznačují, že zavedení strukturovanějšího a důslednějšího odpočinku pro piloty by mohlo zvýšit jejich fyziologickou připravenost zvládat nároky letu a potenciálně snížit riziko incidentů souvisejících s únavou. Tento výzkum přispívá k rostoucímu počtu důkazů podporujících potřebu komplexnějších strategií odpočinku v letectví.

Vzhledem k omezením a výsledkům této studie existuje několik možností pro budoucí výzkum, který by mohl dále objasnit vztah mezi odpočinkem a psychofyzilogickým stavem pilotů. Za prvé, zvýšení velikosti vzorku a zajištění lepší integrity dat by zvýšilo robustnost a zobecnitelnost výsledků. Budoucí studie by také měly zvážit použití modernějšího a spolehlivějšího vybavení, aby se minimalizovaly chyby měření a zlepšila přesnost údajů. Rozšíření rozsahu výzkumu o delší lety a širší škálu letových podmínek by navíc umožnilo komplexnější pochopení toho, jak odpočinek ovlivňuje výkonnost pilota po delší dobu. Bylo by také přínosné zahrnout více kontrolovaných proměnných, jako je hodnocení kvality spánku, úrovně stresu a faktory prostředí, aby bylo možné lépe izolovat účinky odpočinku od ostatních ovlivňujících faktorů.



## Seznam použité literatury

1. [1] LETECKÝ PŘEDPIS L 6 PROVOZ LETADEL ČÁST I. Česká Republika: Ministerstvo dopravy. [https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-6i/data/print/L-6-I\\_cely.pdf](https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-6i/data/print/L-6-I_cely.pdf)
2. [2] Caldwell, J. A., Caldwell, J. L., & Mallis, M. M. (2017). *Fatigue in aviation: A guide to staying awake at the stick*. CRC Press.
3. [3] Powell, D. M., Chapman, J. D., & Thorne, D. R. (2018). *Fatigue in aviation: An overview of the state of the art and research needs*. NASA Technical Memorandum 2018-219085.
4. [4] Arora, S., MeR-Ry, A. F., & Neumann, D. L. (2018). The role of fatigue in the relationship between psychosocial work factors and psychological outcomes in pilots. *Accident Analysis & Prevention*, 109, 11-17.
5. [5] L. Sherwood, *Human Physiology: From Cells to Systems*, Cengage Learning, Brooks/Cole, 2012.
6. [6] Rosekind, M. R., Gregory, K. B., Mallis, M. M., & Brandt, S. L. (2010). Fatigue in operational settings: Examples from the aviation domain. *Human Factors*, 52(2), 297-310.
7. [7] Signal, T. L., van den Berg, M. J., Mulrine, H. M., Gander, P. H., & Mastin, D. F. (2018). Sleep and circadian variation in commercial pilots: A questionnaire-based study comparing cockpit and non-cockpit crews. *PLoS One*, 13(5), e0197025.
8. [8] Battelle Memorial Institute. (2016). *Fatigue risk management systems for aviation maintenance and flight operations*. Federal Aviation Administration.
9. [9] *The Manual for the Oversight of Fatigue Management Approaches (Doc 9966)*
10. [10] NICHD - Eunice Kennedy Shriver National Institute of Child Health and Human Development. Retrieved 6 May 2019
11. [11] BioInteractive. Howard Hughes Medical Institute, 5 May 2015.
12. [12] U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration Advisory Circular [https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory\\_Circular/AC%20117-3.pdf](https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC%20117-3.pdf)
13. [13] Van Dongen, H. P., Maislin, G., Mullington, J. M., & Dinges, D. F. (2011). The cumulative cost of additional wakefulness: Dose-response effects on neurobehavioral functions and sleep physiology from chronic sleep restriction and total sleep deprivation. *Sleep*, 34(11), 1509-1522.
14. [14] Chua, E. C., Vetter, C., & Duffy, J. F. (2014). Relationships between chronotype, social jetlag, sleep, obesity, and metabolic disorders. *Chronobiology International*, 31(4), 452-461.
15. [15] Wickens, C. D., Hutchins, S. D., & Laux, L. (2018). The impact of sleep disruption on complex cognitive tasks: A meta-analysis. *Human Factors*, 60(6), 936-946.
16. [16] Federal Aviation Administration. (2019). *Controlled rest on the flight deck*. Advisory Circular 120-105.



