



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

Fakulta dopravní

Ústav letecké dopravy

**Vliv řízeného odpočinku na bdělost**  
**Influence of Controlled rest on the Vigilance**

Bakalářská práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Profesionální pilot

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

Ing. Viktor Valenta

---

**Martin Novotný**

Praha 2022



**K621.....Ústav letecké dopravy**

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Martin Novotný**

Studijní program (obor/specializace) studenta:

**bakalářský –PIL– Profesionální pilot**

Název tématu (česky): **Vliv řízeného odpočinku na bdělost**

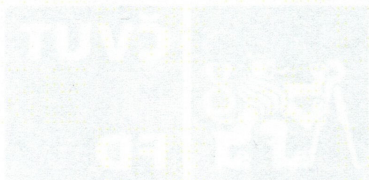
Název tématu (anglicky): **Influence of Controlled Rest on the Vigilance**

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je zhodnotit vliv řízeného odpočinku na bdělost. Práce vychází z předpokladu, že krátký spánek v průběhu nočního letu se projeví na bdělosti.
- Vykonejte analýzu současného stavu zaměřenou na problematiku krátkého spánku a jeho vliv na bdělost člověka s hlavním zaměřením na letecké prostředí a dále na možnosti určení bdělosti.
- Na základě analýzy současného stavu navrhnete metodiku určení bdělosti s využitím dostupných prostředků nebo s využitím prostředků nově navržených. Navrhnete a realizujete experiment, jehož prostřednictvím bude možné zhodnotit vliv krátkého spánku na bdělost člověka.
- Získaná data vyhodnotíte prostřednictvím vhodných metod a porovnejte se současnými modely bdělosti.
- Výsledky interpretujte a diskutujte.
- Formulujte závěry a limitace práce.





- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Fatigue Countermeasures Working Group. Controlled Rest on the Flight Deck: A resource for operators. (2018).  
Cassie J. Hilditch, et al. "0200 The Prevalence of Controlled Rest as a Countermeasure to Sleepiness on the Flight Deck." (2019).

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Bc. Vladimír Socha, Ph.D.**  
**Ing. Viktor Valenta**

Datum zadání bakalářské práce: **8. října 2021**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **8. srpna 2022**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

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



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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

  
Martin Novotný  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 8. října 2021



## **Poděkování**

Předně bych chtěl poděkovat svým vedoucím této bakalářské práce panu doc. Ing. Bc. Vladimíru Sochovi a Ing. Viktoru Valentovi za jejich nadšení, ochotu a veškerou pomoc spojenou s její tvorbou. Mé díky patří i paní Ing. Lence Hanákové, která ač nebyla přímo vedoucí mé práce, výrazně také svými nápady a radami přispěla k jejímu vypracování. Děkuji také všem spolužákům, kteří se podíleli na přípravě či provádění experimentu nebo se jej účastnili. Na závěr bych chtěl také poděkovat své rodině, která mě v mých studiích po celou dobu podporovala.



### Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci s názvem Vliv řízeného odpočinku na bdělost vypracoval samostatně a použil jsem k tomu pouze zdroje uvedené na konci práce, a to v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským.

V Praze dne 8. srpna 2022

Martin Novotný



## Abstrakt

Cílem této práce bylo zhodnotit vliv řízeného odpočinku na bdělost pilota, a to při podmínkách letů na krátké či středně-dlouhé vzdálenosti. Bylo tak provedeno experimentálně, na simulátoru letounu Beechcraft Baron 58. Experimentu se účastnilo celkem 10 lidí (9 mužů a 1 ženy), pilotů ve fázi výcviku. Byli rozděleni do dvou nezávislých skupin podle doby provádění letu (večer/nad ránem). Každý z nich odletěl celkem 2 lety, jeden bez řízeného odpočinku a jeden s ním. Data o bdělosti byla sbírána za pomoci 5minutových PVT testů a eye-trackingu. Výsledná data neukázala významný rozdíl v bdělosti pilotů po řízeném odpočinku v porovnání s letem bez něj. Byl však detekován významný pokles bdělosti po dobu 30 minut po ukončení řízeného odpočinku, spjatý se spánkovou inercií. Další výzkum této problematiky je velmi potřebný.

**Klíčová slova:** Letectví, řízený odpočinek, bdělost, únava, spánková inercie



## **Abstract**

The goal of this study was to evaluate the influence of Controlled Rest on pilot's vigilance, under the conditions of short/medium haul flights. An experiment was carried out on the Beechcraft Baron 58 aircraft simulator. A total of 10 people (9 men and 1 woman) took part in the experiment. All of them were flight school students at the time. Each one piloted a total of 2 flights within the experiment, one without the Controlled Rest period and one with it. Data was collected using 5minute PVT tests and eye-tracking. The data showed no significant impact of the Controlled rest period on the pilot's vigilance. However, within the period of 30 minutes after the end of the Controlled rest, a significant decrease in the pilot's vigilance was detected. This decrease is most likely associated with sleep inertia. Further research on this topic is required.

**Key words:** Aviation, controlled rest, vigilance, fatigue, sleep inertia



## Obsah

Úvod	1
<b>1 Teoretický základ práce</b>	<b>3</b>
1.1 Únava	3
1.1.1 Dopady únavy na člověka	4
1.1.2 Únava v letectví	5
1.1.3 Způsoby zmírnění únavy	6
1.2 Bdělost	7
1.2.1 Bdělost a pracovní zatížení	8
1.2.2 Vliv denní doby na bdělost	9
1.2.3 Vliv automatizace na bdělost	9
1.2.4 Vliv vícesektorových letů na bdělost	10
1.3 Cirkadiánní rytmus	11
1.3.1 Chod tělesné teploty	12
1.3.2 Cirkadiánní útlum	13
1.4 Spánek	14
1.4.1 Fáze spánku	15
1.4.2 Spánkový kreditový systém	17
1.5 Řízený odpočinek	17
1.5.1 Problém spánkové inercie	19
1.5.2 Postupy a omezení při využití řízeného odpočinku	20
1.6 Analýza současného stavu	21
1.6.1 Selekce studií pro meta-analýzu	21
1.6.2 Analýza vybraných studií	24
1.7 Shrnutí	25
<b>2 Experiment</b>	<b>26</b>
2.1 Metody měření	26





2.1.1	PVT.....	26
2.1.2	Eye Tracking.....	27
2.2	Popis měřících zařízení.....	28
2.2.1	Software pro provádění PVT testů.....	28
2.2.2	Brýle pro sledování očí a program Pupil Capture.....	29
2.3	Popis experimentu.....	30
2.3.1	Subjekty.....	30
2.3.2	Letecký simulátor.....	31
2.3.3	Briefing a podmínky před experimentem.....	31
2.3.4	Parametry experimentu.....	32
2.3.5	Průběh experimentu.....	34
2.4	Způsob vyhodnocení dat.....	35
2.4.1	PVT.....	35
2.4.2	Eye-tracking – Frekvence mrkání a doba zavření očí.....	37
2.4.3	Statistická analýza.....	38
<b>3</b>	<b>Výsledky</b>	<b>39</b>
3.1	PVT.....	39
3.1.1	Let bez řízeného odpočinku vs. let s ním.....	39
3.1.2	Večerní vs. ranní let.....	40
3.1.3	Grafy.....	41
3.1	Eye-Tracking.....	44
3.1.1	Let bez řízeného odpočinku vs. let s ním.....	44
3.1.2	Večerní vs. ranní let.....	45
3.1.3	Grafy.....	46
<b>4</b>	<b>Diskuse</b>	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>Závěr</b>	<b>50</b>
	<b>Reference</b>	<b>52</b>



## Seznam obrázků

Obrázek 1. Yerkes-Donsonova křivka, vztah mezi výkonností a stresem. ....	8
Obrázek 2. Výsledky PVT testů Honnova experimentu. ....	11
Obrázek 3. Průměrná tělesná teplota v průběhu dne.....	13
Obrázek 4. Vliv cirkadiánního rytmu na bdělost – Výsledky PVT Testů.....	14
Obrázek 5. Typické rozdělení fází spánku v jeho průběhu.....	16
Obrázek 6. Příklad profilu řízeného odpočinku v rámci letu.....	18
Obrázek 7. Vývojový diagram selekce studií pro metaanalýzu řízeného odpočinku.....	23
Obrázek 8. Diagram znázorňující rozdělení získaných dat z experimentu.....	26
Obrázek 9. Uživatelské rozhraní programu PVT Manager.....	28
Obrázek 10. Rozhraní programu PVT Trial a vjem na obrazovce při testu.....	29
Obrázek 11. Eye-trackingové brýle použité při experimentu.....	30
Obrázek 12. Harmonogram experimentu.....	35
Obrázek 13. Grafy pro porovnání průměrných naměřených hodnot PVT Testy.....	40
Obrázek 14. Výsledky PVT testů Skupiny A.....	42
Obrázek 15. Výsledky PVT testů Skupiny B.....	43
Obrázek 16. Grafy pro porovnání naměřených hodnot z Eye-trackingu.....	45
Obrázek 17. Výsledná data z Eye-trackeru.....	46



## Seznam tabulek

Tabulka 1. Nejčastější projevy únavy.....	5
Tabulka 2. Nehody vyšetřované NTSB od 1. 1. 2001 do 31. 12. 2012.....	6
Tabulka 3. Behaviorální a fyziologická kritéria stavu probuzení a spánku.....	15
Tabulka 4. Klíčová slova, použítá pro vyhledávání studií v databázích.....	22
Tabulka 5. Analýza studií týkajících se řízeného odpočinku.....	24



## Seznam zkratek

AMSL	Above Mean Sea Level (Nad střední hladinou moře)
ANOVA	Analysis of variance (Analýza rozptylu)
CPT	Captain (Kapitán)
CR	Controlled Rest (Řízený odpočinek)
ČVUT	České vysoké učení technické
EEG	Elektroencefalografie
EMG	Elektromyografie
EOG	Elektrookulografie
FO	First Officer (První důstojník)
IATA	International Air Transport Association (Mezinárodní asociace leteckých dopravců)
ICAO	International Civil Aviation Organisation (Mezinárodní organizace pro civilní letectví)
IFALPA	International Federation of Air Line Pilots' Associations (Mezinárodní sdružení dopravních pilotů)
ILS	Instrument Landing System (Elektronický přístrojový přistávací systém)
ISA	International Standard Atmosphere (Mezinárodní standardní atmosféra)
MFD	Multi-function Display (Multifunkční displej)
NREM	Non-rapid Eye Movement
NTSB	National Transport Safety Board
PF	Pilot Flying (Pilot letící)
PM	Pilot Monitoring (Pilot monitorující)
PVT	Psychomotor Vigilance Task
REM	Rapid Eye Movement
RT	Reaction Time (Reakční čas)
SD	Standard Deviation (Standardní odchylka)
SEM	Slow Eye movement



SO	Second Officer (Druhý důstojník)
SWS	Slow-wave Sleep
TOD	Top of Descent (Bod počátku klesání)
WOS	Web of Science





## Úvod

S únavou se člověk setkává ve svém životě na denní bázi po celou dobu života. Každý člověk má svou hranici únavy, při které již začne jeho schopnosti významně ovlivňovat, nastavenou jinak. Její vliv na výkonnost člověka je tedy značně subjektivní.

V každodenním pracovním životě může únava být nepříjemná. Faktem však zůstává, že v mnoha dnešních profesích znamená únavou způsobené snížení pracovní výkonnosti pro v nich zaměstnané osoby téměř nulové bezpečnostní riziko. Existují však profese, kde tento jev bezpečnost výrazně snižuje. Jednou z nich je právě profese pilota.

Jakožto osoba, aktuálně účastnící se praktického pilotního výcviku, jsem se již mnohokrát dostal do situace, kde jsem na sobě negativní vlivy únavy při řízení letadla pociťoval. Zejména ztráta koncentrace, či degradace schopnosti efektivně vnímat své okolí byly těmi hlavními příznaky, se kterými jsem se osobně setkal. Bohužel, jakýkoli takovýto pokles kvality schopností pilota negativně ovlivňuje bezpečnost letu.

Není proto překvapením, že v letectví je v posledních desítkách let kladen velký důraz na omezení dopadů únavy na bezpečnost provozu. Tohoto je docíleno zejména kvalitním plánováním posádek s ohledem na dobu potřebnou pro odpočinek pilota po službě. Jakožto každý systém, ani tento však nefunguje vždy stoprocentně správně. Na úroveň únavy, respektive i bdělosti pilota má vliv velké množství faktorů. Stává ve proto, že i přes veškerou snahu tomu zabránit, nastane situace, kdy pilota v kokpitu přepadne silná únava. V takovém případě je jednou z možností řešení tohoto problému právě záměrný krátký spánek pilota (řízený odpočinek).

Cílem této práce je zhodnotit vliv řízeného odpočinku na bdělost pilotů při nočních letech, přičemž je předpokladem, že právě tento krátký spánek bude mít na bdělost pilota v pozdějších fázích letu vliv. Téma je řešeno experimentálně, a to sérií měření na leteckém simulátoru v prostotách Ústavu letecké dopravy ČVUT Fakulty dopravní. Odtud získaná data mohou pomoci udělat si lepší představu o tom, jakým způsobem krátký spánek v méně náročné fázi



letu ovlivňuje schopnost pilota vykonávat bezpečně let ve fázích pozdějších, kdy jsou kladeny vyšší nároky na jeho schopnosti.



# 1 Teoretický základ práce

Vzhledem k jisté komplexnosti této problematiky je nutné se, ještě před samotnou experimentální částí této práce, blíže seznámit nejen s pojmy jako je řízený odpočinek či bdělost, ale i některými dalšími, které jsou pro jejich pochopení potřebné. Jak bdělost, tak odpočinek ovlivňuje mnoho různých faktorů, které je také potřeba zmínit. Postupně proto budou navíc představeny a vysvětleny pojmy jako ku příkladu únava, cirkadiální rytmus či samotný proces spánku, které jsou s řešenou problematikou blízce spjaty. Díky tomuto vcelku širokému vhledu získáme hlubší pochopení bdělosti a řízeného odpočinku spolu s jak externími, tak interními vlivy, které je ovlivňují.

## 1.1 Únava

Zásadním problémem při zkoumání únavy či pouze při zohledňování jejich vlivů je absence definice, která by byla všeobecně uznávaná. Ku příkladu Williamson [1] tvrdí, že únavou se rozumí určitý konstrukt, spojující množství symptomů, vázaných na nedostatek odpočinku, s výslednými negativními vlivy těchto symptomů na lidskou výkonnost, vedoucích ke snížené schopnosti provést bezpečně a efektivně určitou činnost. Spojuje jí tedy výhradně s absencí odpočinku, nikoli však samotného spánku. Již zmíněné symptomy jsou poté výsledkem biologického tlaku na organismus s cílem přinutit ho k odpočinku a potřebné regeneraci.

S vlastní definicí únavy přišlo také ICAO. Definuje jí jako „*fyziologický stav snížené mentální, či fyzické výkonnosti, způsobený nedostatkem spánku, cirkadiální fází a/nebo pracovní zátěží, které mohou snížit ostražitost a schopnost adekvátně plnit provozní povinnosti, na nichž je závislá bezpečnost*“ [2]. Jedná se o značně komplexní definici, která již nezahrnuje pouze nedostatek spánku či odpočinku, ale také další podpůrné faktory, vedoucí k únavě člověka. I zde se objevuje konstrukt příčiny a důsledku. Budeme-li vycházet ze zmíněné definice, je možno si představit situaci, kdy vlivem nedostatku spánku, spojeným s letem v brzké ranní hodině (příčina) dojde ke snížení schopnosti pilota provést bezpečně konečné přiblížení (důsledek). Tento jev lze poté nazvat právě únavou. V letectví se při definování pojmu únavy používá nejčastěji právě definice ICAO.



Dle Åkerstedta [3] jsou nejčastějšími příčinami únavy v dopravě:

- a) Denní doba, ve kterou dochází k přepravě (zejména pak zvýšené riziko únavy hrozí v nočním provozu, či provozu v brzkých ranních hodinách).
- b) Dlouhé časové okno, ve kterém je určitá osoba nucena zůstat bdělá.
- c) Nedostatečná doba spánku před nástupem do služby.
- d) Patologická ospalost (například spánková apnoe).
- e) Dlouhá pracovní doba.

### 1.1.1 Dopady únavy na člověka

Únava je kumulativní jev. To znamená, že při dlouhodobém ignorování jejího nástupu, či nemožnosti s ní v určité situaci účinně bojovat, dochází k prohlubování a zvyšování intenzity negativních dopadů, které na člověka má. S rostoucí únavou pilota tedy kvalita a efektivita jeho aktivit v kokpitu klesá. Zásadním problémem je výrazná degradace schopnosti vykonávat činnosti s požadovanou úrovní konzistence [4]. Toto je značným problémem právě v leteckém průmyslu, kde jakákoli sebemenší odchylka od standardních provozních postupů, dočasné snížení pozornosti, či schopnosti se rychlého rozhodování může mít i katastrofální následky.