17. [17] BONATO, Frederick. New Year/New Challenges. *Aerospace Medicine and Human Performance* [online]. 2020, 2020-01-01, 91(1), 1-1 [cit. 2024-08-01]. ISSN 2375-6314. Dostupné z: doi:10.3357/AMHP.911Editorial.2020
18. [18] PETRIE, Keith J, David POWELL a Elizabeth BROADBENT. Fatigue self-management strategies and reported fatigue in international pilots. *Ergonomics* [online]. 2011, 2011-10-06, 47(5), 461-468 [cit. 2024-08-01]. ISSN 0014-0139. Dostupné z: doi:10.1080/0014013031000085653
19. [19] HILDITCH, Cassie J, Lucia ARSINTESCU, Kevin B GREGORY a Erin E FLYNN-EVANS. Mitigating fatigue on the flight deck: how is controlled rest used in practice? *Chronobiology International* [online]. 2020, 2020-10-02, 37(9-10), 1483-1491 [cit. 2024-08-01]. ISSN 0742-0528. Dostupné z: doi:10.1080/07420528.2020.1803898
20. [20] MCCRATY, Rollin a Fred SHAFFER. Heart Rate Variability: New Perspectives on Physiological Mechanisms, Assessment of Self-regulatory Capacity, and Health Risk. *Global Advances in Health and Medicine* [online]. 2015, 4(1), 46-61 [cit. 2024-08-01]. ISSN 2164-9561. Dostupné z: doi:10.7453/gahmj.2014.073
21. [21] BECKERS, Frank, Bart VERHEYDEN a André E. AUBERT. Aging and nonlinear heart rate control in a healthy population. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* [online]. 2006, 290(6), H2560-H2570 [cit. 2024-08-01]. ISSN 0363-6135. Dostupné z: doi:10.1152/ajpheart.00903.2005
22. [22] VAN RAVENSWAAIJ-ARTS, Conny M. A. Heart Rate Variability. *Annals of Internal Medicine* [online]. 1993, 1993-03-15, 118(6) [cit. 2024-08-01]. ISSN 0003-4819. Dostupné z: doi:10.7326/0003-4819-118-6-199303150-00008
23. [23] Tarvainen, M. P., Lipponen, J., Niskanen, J. P., & Ranta-Aho, P. (Year). \*Kubios HRV version 3 – User's guide\*. University of Eastern Finland. [https://www.kubios.com/downloads/Kubios\\_HRV\\_Users\\_Guide.pdf](https://www.kubios.com/downloads/Kubios_HRV_Users_Guide.pdf)
24. [24] Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation*. 1996 Mar 1;93(5):1043-65. PMID: 8598068.
25. [25] SHAFFER, Fred a J. P. GINSBERG. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in Public Health* [online]. 2017, 2017-09-28, 5 [cit. 2024-08-01]. ISSN 2296-2565. Dostupné z: doi:10.3389/fpubh.2017.00258



26. [26] UMETANI, Ken, Donald H SINGER, Rollin MCCRATY a Mike ATKINSON. Twenty-Four Hour Time Domain Heart Rate Variability and Heart Rate: Relations to Age and Gender Over Nine Decades. *Journal of the American College of Cardiology* [online]. 1998, 31(3), 593-601 [cit. 2024-08-01]. ISSN 07351097. Dostupné z: doi:10.1016/S0735-1097(97)00554-8
27. [27] KIM, Hye-Geum, Eun-Jin CHEON, Dai-Seg BAI, Young Hwan LEE a Bon-Hoon KOO. Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature. *Psychiatry Investigation* [online]. 2018, 15(3), 235-245 [cit. 2024-08-01]. ISSN 1738-3684. Dostupné z: doi:10.30773/pi.2017.08.17
28. [28] SHAFFER, Fred a J. P. GINSBERG. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in Public Health* [online]. 2017, 2017-09-28, 5 [cit. 2024-08-01]. ISSN 2296-2565. Dostupné z: doi:10.3389/fpubh.2017.00258
29. [29] MORA RINGLE, Vanesa A., Lucia M. WALSH, Colleen A. MAXWELL, Ashley M. SMITH, Rebecca A. GROSSMAN, Sara J. BECKER a Amanda JENSEN-DOSS. Understanding of evidence-based mental health care and the perceived importance of scientific information in a sample of U.S. adults. *Journal of Clinical Psychology* [online]. 2020, 76(1), 161-175 [cit. 2024-08-01]. ISSN 0021-9762. Dostupné z: doi:10.1002/jclp.22856
30. [30] ER-Ratum. Online. *Journal of Psychosomatic Research*. 2008, roč. 65, č. 1. ISSN 00223999. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2008.01.007>. [cit. 2024-08-03].
31. [31] WALKER, Matthew P. *Proč spíme: odhalte sílu spánku a snění*. Přeložil Filip DRLÍK. *Pod povrchem*. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2018. ISBN 978-80-7555-050-7.
32. [32] VAN DRUNEN, Rachel a ECKEL-MAHAN, Kristin. Circadian Rhythms of the Hypothalamus: From Function to Physiology. Online. *Clocks & Sleep*. 2021, roč. 3, č. 1, s. 189-226. ISSN 2624-5175. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/clockssleep3010012>. [cit. 2024-08-03].
33. [33] OZP (2024). *Popis EKG křivky*. OZP [ozp.cz](http://ozp.cz) [online]. [cit. 2024-08-03] Dostupné z: <https://www.ozp.cz/popis-ekg-krivky>
34. [34] SHAFFER, Fred a GINSBERG, J. P. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. Online. *Frontiers in Public Health*. 2017, roč. 5. ISSN 2296-2565. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>. [cit. 2024-08-03].
35. [35] ELECTROPHYSIOLOGY, Task Force of the European Society of Cardiology the North A. Heart Rate Variability. Online. *Circulation*. 1996, roč. 93, č. 5, s. 1043-1065. ISSN 0009-7322. Dostupné z: <https://doi.org/10.1161/01.CIR.93.5.1043>. [cit. 2024-08-03].
36. [36] PAGE, M.J., J.E MCKENZIE, P.M. BOSSUYT, I. BOUTRON, T.C. HOFFMANN, C.D. MULROW, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *International Journal of Surgery* [online]. 2021, 88, 105906. [cit. 2024-08-03]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2021.105906>