Významně také ovlivňuje komunikaci a spolupráci mezi piloty v kokpitu. Caldwell [5] upozorňuje, že unavení piloti mívají často tendence méně komunikovat, zdráhat se sociálních interakcí a dočasně se „do sebe uzavírat“. Nejen, že hrozí nepředání si důležitých informací mezi piloty, zároveň však vzniklá absence lidského hlasu může onu únavu ještě více prohlubovat.

Toto riziko bývá výrazné zejména při letu v cestovní hladině. V této fázi letu je venkovní šum v kokpitu, způsobený zejména motory a okolním vzduchem obtékajícím letadlo, vysoce monotónní. Frekvence tohoto šumu je zároveň z té nižší části slyšitelného spektra, u které je známo, že při dlouhodobějším poslechu má výraznější tendence ke zvyšování únavy člověka než hluk o frekvencích vyšších, ke kterým patří právě i lidský hlas [6].

Dle Bendaka [4] bylo prokázáno, že nedostatek spánku, respektive únava, má negativní dopady na činnost prefrontálního kortexu v lidském mozku. Tato část mozku slouží jako centrum



emocí, chování, tvůrčího myšlení, či slovního vyjadřování, které jsou jejím vlivem výrazně oslabeny. Jedná se o kritické aspekty výkonnosti u pilotů, které jsou zásadní pro úspěšné a zároveň bezpečné provedení letu. Nejde však pouze o prefrontální kortex, únavou bývají zasaženy i jiné části mozku, mající na starosti ku příkladu paměť či schopnost učit se.

Nejčastější projevy únavy u lidí shrnuje tabulka 1.

*Tabulka 1. Nejčastější projevy únavy [7]*

Symptomy a znaky únavy			
Fyziologické	Behaviorální	Kognitivní	Emocionální
Bolesti hlavy	Špatné spací návyky	Potíže se soustředěním	Depresivní stavy
Bolesti břicha	Zhoršený reakční čas	Potíže s pamětí	Úzkost
Zvýšený krevní tlak	Nevyrovnané chování	Nerozhodnost	Podrážděnost
Hyperventilace	Spavost		Ztráta sebedůvěry
Vyčerpanost			
Poruchy spánku			
Palpitace			
Gastrointestinální poruchy			

### 1.1.2 Únava v letectví

Negativní vliv únavy na letecký průmysl je dlouhodobě znám. Již ve třicátých letech dvacátého století byly v rámci amerického zákona o civilním letectví (Civil Aeronautical Act) vymezeny limitace pracovní doby dopravních pilotů, mající za cíl omezit dopady únavy na bezpečnost provozu [8]. I přes různé snahy regulačních orgánů, úřadů, či samotných leteckých společností v následujících dekádách však neustále zůstává významným rizikovým faktorem.

Marcus a Rosekind [9] provedli v roce 2016 analýzu 182 nejvýznamnějších nehod z několika odvětví dopravy, vyšetřovaných Národním úřadem pro bezpečnost Spojených států amerických (NTSB) v období od 1. 1. 2001 do 31. 12. 2012. Jednašedesát z těchto nehod se týkalo civilního letectví. Z tohoto počtu byla celkem u 14 z nich uznána únava za možnou příčinu, podpůrný





faktor nebo za nález. Jedná se o necelých 23 % nejvýznamnějších nehod vyšetřovaných NTSB v civilní letecké dopravě v tomto časovém rozmezí. Zmíněná data zobrazuje Tabulka 2.

Tabulka 2. *Nehody vyšetřované NTSB od 1. 1. 2001 do 31. 12. 2012. N – Počet vyšetřovaných nehod; I – Počet nehod, při kterých byla únava identifikována; P – Procentuální zastoupení nehod s vlivem únavy [9] (upraveno)*

Druh dopravy	N	I	P
<b>Letecká</b>	<b>61</b>	<b>14</b>	<b>23 %</b>
Automobilová	38	15	39.5 %
Železniční	41	7	17 %
Lodní	26	1	3.8 %
Potrubní	16	0	0 %
Celkové množství	182	37	20.3 %

### 1.1.3 Způsoby zmírnění únavy

Vzhledem k míře rizika, které únava v letectví přináší, je důležité definovat způsoby, kterými jsme schopni míru únavy pilota zmírnit. Tyto způsoby se dají rozdělit na ty prováděné za letu, před letem, či až po jeho skončení.

Z hlediska bezpečnosti je výhodnější zastavit nástup únavy opatřeními, aplikovanými ještě před začátkem samotného letu. Mezi ně patří zejména plánování leteckých posádek takovým způsobem, aby každá z nich měla mezi směnami dostatečnou dobu k odpočinku, a to i s přihlédnutím k dalším faktorům jako je například změna časových pásem. Omezení konzumace alkoholu, či vyvážená strava mohou pomoci nástup únavy zpomalit [10]. Důležitá je také osobní odpovědnost pilota. Pokud se před letem cítí být výrazně unaven měl by informovat svého zaměstnavatele a do služby raději nenastoupit.

Mezi základní metody zmírňování intenzity únavy za letu řadíme [11]:

- a) Krátký oddech od vykonávané činnosti, spojený se změnou držení těla, sníženou fyzickou aktivitou a zvýšenou sociální interakcí, v angličtině známé jako „*activity breaks*“.



- b) Spánek na lůžku při dálkových, či ultradálkových letech se zesílenou, nebo zdvojenou, posádkou.
- c) Zvýšené vystavení pilota dostupnému osvětlení na v pilotní palubě.
- d) Příjem kofeinu (pro krátkodobé snížení projevů únavy).
- e) Krátké, plánované, zdřímnutí si v průběhu méně náročné fáze letu – řízený odpočinek.

Tato metoda je podrobně rozebírána v kapitole 1.5.

Åkerstedt a Landström také zmiňují účinnost vystavení měnícím se zvukovým vjemům či snížení teploty v pilotní kabině [12].

## 1.2 Bdělost

Bdělost (angl. *vigilance*) definujeme jako úroveň aktivace centrálního nervového systému (CNS) po určitý časový úsek [10]. Vysoká úroveň bdělosti se projevuje stabilní, trvalou schopností člověka udržovat pozornost, zejména proti hrozícímu nebezpečí [13]. Občas bývá mylně zaměňována s ostražitostí (angl. *alertness*). Jedná se však o dvě, byť si navzájem blízká, svým významem však mírně odlišná slova. Pro pochopení rozdílů a vztahů mezi nimi je vhodné se blíže seznámit nejen s tím, co ona ostražitost znamená, ale i dalším důležitým termínem, kterým je vzrušení (angl. *arousal*).

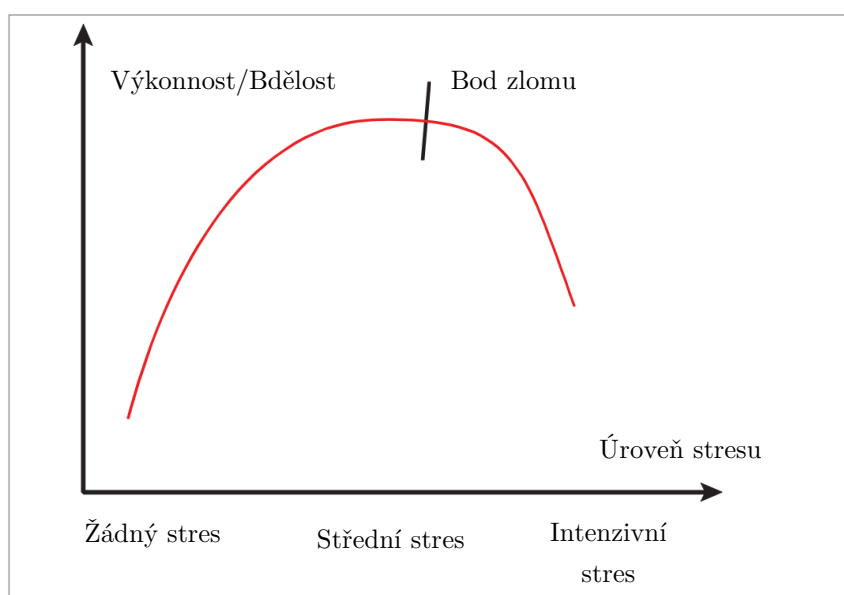
Ostražitost vnímáme jako určitý kognitivní stav jedince, jeho schopnosti reagovat na podněty. Vzrušením definujeme obecně stav aktivace předního mozku (prosencephalonu) [14]. K této aktivaci dochází vlivem smyslových vjemů, které získáváme z okolního světa. V kokpitu se může jednat ku příkladu o volání letadla řídicím, kontaktování pilota palubní posádkou, jinou osobou v pilotní kabině, vizuálním či zvukovým varováním přístroji v letadle. Je spjat s aktivitou sympatického nervového systému. Může se projevovat různými způsoby (zvýšená tepová frekvence, rozšíření zornic), které však nutně nemusí korelovat s úrovní ostražitosti dané osoby. Zvýšená ostražitost nemusí nutně znamenat zvýšenou úroveň vzrušení organismu a opačně. Při přehlcení organismu vnějšími vjemy (přílišným vzrušením) nad určitou mez, míra jeho ostražitosti, bdělosti a výkonnosti klesá. Tento jev je blíže popsán v následující kapitole.

Dá se říci, že se jedná se tedy o dva psychologicky, fyziologicky a neuroanatomicky odlišné procesy [15].

Ostražitost se dělí na dva typy – fázovou a tonickou. Fázová ostražitost se vyznačuje rychlými změnami pozornosti vyvolaných náhlými událostmi. Projevuje se v situacích, ve kterých je potřebné využití selektivní pozornosti. Naopak, tonická ostražitost je závislá na úrovni vnitřního duševního vzrušení (angl. *intrinsic arousal*), fluktuujícím v řádech minut až hodin. Má významný podíl na dlouhodobém udržování pozornosti [16]. Jedná se právě o tuto tonickou ostražitost, jenž definujeme jako bdělost.

### 1.2.1 Bdělost a pracovní zatížení

Bdělost je blízce navázaná na stres a pracovní zatížení (angl. *workload*). Tento vztah popisuje Yerkes–Dodsonův zákon [15]. Při nízké úrovni stresu, či pracovním vytížením není člověk vystaven přílišnému množství smyslových vjemů, což se projevuje sníženou bdělostí. Pokud dochází k nárůstu informací přijímaných organismem, tak se stres zvyšuje a úroveň bdělosti roste. Toto se děje až do určitého bodu zlomu, kdy množství vjemů přeroste určitou míru, kterou je lidský mozek schopný zvládnout. Dochází k jeho přehlcení, dostavuje se intenzivní stres. Bdělost (spojená s celkovou výkonností), klesá [10]. Tento fyziologický jev je graficky vyjádřen Yerkes-Dodsonovou invertovanou U-křivkou. Ta je vidět na Obrázku 1.



Obrázek 1. Yerkes-Dodsonova křivka, vztah mezi výkonností a stresem [10] (upraveno).



### 1.2.2 Vliv denní doby na bdělost

Nejen přetížení organismu a únava může vést ke degradaci úrovně bdělosti. Cirkadiální rytmy vázané na denní dobu ji také výrazně ovlivňují. Dinges [17] zjistil, že množství reakcí na podněty v PVT (Psychomotor Vigilance Task) testech, pomalejších než 0.5 sekundy (tzv. PVT Lapse), v noci, může být až pětkrát vyšší než ve dne. Toto značí výrazný pokles bdělosti.

Piloti by si této skutečnosti měli být vědomi a přijmout adekvátní opatření, aby takto vzniklá rizika eliminovali nebo při nejmenším omezili. Účinnou metodou v tomto případě může být ku příkladu i pouhé udržování mezilidské konverzace. Dochází k vytržení z monotónní atmosféry nočního letu, a zároveň je možné na základě jak verbálního, tak i neverbálního vyjadřování posoudit úroveň bdělosti sebe, či druhého pilota.

### 1.2.3 Vliv automatizace na bdělost

K nahrazení určitých činností člověka přístroji dochází v civilním letectví již přibližně od poloviny dvacátého století. V dnešní době již po naprostou většinu času je letadlo řízeno autopilotem. Úkolem pilota je pouze jeho obsluha a monitorování, samotné manuální řízení letu probíhá jen v krátkém časovém úseku při vzletu a většině přistání. Nejen to, posledních letech je již dokonce i většina informací o odchylkách od normálu a varování zobrazována na MFD (Multifunkční displej). Pilot tak má i jednoduchý přístup velkému množství informací o letadle i bez toho, aby neustále skenoval stav systémů letadla.

Cílem této automatizace je snížení pracovní zátěže pilota, který je poté v namáhavějších situacích schopen lépe optimalizovat svou činnost. Má to však i svou odvrácenou stránku. Zvyšování automatizace, zejména v klidných fázích letu (let v hladině), vede k poklesu pracovního zatížení. To, jak již bylo několikrát zmíněno, negativně ovlivňuje bdělost pilota. Touto problematikou se zabýval Masaloni [18]. Závěry jeho práce ukazují významné zvýšení doby potřebné k identifikaci nezvyklé polohy letadla při použití automatizace. Jedná se o přímý důkaz poklesu bdělosti vlivem automatického řízení letadla.



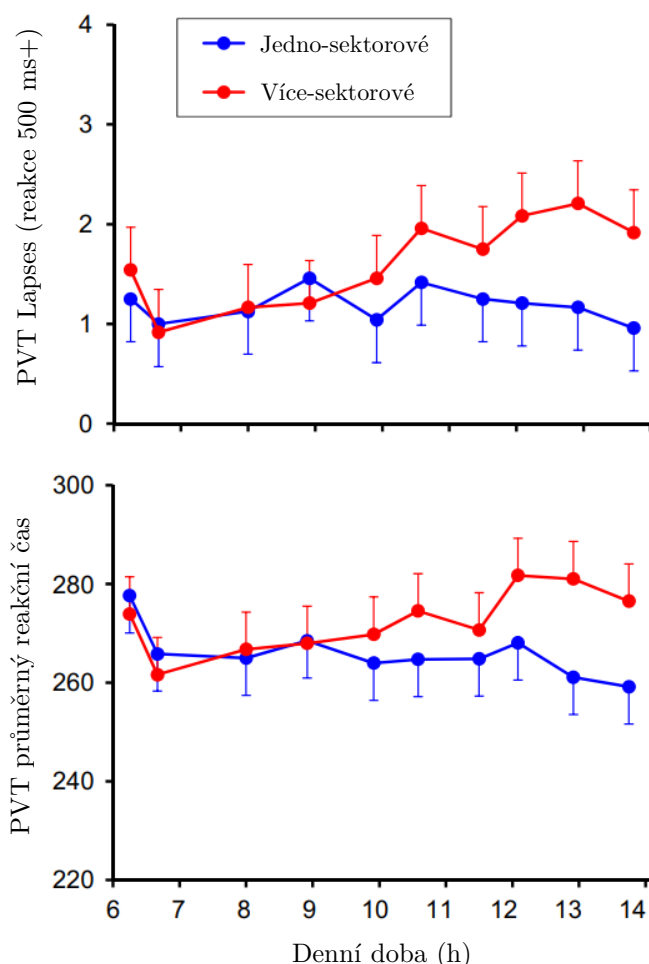
#### 1.2.4 Vliv vícesektorových letů na bdělost

Dalším aspektem, který má v prostředí letecké dopravy vliv na bdělost pilota je počet sektorů, které v rámci svého služebního dne v kabině letounu absolvuje [19]. Se zvyšujícím se množstvím sektorů se také zvyšuje množství těch náročnějších částí letu, jako je vzlet a přistání, vedoucí k značenému nárůstu únavy u letových posádek. V dnešní době navíc dochází zejména z ekonomických důvodů, ze strany aerolinií, ke zvyšování tlaku na piloty neustálým zkracováním doby mezi jednotlivými lety (angl. *turnaround time*) [20]. Tento fakt pak ještě více napomáhá k vyčerpání pilotů při vícesektorových letech, což snižuje jejich bdělost za letu.

Tímto tématem se zabýval právě Honn [19]. Jeho experimentu se účastnilo čtyřadvacet aktivních pilotů, z nichž dvanáct bylo kapitánů a dvanáct prvních důstojníků. Jejich průměrný nálet byl v řádech tisíců hodin. Měření bylo provedeno na simulátoru letounu CRJ-200. Celková doba experimentu byla 9 hodin. Každá posádka byla tvořena kapitánem a prvním důstojníkem. Simulovaná doba ve službě byla 9 hodin. V jednom dni posádka provedla pouze jeden let, trvající okolo 8 hodin, ve dni druhém pak ve stejném časovém okně provedla letů pět. U posádek byla bdělost, mimo jiné, měřena 10minutovými PVT testy. Analýza výsledků byla poté provedena pomocí analýzy rozptylu (ANOVA).

Výsledky Honnova experimentu lze vidět na Obrázku 2. Množství nedostatečně rychlých reakcí u PVT testu se u více-sektorového letu zvýšilo ( $P=0.003$ ). Nápodobě tomu bylo i u reakčního času. Ten byl také u více-sektorových letů výrazně vyšší ( $P<0.001$ ) [19]. Tyto výsledky indikují významný nárůst únavy a pokles bdělosti u více-sektorových letů.





Obrázek 2. Výsledky PVT testů Honnova experimentu [19] (upraveno).

### 1.3 Cirkadiánní rytmus

Jedná se o základní periodický cyklus, který se objevuje u lidí a jiných žijících organismů. Jeho hlavním cílem je monitorovat chod dne a noci. Projevuje se obdobím zvýšené a snížené tělesné aktivity, která osciluje v průběhu přibližně 24 hodin. Maximálních hodnot (akrofáze) dosahuje okolo páté až šesté hodiny večerní, naopak minima (batyfáze) mezi čtvrtou a osmou hodinou ránní. Je dán vnějšími faktory jako například dobou východu a západu slunce, intenzitou okolního světla, návyky na příjem potravy v určitý čas, či pravidelně se opakující zvýšenou hladinou hluku (časy špiček automobilové dopravy) [10].

Nejvýznamnější vliv má právě vnímané světlo, blízce spojené s východem a západem slunce. Cirkadiánní tělesné hodiny o něm získávají informace ze speciálních buněk na sítnici lidského



oka, citlivých na modré světlo. Toto speciální nervové spojení není nijak navázáno na samotné vidění [2].

Jedná se o jeden ze dvou hlavních procesů, které mají vliv na kvalitu a čas spánku. Cirkadiální tělesné hodiny jsou spojeny s centry podporující spánek a probouzení v lidském mozku [2]. Jsou to právě ony tělesné hodiny, které způsobují nárůst ospalosti v obdobích cirkadiálního útlumu, vlivem zvýšení hladiny hormonu melatoninu v mozku [21].

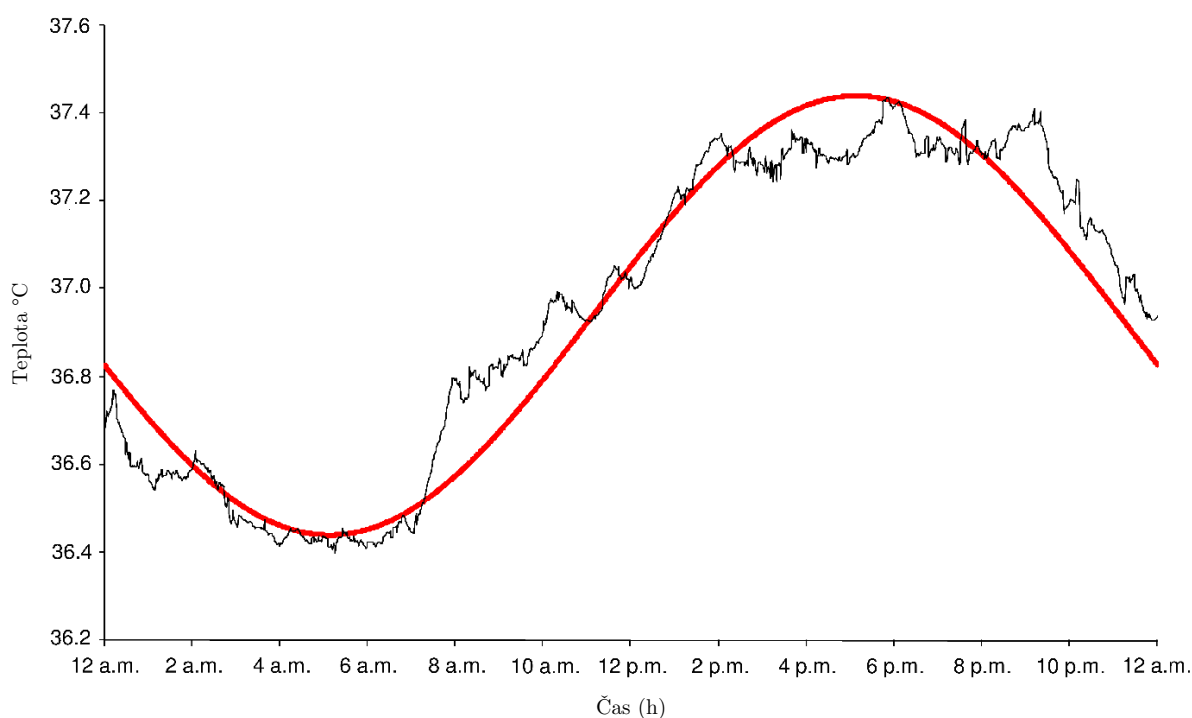
Tento denní chod je měřitelný, dochází při něm k pravidelným fluktuacím určitých parametrů, udávajících aktuální stav lidského těla. Řadíme mezi ně ku příkladu teplotu těla, krevní tlak, tepovou frekvenci, smyslovou ostrážitost (angl. *sensory acuity*) a hladinu mozkových neurotransmiterů [10]. Na základě těchto kritérií jsme schopni rozlišit jednotlivé fáze cirkadiálního rytmu.

### 1.3.1 Chod tělesné teploty

Tendence lidského těla přejít do spánku jsou přímo navázány na tělesnou teplotu. Nutno zdůraznit, že tělesnou teplotou je v rámci této kapitoly myšlena teplota v jádře těla. Bylo totiž dokázáno, že chod teploty těla na jeho povrchu a v jádře je obrácený [22].

Platí, že se zvyšující se teplotou ospalost klesá. Nejvyšší teplota těla nastává okolo již zmíněných pěti až šesti hodin denně, což se projevuje vysokou bdělostí organismu, nejnižší těsně nad ránem, kdy je bdělost minimální a výkonnost pilota je nejvíce optimalizována [10].

Je pro nás tedy praktické, právě za pomoci grafu tělesné teploty, přibližně ilustrovat sinusoidu cirkadiálního rytmu. Ta je dobře patrná na Obrázku 3, zobrazujícím průměrné hodnoty tělesné teploty dvaceti dospělých osob v průběhu dne, měřených každých 60 sekund [23]. Samotný chod cirkadiálního rytmu je ilustrován proložením „best-fit“ křivky tvaru funkce sinus.



Obrázek 3. Průměrná tělesná teplota v průběhu dne [23] (upraveno).

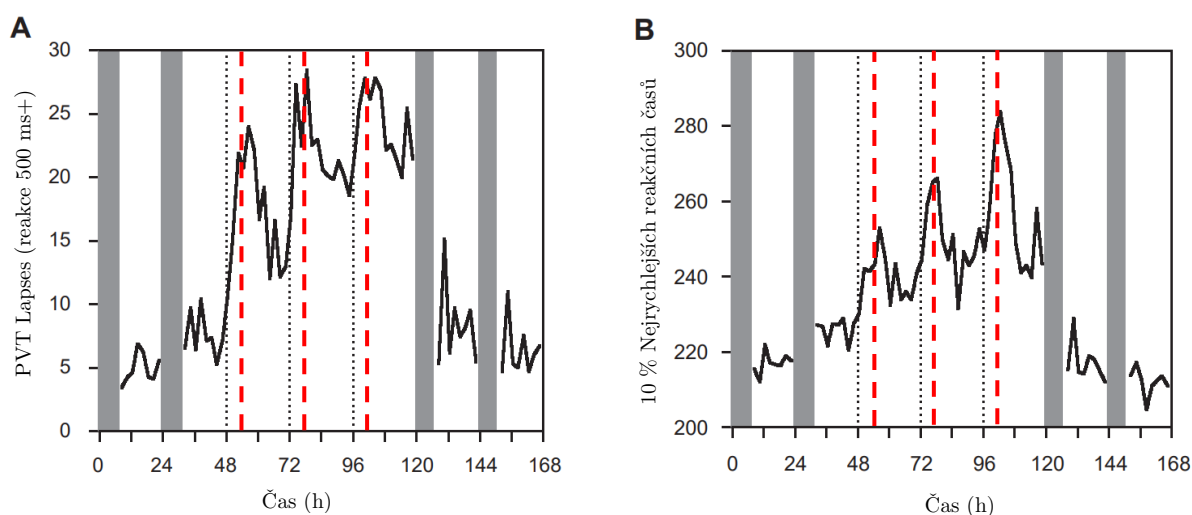
### 1.3.2 Cirkadiánní útlum

Cirkadiánní útlum nebo také batyfáze cirkadiánního rytmu, je období snížené psychofyzilogických schopností, v čase, kdy lidské tělo naprogramováno ke spánku [24]. Přesné vymezení časového okna, ve kterém k němu dochází je vlivem značné individuálnosti složité definovat. Obecně se udává právě již dříve zmiňovaných pět až šest hodin ráno, v některých studiích se však hovoří i o značně delším či časově odlišném období. Vyznačuje se, mimo jiné, i sníženou bdělostí.

Právě vlivem cirkadiánního rytmu na bdělost se zabýval Van Dongen [25]. Jeho experimentu se účastnilo celkem 13 mužů, o průměrném věku 27.3 let (SD:  $\pm 4.6$  let). Tito lidé strávili celkem 10 dní v kontrolovaném laboratorním prostředí. Po jednom dni adaptace a dvou osmihodinových oknech spánku byli nuceni zůstat po následujících 88 hodin bdětí. Úroveň jejich bdělosti byla poté měřena desetiminutovými PVT testy. Výsledky Van Dongenova měření zobrazuje Obrázek 4. Pro lepší zřetelnost na něm byla období očekávaného cirkadiánního útlumu (6 hodin ráno) znázorněna červenou přerušovanou čarou. Na Obrázku jsou patrné oscilace úrovně bdělosti projevující se periodickými změnami reakčního

času i počtu reakcí pomalejších než 500 milisekund. Svého maxima, indikujícího nízkou bdělost člověka, oba tyto indikátory dosahují právě v době odpovídající cirkadiánnímu útlumu. Dá se zde tedy pozorovat jednoznačná spojitost mezi fází cirkadiánního rytmu člověka a úrovní bdělosti, zejména pak negativní vliv cirkadiánního útlumu na bdělost.

Pro letecký průmysl se jedná o důležité poznatky. Vidíme totiž, že k výrazné degradaci psychomotorických schopností dochází již v prvním okně útlumu, které není alespoň částečně vyplněno spánkem. Riziko poklesu bdělosti pilota tedy, zejména po celonočních letech, kdy pilot nemá možnost spánku, výrazně narůstá. To se může následně projevit na bezpečnosti letu. Je tedy vhodné brát dopad cirkadiánního rytmu v takovýchto podmínkách, při provádění letu, v úvahu.



Obrázek 4. Vliv cirkadiánního rytmu na bdělost – Výsledky PVT Testů [25] (upraveno).

Šedá okna znázorňují spánek, červené přerušované linie období cirkadiánní batyfáze.

## 1.4 Spánek

Definice spánku se stejně jako u již zmíněné únavy či bdělosti v čase značně měnila. V dnešní době je výzkumníky, studujícími lidský spánek, definován jak na bázi změny chování, tak i na základě fyziologických změn, projevující se změnou elektrických rytmů v mozku při spánku [26]. Na rozdíl od smrti nebo kómatu se jedná se o vratný stav bezvědomí.



První zmíněné kritérium, změna chování, se projevuje zejména žádnou, či pouze minimální, mobilitou jedince. Dále pak ku příkladu zavřená oči, snížení reakcí na vnější podněty a zvýšení reakční doby jsou zřetelnými projevy spánku. Kritéria stavu probuzení a spánku shrnuje Tabulka 3. Spánek je aktivní anabolický stav. To znamená, že podporuje růst i stimuluje imunitní systém [27]. Druhá (fyziologická) kritéria jsou založena na zjištěních z elektroencefalografie (EEG), elektrookulografie (EOG) a elektromyografie (EMG). Za jejich pomoci detekujeme určité procesy a fyziologické změny, spojené s usínáním [26].

Právě za pomoci zmíněných fyziologických měření (EEG, EOG, EMG) dělíme spánek na dva stavy: REM a NREM. V ideální situaci se stavy REM a NREM cyklicky střídají každých 90 až 110 minut. U normálního spánku, u dospělé osoby, dojde průměrně k čtyřem až šesti takovýmto cyklům [27]. Aby se plně projevily pozitivní vlivy spánku na člověka, je důležité, aby obsahoval právě tyto nenarušené cykly REM a NREM [2].

Tabulka 3. Behaviorální a fyziologická kritéria stavu probuzení a spánku [26].

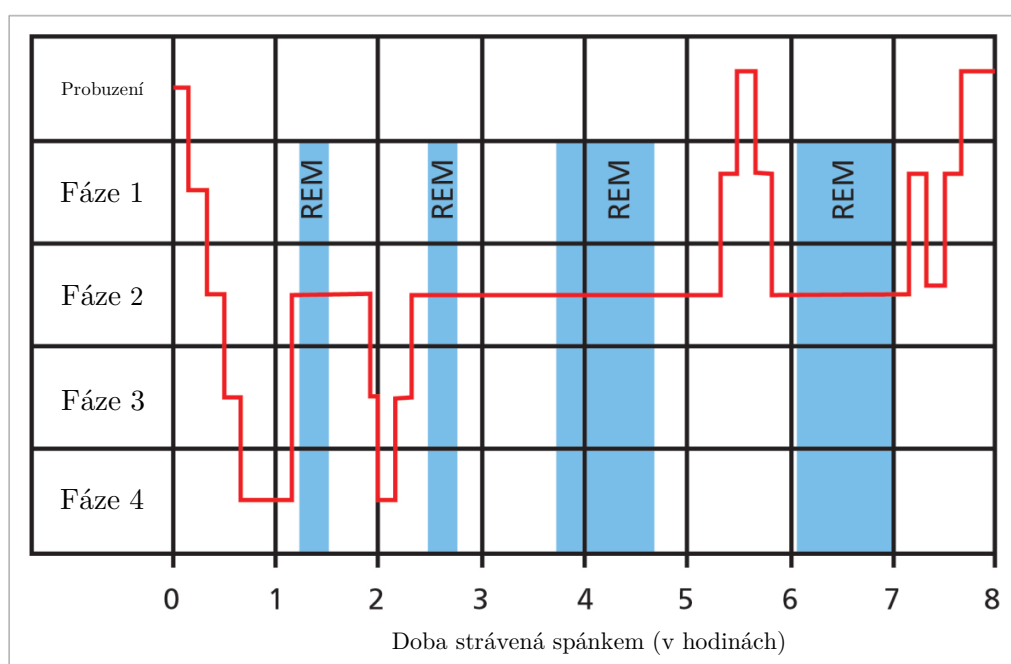
Kritérium	Stav probuzení	Spánek NREM	Spánek REM
Držení těla	Vzpřímené, sedící	Ležící	Ležící
Mobilita	Normální	Mírně snížená, či bez pohybu.	Výrazně snížená, či bez pohybu
Odpověď na stimulaci	Normální	Mírně až výrazně omezená	Výrazně omezená, bez odpovědi
Úroveň ostražitosti	Ostražitý	Vratný stav bezvědomí	Vratný stav bezvědomí
Oční víčka	Otevřená	Zavřená	Zavřená
Pohyb očí	Pohyby bdělého oka	Pomalé valivé pohyby	Rychlé pohyby (REM)

#### 1.4.1 Fáze spánku

Spánek NREM zabírá přibližně 75 až 80 procent celkové doby spánku průměrného člověka. Lidskému tělu napomáhá k růstu a opravě tkání. Dělíme jej na celkem čtyři fáze, avšak právě poslední dvě mohou být, a také často jsou, slučovány do jedné. Ta je pak nazývána jako Fáze 3 SWS (slow wave sleep). Fáze 1 zabírá přibližně 3–8 % spánku, Fáze 2 poté 44–55 % spánku a poslední dvě 15–23 % [27].

Při první fázi dochází k pomalým pohybům očí [27]. Jedná se o fázi přechodu ze stavu bdělosti do spánku. Spánek je v této fázi pouze lehký, pokud takto spící osobu probudíme, může mít pocit, že doopravdy vůbec nespala. První fáze většinou netrvá déle než 10 minut. Z této počáteční fáze člověk postupně přechází do fáze 2. Fáze 2 zaujímá téměř polovinu celkové doby spánku. Při usínání v ní člověk stráví přibližně 20 minut. Poté dochází k přechodu do fází 3 a 4, v průběhu noci se do ní však ještě několikrát vracíme. Část druhé fáze vyplňuje i REM spánek. Fázím 3 a 4 se také přezdívá ortodoxní spánek. Nedochozí k žádným pohybům očí, pod očními víčky jsou stacionární. Také se projevuje relaxací svalů a občasnými „dusícími se“ sny [26]. V průběhu života se celková doba trvání čtvrté fáze, s rostoucím věkem, snižuje [27]. Chod těchto fází v průběhu noci shrnuje Obrázek 5.

Spánek REM zabírá u průměrného zdravého člověka okolo 20–25 % celkové doby spánku [27]. Dochází při něm k občasným pohybům očí pod víčky. Ty jsou často spojeny se záškuby svalů a nepravidelnostmi v dechové a srdeční aktivitě. Tělo není schopno se pohybovat na základě pokynů mozku. Mozková aktivita se podobá jeho aktivitě při probouzení. Informace z předchozího dne jsou konsolidovány, tříděny a postupně uchovávány do vzpomínek [2]. Napomáhá také dobrému emočnímu rozpoložení člověka [10].