37. [37] Albertov Research Center, VLV Lab, albertov.cz [online], [cit. 2024-08-03] Dostupné z: <https://www.albertov.cz/projekty/vlv-lab/>
38. [38] PAN, Jiapu a TOMPKINS, Willis J. A Real-Time QRS Detection Algorithm. Online. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 1985, roč. BME-32, č. 3, s. 230-236. ISSN 0018-9294. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/TBME.1985.325532>. [cit. 2024-08-03].
39. [39] NAGY, Ivan a Pavla PECHERKOVÁ. Statistika: Skripta [online]. In: Praha: FD ČVUT [cit. 2024-08-03]. Dostupné z:  
<https://staff.utia.cas.cz/uglickich/pdfka/Statistika.pdf>
40. [40] IBM, ibm.com [online], [cit. 2024-08-03]. Dostupné z:  
<https://www.ibm.com/docs/da/spss-statistics/beta?topic=statistics-repeated-measures-anova>
41. [41] Discover Statistics, discoveringstatistics.com [online], [cit. 2024-08-03]. Dostupné z:  
<https://www.discoveringstatistics.com/docs/repeatedmeasures.pdf>
42. [42] FlightSafety, [flightsafety.org](https://flightsafety.org) [online], [cit. 2023-11-08]. Dostupné z:  
<https://flightsafety.org/wp-content/uploads/2018/11/Controlled-Rest.pdf>
43. [43] WATERHOUSE, J.; ATKINSON, G.; EDWARDS, B. a REILLY, T. The role of a short post-lunch nap in improving cognitive, motor, and sprint performance in participants with partial sleep deprivation. Online. *Journal of Sports Sciences*. 2007, roč. 25, č. 14, s. 1557-1566. ISSN 0264-0414. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/02640410701244983>. [cit. 2024-08-04].
44. [44] Skybrary, skybrary.aero [online], [cit. 2024-08-03]. Dostupné z:  
<https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/2201.pdf>
45. [45] IATA, ICAO, IFALPA. Fatigue Risk Management System: Implementation Guide for Airline Operators [online]. 2015. [cit. 2024-08-03]. Dostupné z:  
<https://www.icao.int/safety/fatiguemanagement>
46. [46] LUYSTER, Faith S.; STROLLO, Patrick J.; ZEE, Phyllis C. a WALSH, James K. Sleep: A Health Imperative. Online. *Sleep*. 2012, roč. 35, č. 6, s. 727-734. ISSN 0161-8105. Dostupné z: <https://doi.org/10.5665/sleep.1846>. [cit. 2024-08-05].
47. [47] MICHELS, Nathalie; CLAYS, Els; DE BUYZERE, Marc; HUYBRECHTS, Inge; MARILD, Staffan et al. Determinants and reference values of short-term heart rate variability in children. Online. *European Journal of Applied Physiology*. 2013, roč. 113, č. 6, s. 1477-1488. ISSN 1439-6319. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2572-9>. [cit. 2024-08-05].
48. [48] MALIK, Marek a CAMM, A. John. Components of heart rate variability — what they really mean and what we really measure. Online. *The American Journal of Cardiology*. 1993, roč. 72, č. 11, s. 821-822. ISSN 00029149. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(93\)91070-X](https://doi.org/10.1016/0002-9149(93)91070-X). [cit. 2024-08-05].

## Příloha 1: Vyjádření komise pro etiku ve výzkumu



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

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

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

#### Projekt Studie řízeného odpočinku pilotů

Řešitel Lenka Hanaková

byl schválen Komisí pro etiku ve výzkumu na Českém vysokém učení technickém v Praze pod  
jednacím číslem: 0000-02/22/51903/EKČVUT  
dne: 27.1.2022.

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

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

Razítko ČVUT v Praze

podpis předsedy Komise pro etiku ve výzkumu na ČVUT v Praze

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