Obrázek 5. Typické rozdělení fází spánku v jeho průběhu [10] (upraveno).



### 1.4.2 Spánkový kreditový systém

Základní myšlenkou spánkového kreditového systému je fakt, že únava, na rozdíl od spánku, je kumulativní. Pokud očekáváme nutnost zůstat delší dobu bdělí, nepomůže nám, pokud před tím strávíme výrazně delší dobu na lůžku. Právě z tohoto důvodu se může o spánku uvažovat jako o kreditním a debetním systému. V něm každý člověk dostává dva kredity za jednu hodinu spánku. Maximální počet získatelných kreditů je 16, což odpovídá celkem 8 hodinám spánku [10]. Pokud tedy spíme ku příkladu deset hodin, dostaneme také pouze 16 bodů, ne dvacet. Za každou hodinu, kdy je člověk vzhůru mu je jeden kredit odebrán. V případě zisku plného počtu kreditů ze spánku, tedy šestnácti, trvá celkem 16 hodin, než dosáhne opět nuly. Počet kreditů, které je možno ztratit, na rozdíl od těch získaných spánkem, není nijak limitován. Čím méně kreditů člověk v určitý moment má, tím vyšší tendence ke spánku máme.

Ideálním stavem je denní cyklus 8 hodin spánku a 16 hodin stavu bdělosti. Pokud se poměr doby bdění a spánku oproti tomuto standardu zvyšuje, dochází k postupné ztrátě bodů až do mínusových hodnot. Tomuto jevu se říká kumulativní spánkový dluh. Pokud víme, že jsme se do něj dostali, je nutné počítat se sníženou výkonností. Ta může být dále prohloubena i vlivem zvýšené nadmořské výšky při letu [10].

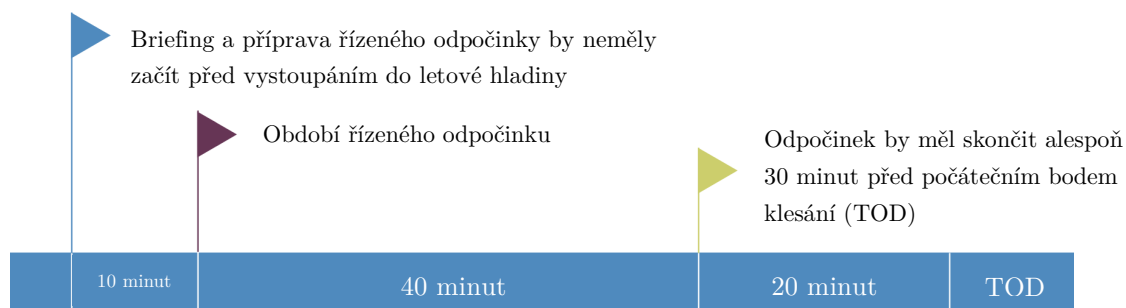
Kabiny dopravních letadel jsou sice přetlakovány, avšak z důvodu snížení namáhání konstrukce se kabinová výška (výška v standardní atmosféře ISA, ve které je tlak vzduchu roven tlaku v kabině letounu), pohybuje přibližně okolo tří kilometrů nad hladinou moře. Právě snížený tlak vzduchu na palubě letounu poté únavu prohlubuje [10].

### 1.5 Řízený odpočinek

Řízeným odpočinkem v kokpitu letadla rozumíme krátké časové okno sloužící ideálně ke spánku, či alespoň odpočinku pilota od aktivit spojených s řízením letounu. Výrazně se liší se od spánku za letu v dedikovaných prostorech při provozu v zesílených posádkách (více než minimální počet členů posádky), kdy pilot kokpit opouští, a to většinou na dobu

i několika hodin. Při odpočinku ve vyhrazených prostorech je doba a pořadí odpočinku jednotlivých členů posádky zpravidla plánováno ještě před samotným letem.

Řízený odpočinek se předem neplánuje. Pilot při něm zároveň neopouští svou sedačku. Jeho hlavním cílem je eliminovat negativní projevy únavy ve chvílích, kdy únava nastoupí neočekávaně. Zároveň z důvodu spánkové inercie je maximální doba jeho trvání omezena čtyřiceti minutami, po které následuje časové okno přibližně třiceti (avšak ne méně než dvaceti) minut, jehož úkolem je umožnit pilotovi, využívajícího řízeného odpočinku, se postupně zotavit, probrat ze spánku a znovu se navrátit k činnostem v kokpitu. Celý řízený odpočinek i následná aklimatizace po něm by měly probíhat v nenáročném fázi letu – letu v hladině. Před samotným odpočinkem je také důležité provést adekvátní briefing. V něm se zmíní, který z pilotů jej bude využívat a po jakou dobu a za jakých podmínek bude ukončen. Takovýto briefing by zároveň neměl začít dříve než po dostoupení do letové hladiny [28]. Přibližný časový profil řízeného odpočinku ilustruje Obrázek 6.



Obrázek 6. Příklad profilu řízeného odpočinku v rámci letu [28] (upraveno).

Přesto, že je řízený odpočinek účinný způsob boje s únavou na palubě letounu, neměl by být zohledňován při procesu plánování letu a posádek. Ač se to v praxi příliš často neděje, ICAO doporučuje každé využití řízeného odpočinku hlásit, aby Systém řízení bezpečnosti letecké společnosti mohl vyhodnotit, zda aktuální opatření pro boj s únavou posádek jsou dostatečná. Neměl by být používán jako metoda prodloužení pracovní doby pilota. Postupy a procedury pro použití řízeného odpočinku by měly být publikovány a obsaženy ve *Fatigue training programme* letecké společnosti [29].





### 1.5.1 Problém spánkové inercie

Bylo zjištěno, že proces probouzení se ze spánku do stavu plné bdělosti není náhlý proces, kdy by docházelo k okamžitému přechodu mezi těmito dvěma stavy. Jedná o postupný přechod [30]. Spánkovou inercií rozumíme stav, kdy po probuzení osoba pocítuje vratkost, dočasnou dezorientaci, zmatení a sníženou výkonnost [29]. Občas je také přezdívána „spánkovou opilostí“ (angl. *sleep drunkenness*). Ačkoli její původ není plně objasněn, její existence se vysvětluje buďto protichůdnými potřebami mozku (spánek a náhlá aktivita), vedoucími k jeho zmatení, nebo potřebou mozku na postupné probouzení z důvodu jeho vysoké komplexity [30].

Délka a intenzita takovéto inercie je závislá zejména na míře únavy a fázi spánku ze které je osoba probuzena. Se zvyšující se únavou síla dopadů spánkové inercie roste. Taktéž je tomu i při probuzení z již dříve zmíněné SWS (Slow wave sleep) fáze spánku či probuzení v době cirkadiánního útlumu [29].

Právě nástup SWS fáze spánku (fáze 3 a 4 NREM) je pro dobu řízeného odpočinku limitující. Dochází k němu přibližně po 40. minutě od doby usnutí. U osoby, která se do této fáze dostane se délka a intenzita spánkové inercie výrazně zvyšuje. V kokpitu dopravního letounu by se tak výrazně prodlužovala doba, po kterou by pilot po probuzení nebyl schopen dostatečně plnit své úkoly a bezpečně řídit letadlo. Z tohoto důvodu je maximální doba řízeného odpočinku většinou limitována právě 40 minutami.



### 1.5.2 Postupy a omezení při využití řízeného odpočinku

ICAO, IATA a IFALPA provedly průzkum doporučených postupů využití řízeného odpočinku významných leteckých společností. Tento seznam požadavků nemá sloužit jako manuál k jeho aplikaci v praxi, avšak reflektuje zkušenosti a bezpečnostní doporučení spojené s řízeným odpočinkem z mnoha částí světa. Je úkolem každého provozovatele stanovit si, jaké opatření a postupy bude užívat [29].

- a) Pouze jeden pilot by měl využívat řízeného odpočinku v jeden moment. Jeho bezpečnostní pásy by měly být utáhnuty a sedadlo nastaveno tak, aby bylo minimalizováno riziko nežádoucího kontaktu s řízením.
- b) Řízeného odpočinku by mělo být využíváno pouze se souhlasem kapitána letu.
- c) Doba odpočinku by měla být přesně stanovena, pokud si to kapitán či provozní okolnosti vyžadají, musí být odpočinek okamžitě ukončen.
- d) Kapitán by měl stanovit kritéria, za kterých bude řízený odpočinek ukončen.
- e) Předání povinností a opatření při probouzení by mělo být prokonzultováno mezi piloty.
- f) Posádky mohou využívat řízeného odpočinku pouze pokud projdou adekvátním výcvikem či školením.
- g) Některé společnosti požadují třetího člena posádky (ne nutně pilota) aby dohlížel na průběh řízeného odpočinku. Mezi formy dohledu patří informování palubních průvodců o řízeném odpočinku, kdy po jeho ukončení se právě člen palubních průvodců ujistí o jeho ukončení. Častá je také samotná přítomnost třetího člena posádky v kokpitu po dobu odpočinku.
- h) Řízený odpočinek by měl být využit pouze při letu v hladině a do doby maximálně 30 minut před dosažení TOD.
- i) Před samotným odpočinkem by si piloti měli vyhradit moment pro jeho přípravu. Ta by měla obsahovat briefing, či dokončení aktuálních úkolů posádky.
- j) Při řízeném odpočinku by měl bdělý pilot provádět povinnosti jak pilota letícího, tak i monitorujícího. Zároveň za žádných okolností nesmí opustit své sedadlo.



- k) Plánovaná doba odpočinku by neměla přesahovat 40 minut, aby došlo ke zvýšení ostražitosti pilota, ale zároveň nedocházelo k přílišnému odtržení od výkonu pilotní činnosti a minimalizoval se vliv spánkové inercie [29].

Z již zmíněného průzkumu byly získány i určitá omezení, která jsou při použití řízeného odpočinku doporučena.

- a) Autopilot a automatická regulace tahu by měly být funkční.
- b) Jeden pilot by měl být ve všech chvílích plně schopen ovládat letadlo a udržovat situační povědomí.
- c) Oba piloti by měli zůstat na svých pozicích [29].

Jak již bylo zmíněno dříve, je také doporučeno hlásit využití řízeného odpočinku bezpečnostnímu oddělení. Takovéto informace mohou být důležité pro zhodnocení, zda aktuální prostředky a opatření proti únavě pilotů jsou v letecké společnosti dostačující [2].

## 1.6 Analýza současného stavu

Cílem této části práce bylo zhodnotit současný stav vědeckých znalostí problematiky řízeného odpočinku v leteckém provozu, zejména však se zaměřením na provoz na krátkých linkách. Původním cílem analýzy bylo zhodnotit studie, týkající se čistě jen vlivu řízeného odpočinku na bdělost pilota v již zmíněných podmínkách. Vzhledem k úplné absenci takovýchto studií jsou však nakonec v této kapitole zhodnoceny veškeré studie týkající se řízeného odpočinku při krátkých či středně dlouhých letech.

Ač se výsledné informace z analyzovaných studií příliš netýkají tématu této práce, jsou důležité k pochopení toho, jaké aspekty řízeného odpočinku v těchto podmínkách byly již zkoumány. Zároveň také ilustrují nedostatečnou úroveň výzkumu dopadu řízeného odpočinku pilota na krátkých a středně dlouhých linkách, zejména pak z hlediska jeho bdělosti.

### 1.6.1 Selekce studií pro meta-analýzu

Soubor vědeckých článků byl získán ze dvou databází – Web of Science (WOS) a Scopus. Klíčová slova, použitá pro vyhledávání v těchto databázích jsou obsažena v Tabulce 4.

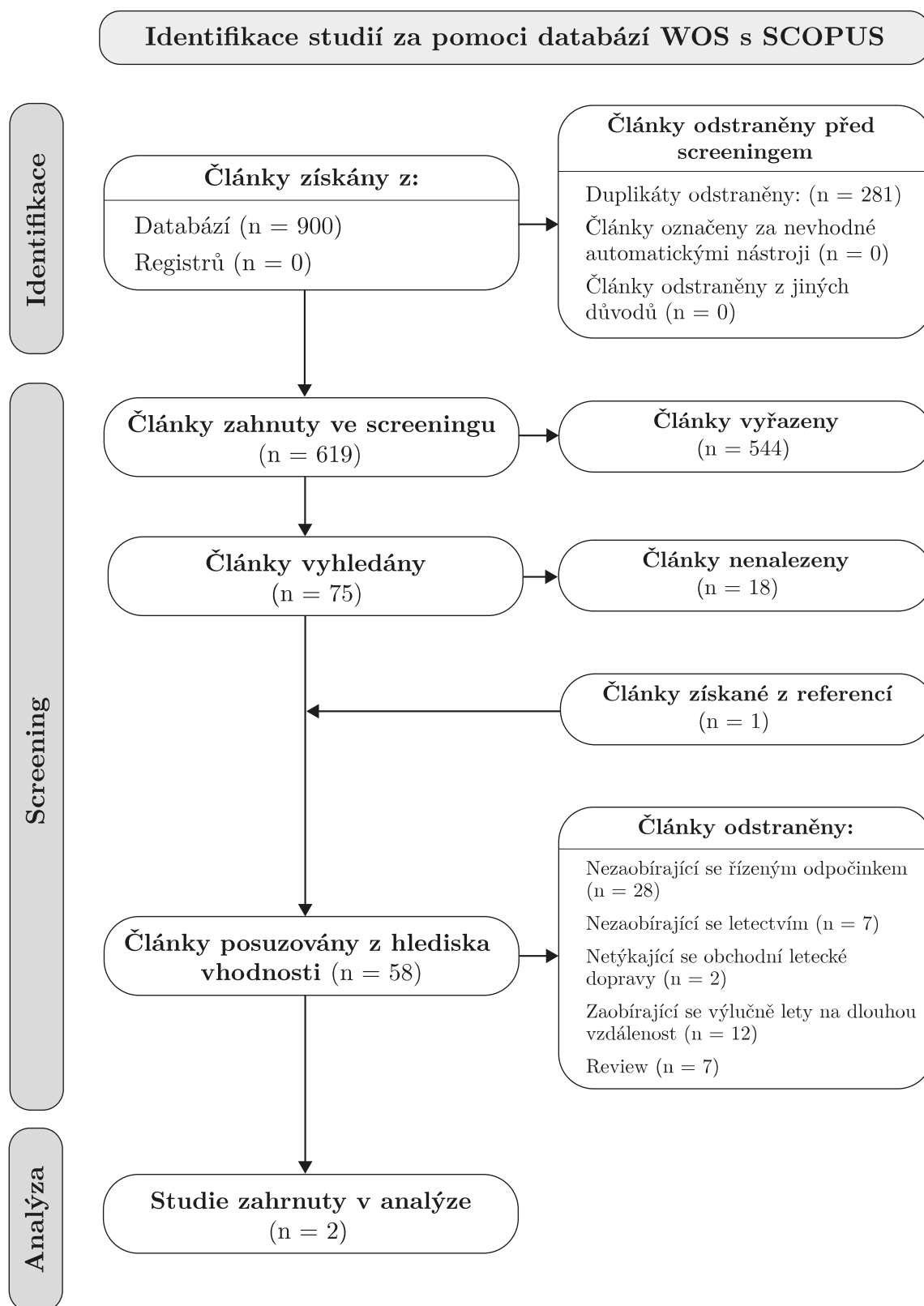


Tabulka 4. Klíčová slova, použítá pro vyhledávání studií v databázích

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

Ze získaných článků byly nejprve odstraněny duplikáty (články, nacházející se jak v databázi WOS, tak i Scopus). Poté se odstranily články, které již čistě podle názvu s naprostou jistotou neodpovídaly tématu. Následně již došlo k samotnému vyhledání plných textů, přičemž zlomek článků nebylo bohužel možno dohledat. Získané plné texty byly podrobeny hlubší analýze a prostudování, nevhodné články byly opět odstraněny, a to i s uvedením důvodu vymazání. Ty studie, které prošly i tímto filtračním krokem byly následně použity v analýze.

Pro zhodnocení aktuálního stavu vědeckého poznání v oblasti této problematiky tedy byla provedena metaanalýza. Jejím cílem bylo zanalyzovat data z vybraných studií, vzešlých z již popsané selekce. Její výsledky popisuje následující kapitola, Obrázek 7 a Tabulka 5.



Obrázek 7. Vývojový diagram selekce studií pro metaanalýzu řízeného odpočinku



Tabulka 5. Analýza studií týkajících se řízeného odpočinku

Rok měření	Způsob měření	Počet subjektů	Závěr	Výsledek
2004	Pilotům Air New Zealand byl zaslán anonymní dotazník. Získávány informace o hodnotě (CPT, FO, SO), době odpočinku před směnou, míru využití řízeného odpočinku v posledních 12 měsících (na škále od 1 do 6). Únava posuzována podle Vitality Scale z SF-36 Health Survey.	251	CR nebyl v posledních 12 měsících využit u 47.5 % dotázaných. Na četnost jeho využití neměl vliv věk (1), ani hodnota (2). Piloti, využívající CR měli tendenci hlásit nižší hodnoty únavy než ti, kteří ho nikdy nepoužili (3).	Chi-square $p_1 = 0.28$ $p_2 = 0.41$ T-test $p_3 = 0.06$
2020	Piloti byli vybaveni iPady (pro zaznamenání časů odpočinku) a chytrými hodinkami Actiwatch (pro sledování stavů spánku a probuzení). Pro zjišťování doby spánku při odpočinku použit software Actiware. CR považován za úspěšný při alespoň jedné minutě spánku.	44	CR využito v 46 % sledovaných letů, 10 % letů obsahovalo dvě období CR. Průměrná doba úspěšných CR byla 31.7 ( $\pm 12.2$ ) minut. Průměrná doba pokusů o CR byla 43.1 ( $\pm 11$ ) minut. CPT využili CR na 38 % letů. FO využili CR na 52 % letů. Tento rozdíl však nebyl statisticky významný (1)	F-test $p_1 = 0.131$

### 1.6.2 Analýza vybraných studií

První studie [31] zahrnovala 251 pilotů letecké společnosti Air New Zealand, kteří anonymně odpověděli na dotazník týkající se řízeného odpočinku. Byly sbírány informace o hodnotě (CPT, FO, SO) a věku (pod 40 let, 40-49 let, 50-60 let). Piloti měli také uvést, kolikrát využili řízeného odpočinku za posledních 12 měsíců při nočních letech, a to na stupnici od 1 (nikdy) do 6 (vždy). 47.5 % pilotů uvedlo, že v tomto časovém okně řízený odpočinek nevyužili. Nebyl zaznamenán rozdíl v užívání CR na základě věku ( $\chi^2(2, N=238) = 2.56, p = 0.28$ ) nebo hodnotě ( $\chi^2(2, N = 237) = 1.78, p = 0.41$ ). Byl však zaznamenán trend, že piloti, kteří využívali řízeného odpočinku hlásili nižší úroveň únavy než ti, u kterých hlášen nebyl ( $t(238) = -1.85, p = 0.06$ ).



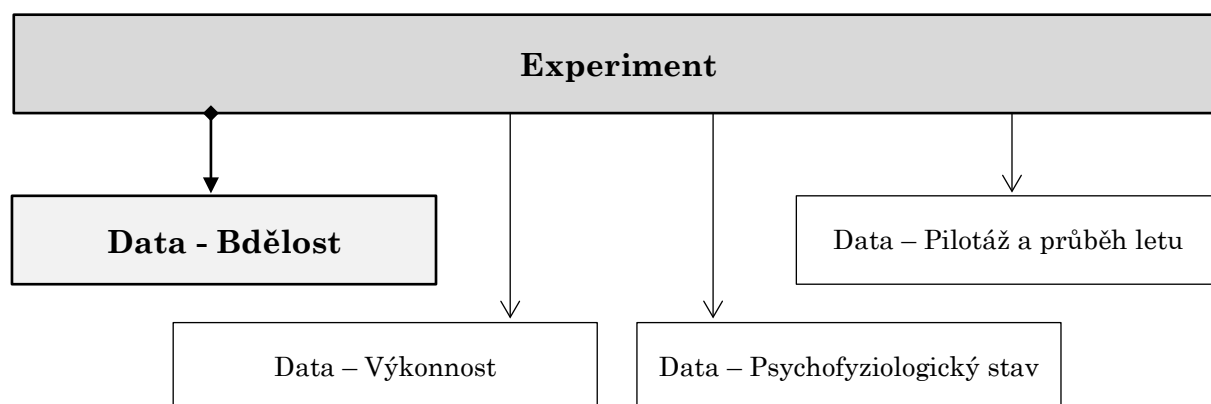
Druhá studie [32] zahrnovala celkem 45 subjektů, z nichž byl jeden vyloučen. Celkem byla tedy získána data od 41 mužů a 3 žen, respektive 19 kapitánů a 25 prvních důstojníků. Subjekty byly vybaveny iPodem touch (6. generace) se speciální aplikací sloužící k reportování řízeného odpočinku v době služby. Účastníci také dostali chytré hodiny Actiwatch ke sledování stavu spánku či bdělosti. Data byla sbírána po dobu přibližně 2 týdnů. Finální soubor dat zahrnoval 239 letů, přičemž každý z účastníků přispěl v průměru 5.5 ( $\pm 1.8$ ) lety. K pokusu o řízený odpočinek došlo při 46 % sledovaných letů ( $n = 110$ ). Celých 21 % letů ( $n = 23$ ) obsahovalo dva bloky řízeného odpočinku. Z celkového počtu 133 období řízeného odpočinku bylo 80 % ( $n = 106$ ) dle dat z aktigrafie považováno za úspěšné (spánek trval déle než jednu minutu). Průměrná doba úspěšného řízeného odpočinku byla 31.7 ( $\pm 12.2$ ) minut, toho neúspěšného pak 43.1 ( $\pm 11$ ) minut. Kapitáni hlásili využití řízeného odpočinku na 38 % ( $n = 39/102$ ), první důstojníci na 52 % ( $n = 71/137$ ) letů. Rozdíl mezi kapitány a prvními důstojníky však nebyl statisticky významný ( $F = 2.4$ ,  $p = 0.131$ ).

## 1.7 Shrnutí

Jak již bylo uvedeno v úvodu předchozí kapitoly, aktuální stav znalostí vlivu řízeného odpočinku na piloty krátkých linek není ani z daleka dostatečný. Ač panuje konsenzus, že krátký spánek má pozitivní vliv na pilota, tak v těchto podmínkách ještě zkoumán nebyl. Cílem této práce je tedy tento dosud neprobádaný prostor vyplnit.

## 2 Experiment

Experiment probíhal v dedikovaných prostorách budovy Fakulty dopravní Českého vysokého učení technického v Praze, na simulátoru letounu Beechcraft Baron 58. Experiment byl schválen Komisí pro etiku ve výzkumu na Českém vysokém učení technickém v Praze (j. č. 0000-02/22/51903/EKČVUT). Všichni účastníci podepsali informovaný souhlas. Jeho cílem bylo získat exaktní data, díky kterým by bylo možné vyjádřit přesný dopad řízeného odpočinku na řadu ukazatelů stavu a schopností pilota (Obrázek 8). Jedním z těchto faktorů je jeho bdělost, kterou se blíže zabývá právě tato práce. Zbylá data, vypovídající o výkonnosti, psychofyziologickém stavu, či vlivu na pilotáž a průběh letu byla poté zpracována v rámci jiných prací.



Obrázek 8. Diagram znázorňující rozdělení získaných dat z experimentu

### 2.1 Metody měření

#### 2.1.1 PVT

První z metod, použitých k zjištění úrovně bdělosti, byly PVT testy. Ty fungují na základě měření rychlosti reakce na vizuální podnět. V dnešní době se nejčastěji využívá zobrazení určitého vizuálního podnětu na obrazovce a následné reakci zmáčknutím tlačítka, jakožto reakcí na tento podnět. S klesající bdělostí pak postupně doba mezi zobrazením vizuálního vjemu a reakcí na něj (reakční čas) narůstá.





Mezi jeden z významných ukazatelů patří i také takzvané PVT Lapses, jež byly již v této práci několikrát zmíněny. Jedná se o reakce delší než 500 milisekund. Bdělost je definována jako schopnost reagovat na jisté podněty. Celá filozofie PVT Lapses se zakládá na neschopnosti člověka soustředit se na vykonávanou aktivitu z důvodu zvýšené únavy, a tedy výrazně prodlouženému časovému oknu kdy mozek vjem zpracovává a rozhoduje o reakci. Jelikož se jedná o přímý důsledek vlivu snížené bdělosti, patří právě PVT Lapses často mezi hlavní způsoby jejího měření. Doba trvání jednoho testu byla stanovena na 5 minut, minimální doba mezi vjemy 2 sekundy a maximální 10 sekund.

### 2.1.2 Eye Tracking

Další metodou hodnocení bdělosti subjektů bylo využití zařízení pro sledování očí (angl. *eye-tracking*). Již v minulosti bylo zjištěno, že za pomoci určitých metrik snímání polohy zornice či stavu zavření/otevření očí dá sledovat úroveň bdělosti člověka.

McKinley [33], ku příkladu, potvrdil možnost využití procentuální doby zavření očí jako ukazatele bdělosti, kdy rostoucím procentem její úroveň klesá.

McIntire [34], zase využívá metrik spojených s mrkáním, přesněji s frekvencí, se kterou k nim dochází a také dobou jejich trvání, v čemž částečně navazuje na McKinleyho. Zvýšená frekvence mrkání byla prokázána jako indikátor snížené bdělosti.

Poslední metodou měření bdělosti je hodnocení počtu fixací (zaměření okem se na určité místo) a také průměrnou délkou takovéto fixace při vykonávání určité činnosti [35]. Samotná detekce fixací je možná několika způsoby. Nejjednodušší je manuální zaznamenávání jednotlivých fixací z videozáznamu a případně i následný převod na průměrnou délku fixace při znalosti doby potřebné ke zvládnutí oné činnosti (podíl počtu fixací a celkové doby). Mezi další možnosti pak patří automatická detekce fixací softwarem z dat získaných snímáním polohy zornice a následným vypočtením jejich průměrné délky, či pouze vyhodnocení variability polohy zornice v čase.

V rámci samotného experimentu byly za pomoci sledování očí využity téměř všechny ze zmíněných metrik. Přesněji se jednalo o počet mrknutí za jednotku času a procentuální dobu



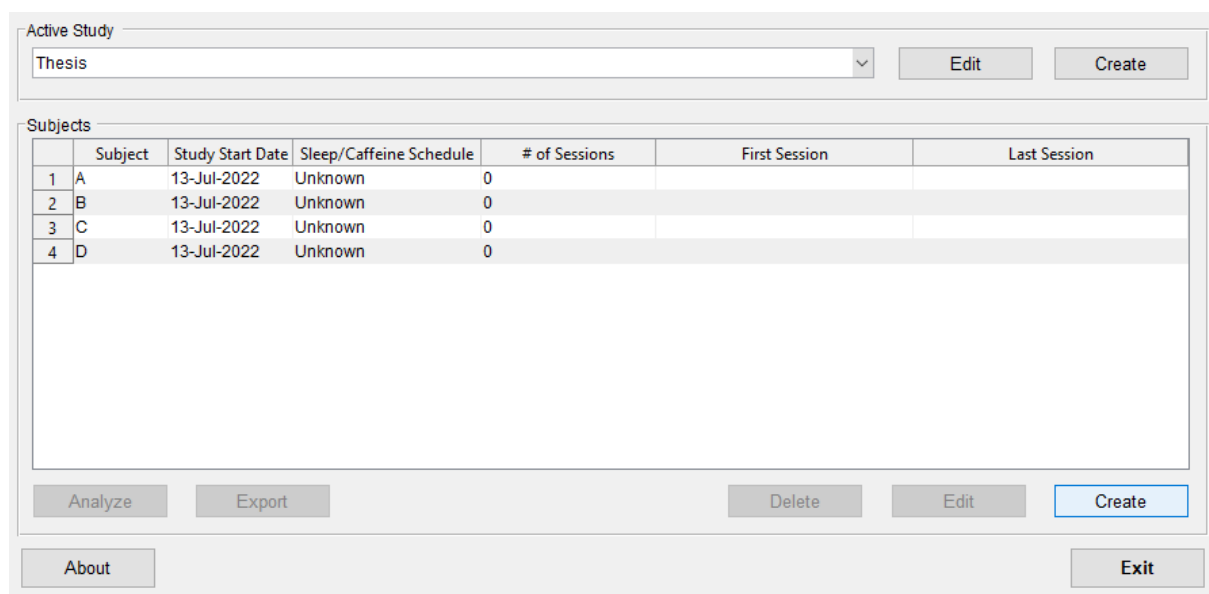
zavření očí subjektů. Měření fixací z technických důvodů a limitací programu pro zpracování dat nebylo použito.

## 2.2 Popis měřících zařízení

### 2.2.1 Software pro provádění PVT testů

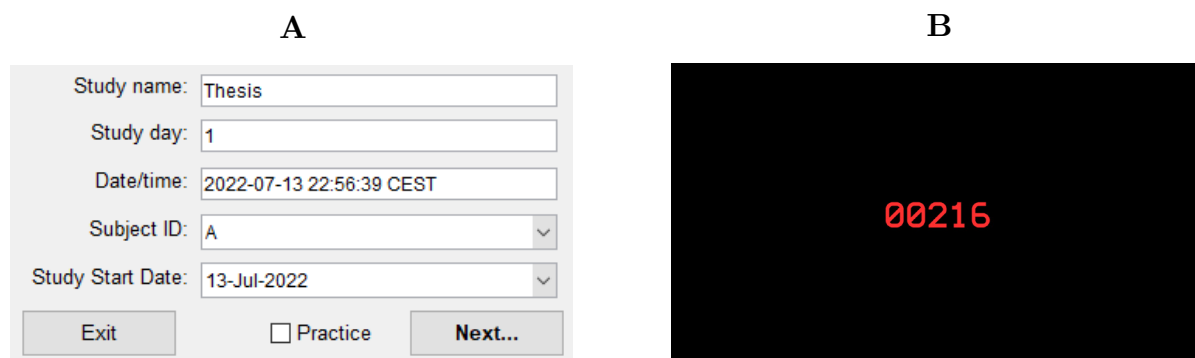
K provádění samotných PVT testů byl využit software PC-PVT verze 2.0.4. Jedná se o program vyvinutý BHS AI (Institut Biotechnických HPC Softwarových Aplikací) ve městě Fort Detrick, Maryland, USA. Program je na vyžádání volně k použití. K jeho funkčnosti je potřeba knihovny Matlab Runtime R2017a (MathWorks, Natick, MA, US).

Při používání jsou důležité 2 aplikace, nacházející se v adresáři programu. Jedná se o „*PVT Manager.cmd*“ a „*PVT Trial.cmd*“. První zmíněný, PVT Manager (Obrázek 9), slouží ke správě studie, ke které je PVT-PC používán. Zde se vytvoří studie, přičemž se specifikují parametry PVT testů prováděných v této studii (jejich délka, minimální a maximální doba mezi vjemy). Následně je možné přidávat subjekty, analyzovat získaná data či pouze prohlížet výkony jednotlivých subjektů. Druhá aplikace, PVT Trial (Obrázek 10), slouží k samotnému provedení PVT testu. Po jejím zapnutí stačí pouze vybrat subjekt (vytvořený PVT Manageru), který chceme PVT testem aktuálně testovat. Po zmáčknutí na tlačítko „Next“ se test spustí.



Obrázek 9. Uživatelské rozhraní programu PVT Manager

Subjektu jsou pak na černé obrazovce zobrazovány vjemy – od nuly rostoucí, červenými čísly vyjádřená, časomíra. Cílem subjektu je pak v co nejkratším čase na takovýto vjem reagovat kliknutím na libovolné tlačítko myši. Po oběhnutí doby (v našem případě 5 minut) se test automaticky ukončí a data ve formátu *.csv* jsou uložena do složky “*data*“ v kořenovém adresáři programu.



Obrázek 10. Rozhraní programu PVT Trial (A) a vjem na obrazovce při testu (B)

### 2.2.2 Brýle pro sledování očí a program Pupil Capture

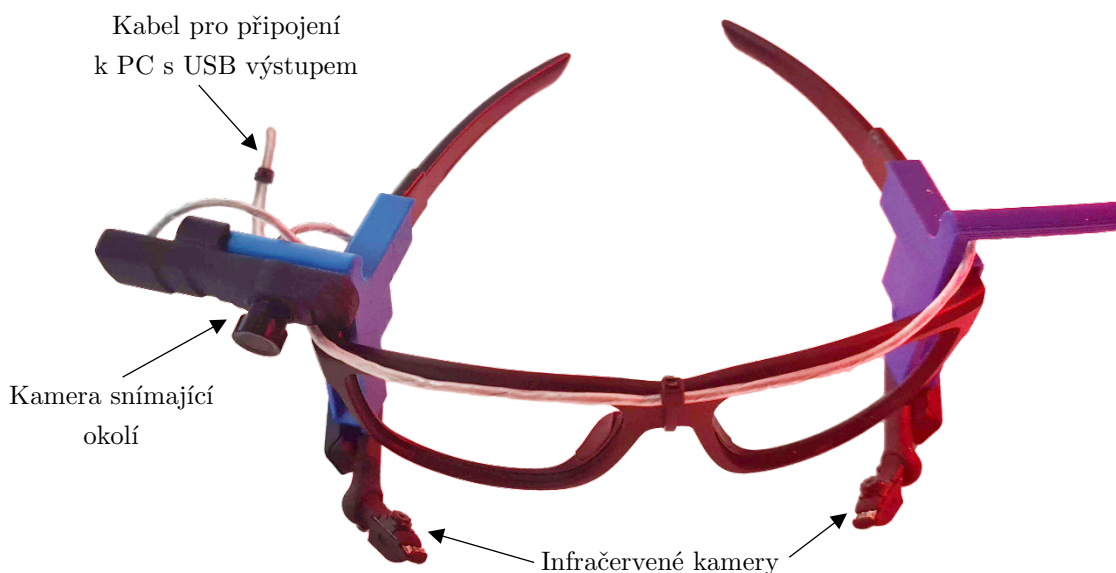
Pro zaznamenání dat sledování očí byly použity eye-trackingové brýle Pupil Labs (Pupil Labs GmbH, Berlín, Německo) a software Pupil Capture (Pupil Labs GmbH, Berlín, Německo).

Brýle samotné se skládají ze dvou infračervených kamer, snímající oči (polohu zornice) a jedné další kamery, snímající okolí. Infračervené kamery zaznamenávají obraz se vzorkovací frekvencí 120 Hz. Z kamery snímající okolí získáváme videozáznam o frekvenci 30 Hz s rozlišením 1280x720 pixelů (formát 16:9). Brýle jsou k počítači připojeny USB portem. Jejich podobu lze vidět na Obrázku 11.

Data jsou poté zaznamenávána pomocí programu Pupil Capture. Před nahráváním těchto dat je však nutné brýle správně nastavit a zkalibrovat. Poté co si subjekt brýle nasadí je potřebné nastavit infračervené kamery do takové polohy, aby se oko při pohledu subjektu před sebe nacházelo vprostřed záznamu a zornice tak byla při pohybu očí do stran stále detekovatelná. U kamery snímající okolí se nastaví její sklon tak, aby zaznamenávala přibližně zorné pole subjektu. Po správném zaměření kamer je ještě nutno brýle zkalibrovat. Toto se opět provádí

v programu Pupil Capture sesouhlasením polohy zornice při pohledu na terče zobrazené na obrazovce počítače. Po dokončení tohoto nastavení jsou již brýle plně připravené k měření.

Výstupem jsou jak informace o poloze zornice (nejen vůči oku, ale i okolí, tzv. „gazes“), tak i data o jistotě detekce polohy zornice („confidence“) nebo o mrkání (délka s timestampem). K dispozici je i samotný videozáznam okolí a očí.



Obrázek 11. Eye-trackingové brýle použité při experimentu

## 2.3 Popis experimentu

### 2.3.1 Subjekty

Experimentu se účastnilo celkem 10 subjektů, studentů oboru „Profesionální pilot“ Českého vysokého učení technického v Praze, kteří byli v tu dobu v pilotním výcviku minimálně ve fázi IFR výcvikových letů. Jednalo se o 9 mužů a 1 ženu. Průměrný věk byl 22.1 ( $\pm 0.54$ ) let. Jejich průměrný celkový nálet činil 171.3 ( $\pm 19.10$ ) hodin, z toho při letu za pomoci přístrojů 58.3 ( $\pm 16.45$ ) hodin. Z důvodu udržení anonymity byl každému subjektu přidělen unikátní kód.



### 2.3.2 Letecký simulátor

Jak již bylo zmíněno, experiment probíhal na simulátoru letounu Beechcraft Baron 58. Zmíněný simulátor běží na softwaru Microsoft Flight Simulator X z roku 2006. Z hlediska letounu, jedná se o dvoumotorový letoun se stavitelnými vrtulemi o maximální vzletové hmotnosti (MTOW) 2495 kilogramů, doletu 1480 námořních mílí (2741 kilometrů) a maximální cestovní rychlosti 202 uzlů. Při experimentu bylo při letu využíváno nastavení tlaku plnění 20.5 In Hg při 2100 otáčkách vrtule za minutu směs byla ochuzena na příslušné *fuel flow* (11.8 USgal/h). Cestovní rychlost v hladině FL90 (2750 m n.m.) poté odpovídala přibližně 173 uzlům (320 km/h).

Pilotní prostor simulátoru se mírně odlišuje od skutečného letounu Beechcraft Baron 58. Simulátor je vybaven PFD na levé straně přístrojové desky, MFD uprostřed a sadou analogových přístrojů na straně pravé. PFD a MFD byly vyrobeny firmou RealSimGear (San Diego, CA, US) a simulují Garminy G1000. Během experimentu pilot řídil letoun z pozice levé sedačky.

### 2.3.3 Briefing a podmínky před experimentem

Několik dní před každým experimentem dostaly subjekty, které se jej účastnily krátký briefing. Jeho součástí byl jak OFP (provozní letový plán), letištní, odletové, příletové a přibližovací mapy na daná letiště, základní informace o letounu (podrobnější seznámení se simulátorem proběhlo až v den experimentu), tak i instrukce o denním režimu před nočním měřením.

Onen režim byl následující. Subjekty se mají den před experimentem probudit po alespoň sedmi hodinách strávených na lůžku. K probuzení by mělo dojít v obvyklých ranních hodinách, jak příliš pozdní, tak i brzké vstávání není příliš vhodné. V průběhu dne je pak nutné, aby nevyvíjeli přílišnou fyzickou aktivitu (náročné sporty apod.) ani nepožívali nápoje či potraviny obsahující kofein (energetické drinky, káva, čaje). Důležitá byla také absence jakéhokoli spánku navíc v průběhu předchozího dne.



### 2.3.4 Parametry experimentu

Samotný experiment poté trval celkem přes devět hodin, od desáté hodiny večerní do čtvrt na osmou ráno následujícího dne. Simulovaná pracovní tak byla značně pod obecným limitem 11 hodin pro dvou-sektorové lety, které stanovuje nařízení Evropské komise 965/2012, Part-ORO [36]. Experiment navrhnout tak, aby bylo v jeho průběhu možno získat co nejvíce dat a zároveň aby se lety samotné co nejvíce blížily reálnému provozu. Celkem bylo provedeno dvacet takovýchto měření.

V rámci jedné noci byly provedeny vždy dva lety jdoucí po sobě, piloti byli tedy rozděleni na dvě skupiny – letící večer a nad ránem. Subjekty letící jako první byly označeny číslem 100, 101, 102 atd. a subjekty letící nad ránem čísla 500, 501, 502... Každý ze subjektů zastával v průběhu experimentu roli jak pilota letícího (PF), tak pilota monitorujícího (PM). V momentě, kdy byl první pilot PF, druhý byl PM a obráceně. Pilot letící a monitorující spolu avšak neseděli v jednom kokpitu, jelikož by mohlo docházet k jejich vzájemnému ovlivnění. I když je pro použití řízeného odpočinku potřeba dvou pilotů v kabině letounu, z experimentálních důvodů byly lety pojaty jako jednopilotní. Činností pilota monitorujícího bylo kontrolovat a zapisovat palivo při sledování zpátečního letu nahraného softwarem X-Plane 11 (Laminar Research, Columbia, SC, US), který též simuloval letoun Beechcraft Baron 58 s Garminy G1000.

Každý ze subjektů také absolvoval celkem dvě noční měření, jednou bez řízeného odpočinku a po druhé s ním, aby bylo možné data validně porovnávat. Byla stanovena minimální doba čtyř dnů mezi takovýmito dvěma lety u jedné osoby.

Každý subjekt při jednom měření odletěl jednu trať, celkem v rámci experimentu tedy dvě (jednou bez řízeného odpočinku a jednou s ním). Traťe byly následující:

- a) EDDM (Mnichov) – EKCH (Kodaň Kastrup)

*EDDM/26L INPUD2S INPUD/F090 DCT UPALA DCT LONLI DCT BAMKI  
DCT BIRKA DCT EMBOX DCT SUVAL DCT PABMI DCT ROSOK DCT  
MONAK MONA1N EKCH/ILS22L*



b) LFSB (Basilej) – EDDH (Hamburg)

LFSB/33 *ELBE7N* ELBEG/F090 *DCT* NEDOV *DCT* TEDGO *DCT* GEBNO  
*DCT* EDUDU *DCT* ADIBA *DCT* BEBLA *DCT* UMKUK *DCT* ELKER *DCT*  
ULSEN *DCT* NOLGO *NOLGO1P* EDDH/*ILS23*

První (EDDM-EKCH) byla použita pro lety bez řízeného odpočinku, a druhá (LFSB-EDDH) pro lety s ním. Obtížnost konečného přiblížení na cílových letištích byla ekvivalentní – ILS z hladiny 3000 ft AMSL. Rozdíl nadmořské výšky cílových letišť obou letů, EKCH a EDDH, je zanedbatelný. Traťové body byly stanoveny tak, aby doba letu mezi nimi přibližně odpovídala 15 minutám pro zjednodušení procesu zaznamenávání paliva.

Meteorologická situace byla následující:

a) EDDM (Mnichov) – EKCH (Kodaň Kastrup)

Vítr: 130° 7 uzlů; Oblačnost: OVC010; Dohlednost 10 km a více; Teplota 15 °C;  
Rosný bod 10 °C

b) LFSB (Basilej) – EDDH (Hamburg)

Vítr: 140° 7 uzlů; Oblačnost: OVC010; Dohlednost 10 km a více; Teplota 15 °C;  
Rosný bod 10 °C

Cílem bylo vytvořit jednotné podmínky pro oba lety, aby počasí do dat nevnášelo další zkreslení. Vítr byl vždy stanoven kolmo na přistávací dráhu s rychlostí 7 uzlů. Z důvodu problémů s nastavením meteorologických podmínek přes instruktorskou stanici simulátoru byla meteorologická situace na letišti vzletu a přistání totožná.

OFP byl vygenerován přes webovou aplikaci Simbrief. NOTAMy v něm obsažené let nijak neovlivňovaly.

V rámci experimentu nebyly naplánovány žádné nouzové situace. Hlavním důvodem byl cíl co nejvěrněji se přiblížit reálnému provozu, přičemž takovéto situace nejsou příliš časté. Dalším důvodem bylo snížení výše nutné přípravy subjektů na experiment (studium nouzových postupů).



### 2.3.5 Průběh experimentu

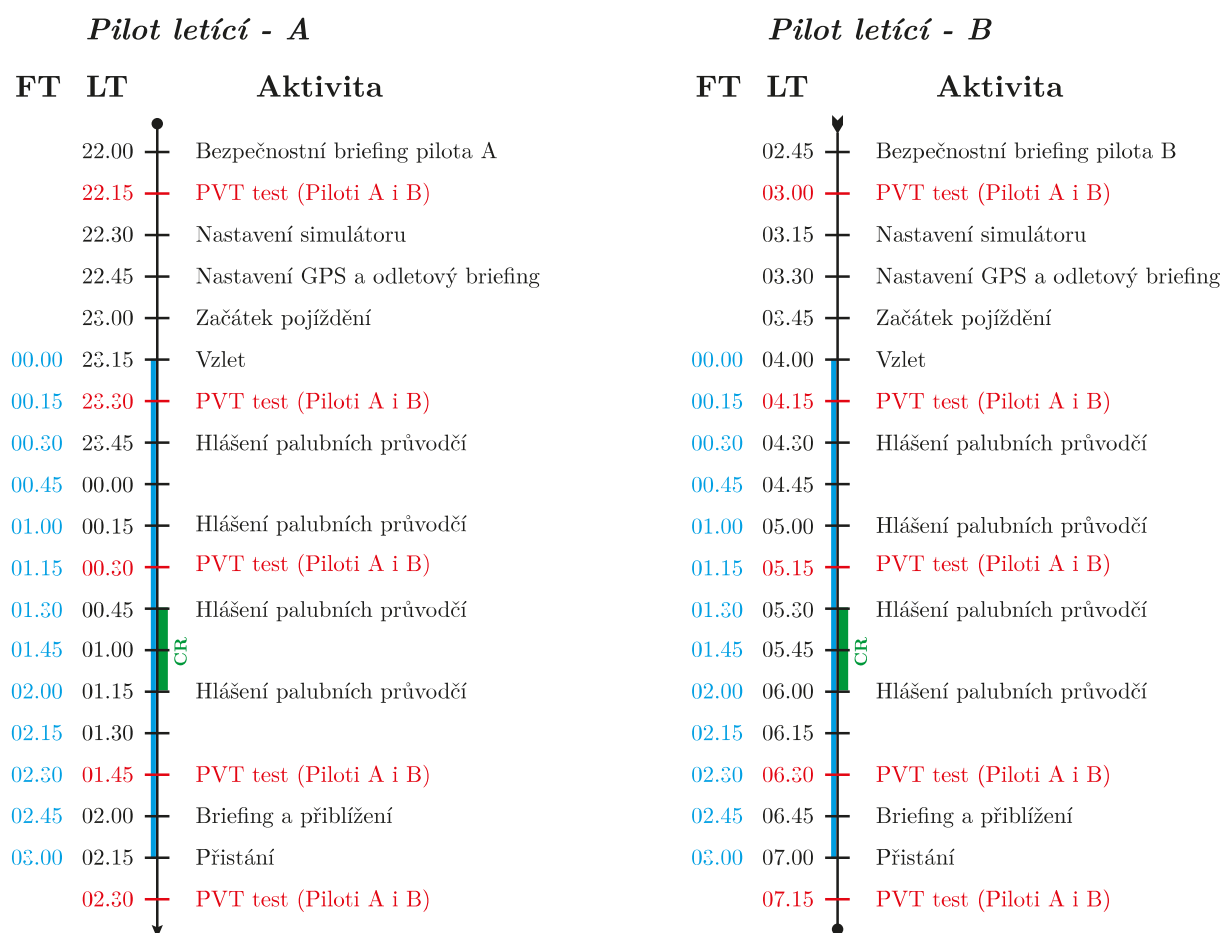
Experiment probíhal po dobu zhruba sedmi týdnů v červnu a červenci roku 2022. Slunce zapadalo přibližně v devět hodin večer a vycházelo o páté hodině ranní místního času. Do místnosti se simulátorem pronikalo venkovní světlo, které odpovídalo barvě a intenzitě simulované scenerie. Experiment začínal vždy v 10 hodin večer. Jak již bylo zmíněno, každou noc byly měřeny vždy data od dvou subjektů, z nichž jeden byl pilot letící večer (23:15–2:15 hodin) a druhý nad ránem (4:00 – 7:00 hodin). Časový harmonogram celého experimentu znázorňuje *Obrázek 12*.

Nejprve proběhl bezpečnostní briefing prvního z těchto pilotů, následovaný PVT testy. Tyto testy absolvovali v každý stanovený čas (znázorněno červeně na *Obrázku 12*.) vždy oba piloti – jak PF, tak i PM. Následně se nastavily měřící zařízení (Eye-tracking) a simulátor. Poté si již první z pilotů zadal letěnou trať do GPS, odposlechl předem nahranou zprávu ATIS, provedl odletový briefing, následovaný pojižděním ke dráze pro vzlet. Po celou dobu jeden z vedoucích experimentu zastával roli řídicího, s pilotem komunikoval a sděloval mu instrukce. Ke vzletu došlo okolo 23:15 hodin.

V průběhu letu se přibližně každou půlhodinu pilotovi ozval člen palubní posádky. Zároveň byla na pozadí pilotovi pouštěna předem nahraná komunikace na rádiové frekvenci mezi jinými letadly. V případě, kdy se jednalo o let s řízeným odpočinkem, po hodině a půl letu dostali piloti půl hodiny ke spánku, následované při nejmenším další půlhodinou k opětovné aklimatizaci a probuzení. Pokud se jednalo o let bez odpočinku, bylo toto časové okno vyplněno obyčejným traťovým letem. V průběhu letu bylo provedeno několik PVT testů a piloti letící měli po celou dobu nasazeny Eye-trackingové brýle. K přistání došlo po přibližně třech hodinách letu, ve 2:15 hodin. Po přistání následoval ještě jeden PVT test. Po celou dobu letu měl pilot monitorující za úkol zapisovat úbytek paliva při sledování nahraného zpátečního letu na počítači na softwaru X-Plane 11 (Laminar Research, Columbia, SC, US).

Následně se role pilotů prohodily a všechny zmíněné kroky se znova opakovaly. Toto je právě viditelné v pravé polovině *Obrázku 12*, který ukazuje časový rozvrh experimentu. Experiment byl ukončen po posledních PVT testech, mezi čtvrt a půl osmou hodinou ranní.





Obrázek 12. Harmonogram experimentu. FT – Flight time (Doba letu), LT – Local time (Místní čas), CR – Controlled rest (Řízený odpočinek). CR probíhal pouze u druhého letu každého subjektu.

## 2.4 Způsob vyhodnocení dat

### 2.4.1 PVT

Z měření bylo potřeba získat průměrnou reakční dobu a množství PVT Lapses. Ač sám program „PVT Manager“ je schopen tyto hodnoty spočítat, pro přesnější kontrolu parametrů zpracování byla data zpracována manuálně.

Z každého testu byl vygenerován *.csv* soubor obsahující mimo jiné i čas zobrazení vjemu na obrazovce a čas reakce na něj (obsažené v pátém a šestém sloupci souboru dat). Každý řádek poté reprezentoval jednu reakci na podnět v rámci testu. Byl proto napsán jednoduchý kód v programu Matlab R2020b (MathWorks, Natick, MA, USA) ke zpracování takovýchto dat.



```
1 T = readtable('% Cesta k souboru dat %');
2 T = T(:, [5 6]);
3 T = table2array(T);
4 [sizeX,sizeY]=size(T);
5 Lapse=0;
6
7 % Odstranění falešných/příliš pomalých reakcí
8 for i=1:sizeX ;
9     if T(i,1)==0 ;
10        T(i,:)=nan ;
11    elseif T(i,2)==0 ;
12        T(i,:)=nan ;
13    end
14
15 % Výpočet doby reakčního času do proměnné TX
16 TX(i,1)=[T(i,2)-T(i,1)];
17
18 % Výpočet množství PVT Lapses + Filtrace
19 if TX(i,1) < LapseLimitLow ;
20 elseif TX(i,1) > LapseLimitHigh ;
21 elseif TX(i,1) > LapseLimitLow ;
22     Lapse = Lapse+1 ;
23 end
24
25 % Filtrace doby reakčního času
26 if TX(i,1) < LowLimit ;
27     TX(i,:)=nan ;
28 elseif TX(i,1) > HighLimit ;
29     TX(i,:)=nan ;
30 end
31 end
32
33 % Vypočtení průměrného reakčního času
34 Data=mean(TX, 'omitnan')
```

Pokud jakákoli z hodnot ve sloupcích byla rovna nule, jednalo se buďto o chybnou reakci (bez zobrazení vjemu) či o reakci delší než 10 sekund. V tomto případě do celého řádku s takovou to hodnotou byly vloženy hodnoty NaN, aby dále nebyly zohledňovány. Jednalo se zejména o chyby hardwaru, navíc množství takovýchto chyb byl zanedbatelný. Data o chybách proto nebyla, pro účely této práce, nijak dále zpracovávána. Následně byla za pomoci rozdílu času zobrazení vjemu na obrazovce a času reakce vypočtena reakční doba.

V dalším kroku byly spočteny množství PVT Lapses. Parametr `LapseLimitLow`, jenž byl spodní hranicí detekce PVT Lapses byl nastaven na 0.5 sekundy, horní `LapseLimitHigh` na 3 sekundy. Jejich množství bylo poté uloženo do proměnné `Lapse`.

Podobně byly následně vyfiltrovány samotné reakční časy, zde se jednalo spodní hranici danou proměnnou `LowLimit` a horní hranicí danou proměnnou `HighLimit`. Cílem bylo odstranění příliš rychlých reakcí (pod 0.1 sekundy) a příliš pomalých (nad 3 sekundy), aby nedošlo



ke zkreslení výsledných dat. U řádků, ve kterých se hodnota reakčního času pohybovala mimo tyto meze byla opět vložena hodnota NaN.

V posledním kroku bylo pro každý provedený PVT test vypočten průměrný reakční čas, zanedbávající právě zmíněné hodnoty NaN.

#### 2.4.2 Eye-tracking – Frekvence mrkání a doba zavření očí

Datové soubory z programu Pupil Capture byly dále zpracovány v softwarech Pupil Player (Pupil Labs GmbH, Berlín, Německo) a Matlab R2020b. Samotná data týkající se mrkání byla z nejprve vyexportována za pomoci Pupil Playeru, s použitím pluginu Blink Detector. Parametry pluginu byly nastaveny následovně:

- a) Onset confidence threshold (úroveň, nad kterou odpověď filtru musí vystoupat, aby byl zaznamenán počátek mrknutí) = 0.30
- b) Offset confidence threshold (úroveň, pod kterou odpověď filtru musí vystoupat, aby byl zaznamenán počátek mrknutí) = 0.20
- c) Filter length (délka filtru – časové okno, ve kterém se program snaží najít propady a nárůsty jistoty zaměření oka) = 0.2 sekundy

Data týkající se mrkání byla získána z těch částí letu, kdy pilot neabsolvoval žádný test nebo zrovna nevyužíval řízeného odpočinku. Celkem z jednoho letu byla tedy získána data ze 4 časových oken – od vzletu do prvního PVT testu za letu, mezi ním a PVT testem následujícím, od konce řízeného odpočinku do počátku PVT testu po něm následujícím, a nakonec od konce zmíněného PVT testu do přistání.

Ze souboru dat stačilo poté při zpracování v Matlabu využít pouze třetího sloupce – délky jednotlivých mrknutí v sekundách (vektor  $\tau$ ). Při vyjmutí pouze tohoto sloupce byla výsledná délka získaného vektoru rovna počtu mrknutí a součet délek stanovoval celkovou dobu zavření očí. Ze souboru informací o exportu bylo možné získat číslo prvního (parametr `StartFrame`) a posledního (parametr `EndFrame`) snímku celkového záznamu, mezi kterými byla data o mrkání exportována. Při znalosti snímkovací frekvence 30 Hz bylo následně možné vypočítat celkovou délku vyexportovaného záznamu.



Frekvenci mrkání (počet za jednu minutu) bylo poté možno v Matlabu vypočítat jednoduše tímto způsobem:

```
1 BPT = length(T) / ((EndFrame-StartFrame)/30) * 60
```

Procento doby, kdy měl subjekt zavřené oči pak zase tímto způsobem:

```
2 BTP = sum(T) / ((EndFrame-StartFrame)/30) * 100
```

### 2.4.3 Statistická analýza

Statistická analýza byla rovněž provedena v programu Matlab R2020b. Jelikož mezi sebou byla jednotlivá měření v průběhu času korelována, byla pro vzájemné porovnání skupin dat využita Repeated measures ANOVA (rANOVA). Toto platí jak pro porovnávání výsledků PVT testů, tak i dat z Eye-trackeru. Z důvodu porušení předpokladu sfericity (rozptyly mezi všemi možnými kombinacemi jednotlivých porovnatelných skupin jsou stejné) byla výsledná p-hodnota získána pomocí Greenhouse-Geisserovy korekce [37].

Aby bylo možné provést porovnání zmíněnou rANOVOU byl z porovnávaných dat v Matlabu vždy nejdříve vytvořen *repeated model*. Jeho kód se lehce lišil pro zpracování dat z PVT a Eye-trackeru, jednalo se však pouze o množství měření v rámci datového souboru (množství sloupců `TestVars`, vložených do tabulky, a délka vektoru `Time`). Repeated model následně sloužil i k využití funkce `multcompare` pro porovnávání dat jak mezi skupinami v jednotlivých časových bodech (`results`), tak i v rámci jedné skupiny mezi různými časy (`results2`). Pro korekci byla využita Bonferroniho procedura. Následující příklad ukazuje zdrojový kód, využitý porovnání dat reakčních časů PVT testů skupiny A bez odpočinku (`RT_G1`) a s ním (`RT_G1n`).

```
1 TestVars = [RT_G1 ; RT_G1n]
2 Group= ['A' 'A' 'A' 'A' 'A' 'B' 'B' 'B' 'B' 'B']
3
4 Table = table(Group,TestVars(:,1),TestVars(:,2),TestVars(:,3) ...
5 TestVars(:,5),TestVars(:,6),TestVars(:,7),TestVars(:,8),TestVars(:,9), ...
6 TestVars(:,10), 'VariableNames',{'Group','y1','y2','y3','y4','y5','y6', ...
7 'y7','y8','y9','y10'})
8
9 Time = [1:10]';
10
11 rm = fitrm(Table,'y1-y10 ~ Group', 'WithinDesign', Time)
12
13 ranovatbl = ranova(rm, 'WithinModel','Time')
14
15 results=multcompare(rm,'Group','By','Time','ComparisonType','bonferroni')
16
17 results2=multcompare(rm,'Time','By','Group','ComparisonType','bonferroni')
```



## 3 Výsledky

Následující kapitola obsahuje výsledná data, naměřená při experimentu. Data jsou porovnávána jak mezi letem s řízeným odpočinkem a bez něj tak taky i mezi jednotlivými skupinami subjektů (mající roli pilota letícího večer a nad ránem).

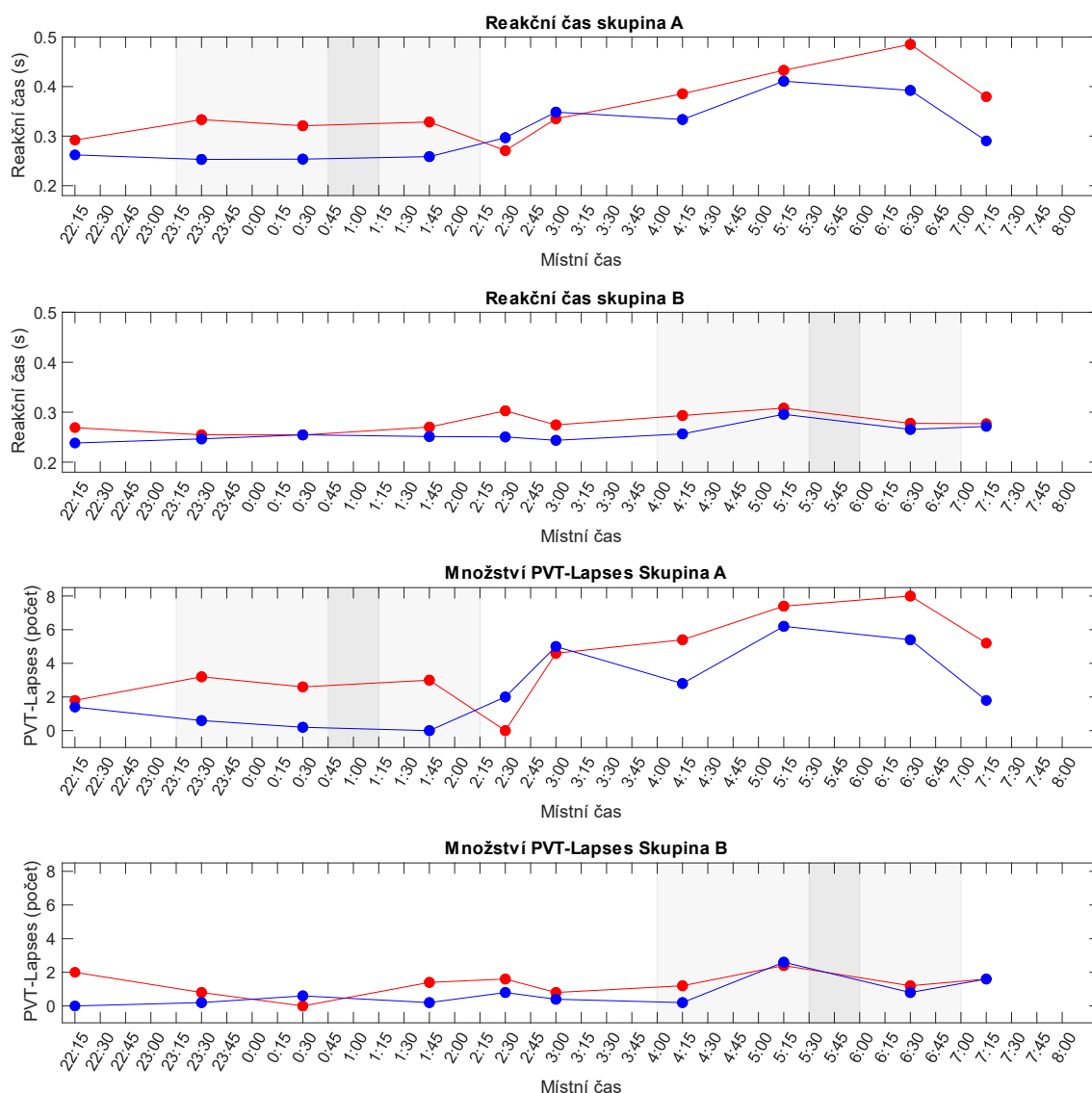
### 3.1 PVT

#### 3.1.1 Let bez řízeného odpočinku vs. let s ním

U skupiny letící ve večerních hodinách (Skupina A) rANOVA prokázala, že se mezi lety s řízeným odpočinkem a bez něj jak reakční časy ( $F(1,8) = 122.4$ ,  $p = 0.46275$ ), tak ani množství PVT-Lapses ( $F(1,8) = 7.6046$ ,  $p = 0.571$ ) od sebe výrazně nelišily. U reakčních časů byly největší rozdíly shledány u měření v 0:30h (0.321 vs. 0.254,  $p = 0.060928$ ) a 1:45h (0.329 vs. 0.271,  $p = 0.061905$ ), u množství Lapses pak pouze v 1:45h (3 vs. 0,  $p = 0.072207$ ). Nejenže se však nejednalo o statisticky významné rozdíly, při letu s odpočinkem si piloti v tyto časy vedli paradoxně hůře než při letu bez něj. Mezi jednotlivými měřeními v rámci letu s řízeným odpočinkem i bez něj taktéž nebyly shledány statisticky významné rozdíly.

U skupiny letící v ranních hodinách (Skupina B) rANOVA opět ukázala, že mezi lety s řízeným odpočinkem a bez něj se jak reakční časy ( $F(1,8) = 595.41$ ,  $p = 0.40197$ ), tak ani množství PVT-Lapses ( $F(1,8) = 11.075$ ,  $p = 0.59871$ ) nelišily. Významný rozdíl mezi reakčními časy při letu s řízeným odpočinkem a bez něj nebyl shledán, v množství Lapses byl významný rozdíl při měření v 0:30h (0 vs 0.6,  $p = 0.039969$ ) indikující na první pohled vyšší úroveň bdělosti u letů s řízeným odpočinkem, avšak toto měření bylo provedeno v rámci experimentu ještě před samotným odpočinkem, nemohl na něj tedy mít žádný vliv. V rámci letu bez řízeného odpočinku nebyly detekovány statisticky významný rozdíl reakčního času ani počtu Lapses. Při letu s řízeným odpočinkem se významně lišily reakční časy naměřené v 23:15h a 2:30h (0.255 vs. 0.303,  $p = 0.048904$ ) a množství Lapses mezi 0:30h a 2:30h (0 vs 1.6,  $p = 0.043987$ ).

Na obrázku 13 jde vidět porovnání výsledků PVT testů mezi lety bez řízeného odpočinku a s ním.



Obrázek 13. Grafy pro porovnání průměrných naměřených hodnot PVT Testy. Červená linie vykresluje data pro lety s řízeným odpočinkem, modrá pro lety bez něj. Světle šedá okna znázorňují dobu letu jako pilot letící, tmavě šedá dobu řízeného odpočinku.

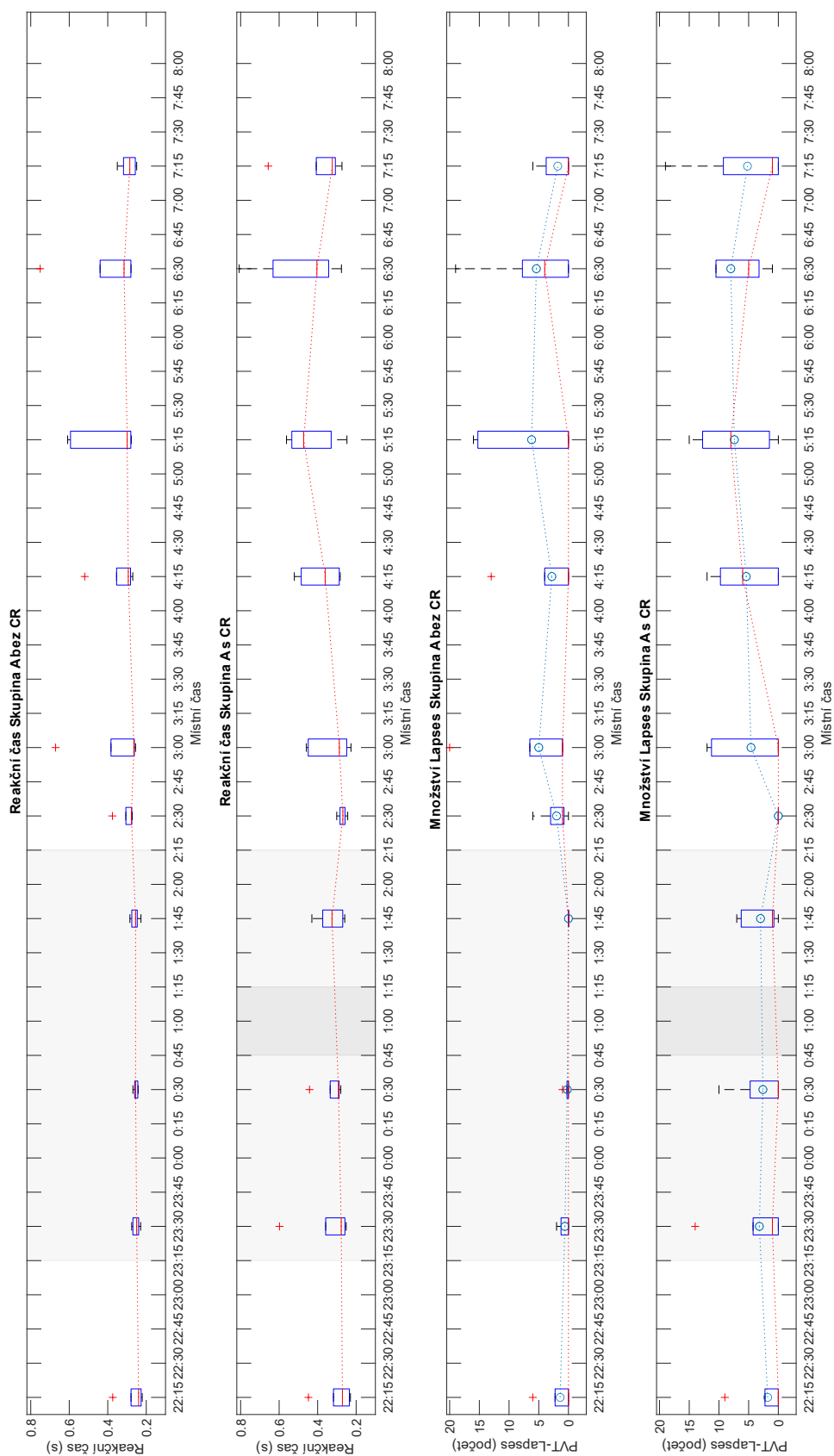
### 3.1.2 Večerní vs. ranní let

Při porovnávání reakčních časů letů bez řízeného odpočinku Skupiny A a B nedetekovala rANOVA statisticky významný rozdíl ( $F(1,8) = 174.98$ ,  $p = 0.17169$ ), stejně tomu bylo i u množství Lapses ( $F(1,8) = 4.5656$ ,  $p = 0.2892$ ). U letů s řízeným odpočinkem byl rozdíl reakčních časů ( $F(1,8) = 168.29$ ,  $p = 0.093981$ ) i Lapses ( $F(1,8) = 2.3748$ ,  $p = 0.16187$ ) obecně nevýznamný. Značný rozdíl v množství Lapses byl detekován pouze při měření ve 2.30h (0 vs. 1.6,  $p = 0.00018188$ ).



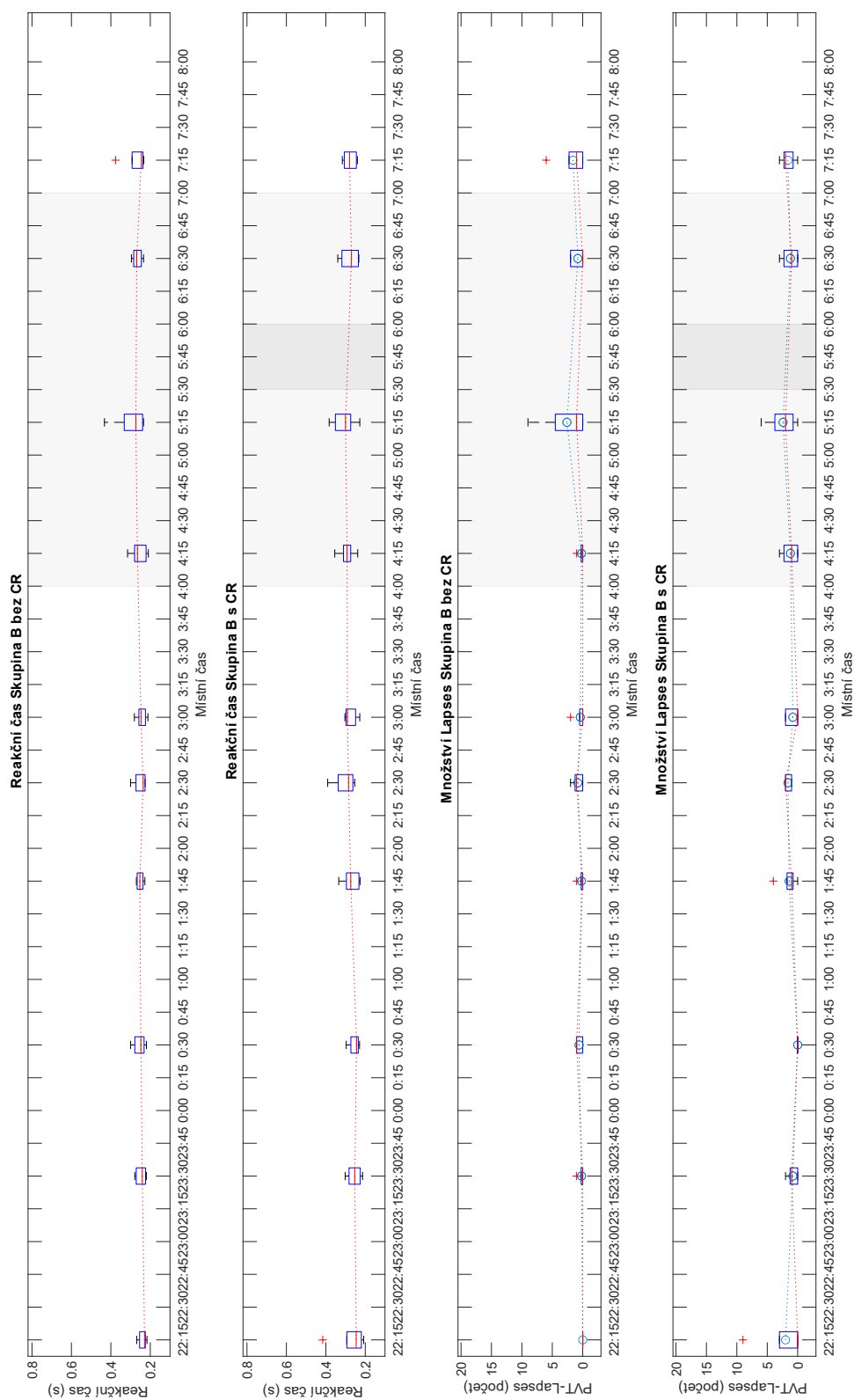
### 3.1.3 Grafy

Na následujících krabicových grafech, které byly vyexportovány softwarem Matlab R2020b je možno vidět výsledná naměřená data jak pro skupinu A – Obrázek 14, tak pro skupinu B – Obrázek 15. Pro lepší vizualizaci dat byly mediány (u Lapses i průměry) spojeny čarou a doby, kdy subjekty z jednotlivých skupin plnily role pilotů letících, byly v grafu rovněž vyznačeny.



Obrázek 14. Výsledky PVT testů Skupiny A. Světle šedá okna znázorňují dobu letu jako pilot letící, tmavě šedá dobu řízeného odpočinku. Červená čára spojuje mediány a modrá průměry (pouze u Lapses)





Obrázek 15. Výsledky PVT testů Skupiny B. Světle šedá doba letu jako pilot letící, tmavě šedá dobu řízeného odpočinku. Červená čára spojuje mediány a modrá průměry (pouze u Lapses)



## 3.1 Eye-Tracking

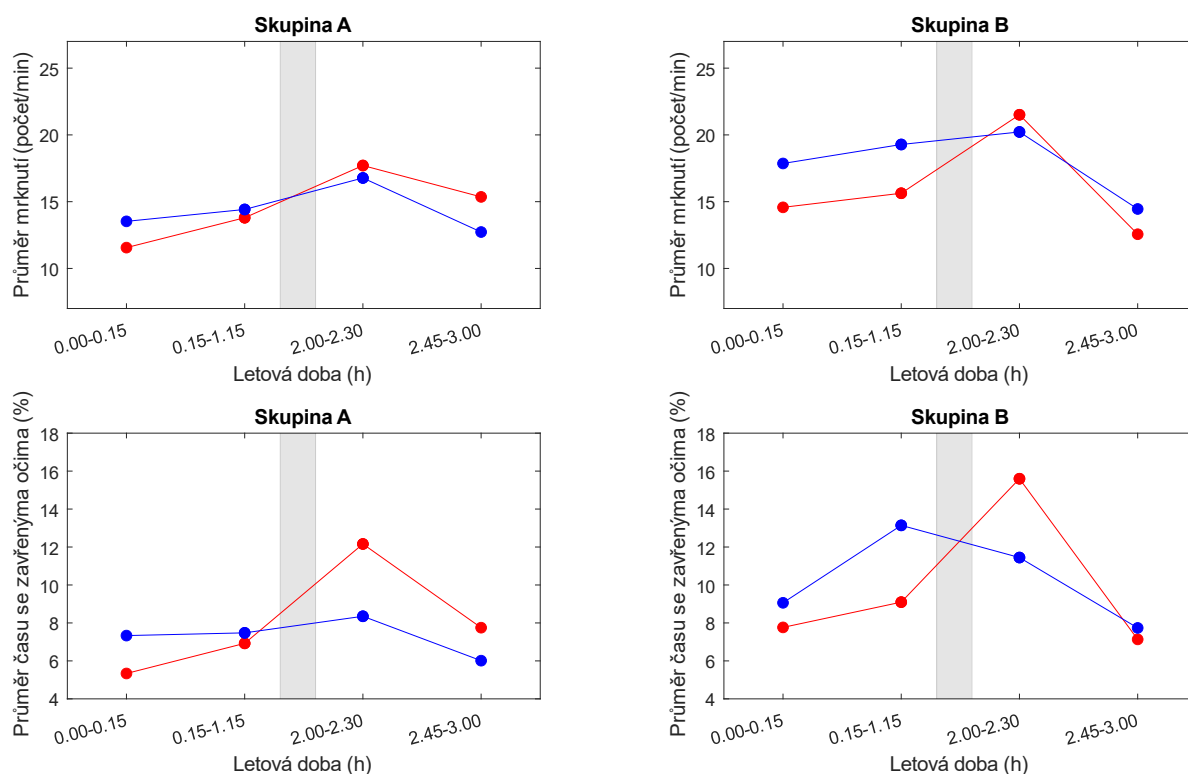
### 3.1.1 Let bez řízeného odpočinku vs. let s ním

U skupiny A rANOVA nedetekovala žádný významný rozdíl mezi lety s řízeným odpočinkem a bez něj jak u počtu mrknutí za minutu ( $F(1,8) = 55.457$ ,  $p = 0.80649$ ), tak ani u procenta doby zavření očí ( $F(1,8) = 29.918$ ,  $p = 0.6114$ ). U počtu mrknutí za minutu nebyl v průběhu času u skupiny A detekován žádný výrazný rozdíl. U procentuální doby zavření očí při letu s řízeným odpočinkem se statisticky významně lišila data naměřená v letové době 0:15–1:15 a 2:00–2:30 (6.92447 vs. 12.1602,  $p = 0.043105$ ), a také v době mezi 2:00–2:30 a 2:45–3:00 (12.1602 vs. 7.7498,  $p = 0.0076431$ ).

U skupiny B rANOVA rovněž nedetekovala žádný významný rozdíl mezi lety s řízeným odpočinkem a bez něj jak u počtu mrknutí za minutu ( $F(1,8) = 42.052$ ,  $p = 0.78937$ ), tak ani u procenta doby zavření očí ( $F(1,8) = 73.749$ ,  $p = 0.97846$ ). U počtu mrknutí za minutu nebyl v průběhu času ani u skupiny A detekován žádný výrazný rozdíl. Z hlediska procentuální doby zavření očí se lišily, avšak ne statisticky významně, měření v dobách letu 0:00–0:15 a 2:00–2:30 (7.76498 vs. 15.5981,  $p = 0.071921$ ). Statisticky významně se pak lišily mezi dobou 2:00–2:30 a 2:45–3:00 (15.5981 vs. 7.1335,  $p = 0.044415$ ).

Z naměřených dat tedy lze zkonstatovat, že řízený odpočinek neměl významný dopad jak na frekvenci mrkání, tak ani na procento doby zavření očí. Data však ukazují významný nárůst procenta doby zavření očí v období o délce třiceti minut po konci řízeného odpočinku (letová doba 2:00–2:30). Ilustrují tak vliv spánkové inercie v tomto čase, vedoucí ke snížení bdělosti subjektů i k jejímu následnému nárůstu po odeznění inercie.

K jednoduššímu vizuálnímu porovnání naměřených dat slouží Obrázek 16.



Obrázek 16. Grafy pro porovnání průměrných naměřených hodnot z Eye-trackingu. Červená linie vykresluje data pro lety s řízeným odpočinkem, modrá pro lety bez něj. Tmavě šedé okno znázorňuje přibližně období řízeného odpočinku.

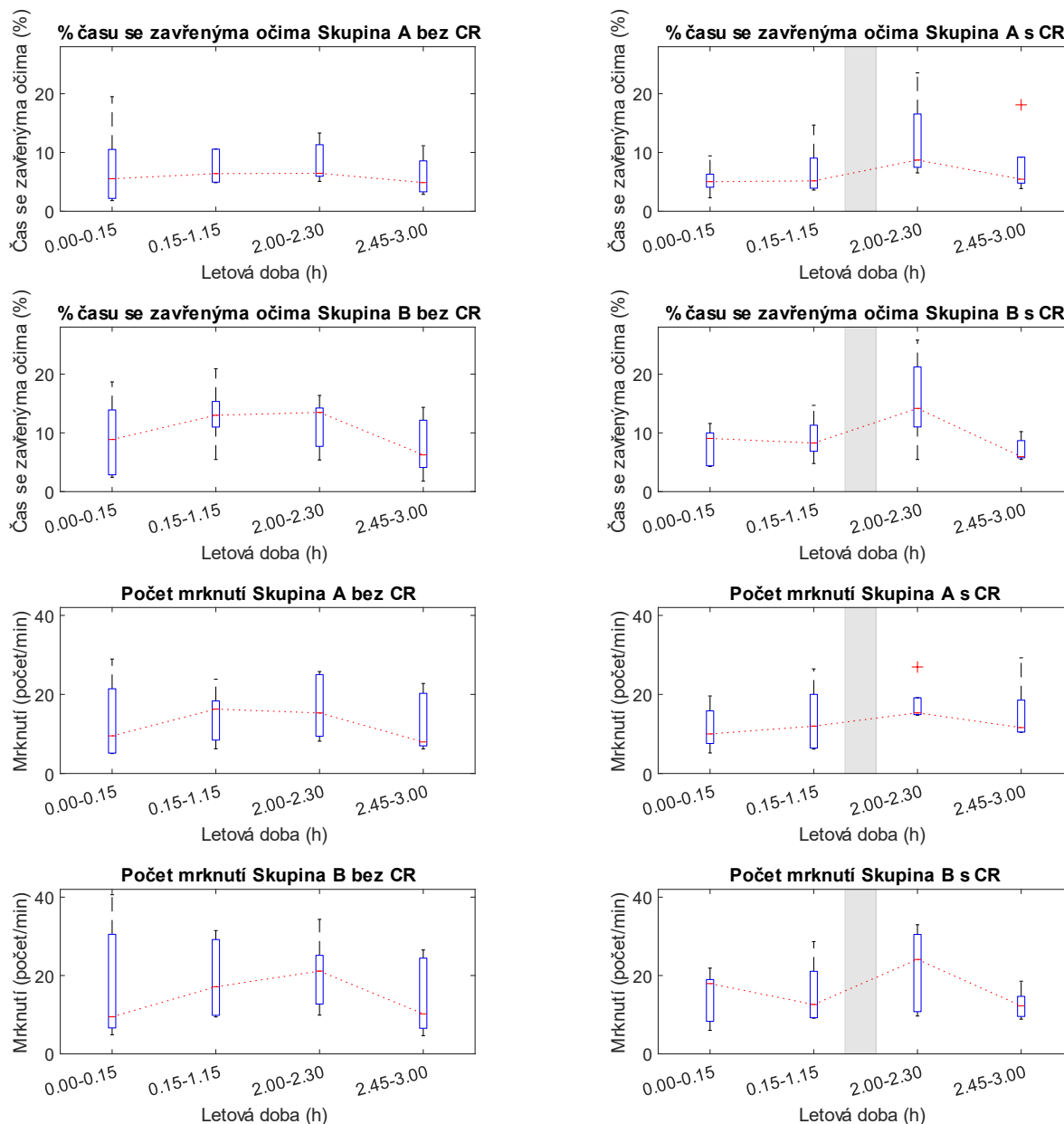
### 3.1.2 Večerní vs. ranní let

Při porovnání frekvence mrkání při letu bez odpočinku skupin A a B nebyl rANOVOU prokázán statisticky významný rozdíl ( $F(1,8) = 33.542$ ,  $p = 0.58479$ ). Taktéž tomu bylo i u procenta doby zavření očí ( $F(1,8) = 52.872$ ,  $p = 0.25153$ ).

U letů s řízeným odpočinkem rANOVA mezi skupinami A a B rovněž nedetekovala významné rozdíly jak ve frekvenci mrkání ( $F(1,8) = 79.263$ ,  $p = 0.84978$ ), tak ani v procentu doby zavření očí ( $F(1,8) = 42.657$ ,  $p = 0.62516$ ).

### 3.1.3 Grafy

V této části je možno si prohlédnout krabicové grafy výsledných dat z eye-trackingu, a to na obrázku 17. Mediány byly opět pro lepší zřetelnost trendu vývoje spojeny čarou.



Obrázek 17. Výsledná data z Eye-trackeru. Tmavě šedá okna znázorňují dobu řízeného odpočinku. Červená čára spojuje mediány.



## 4 Diskuse

Záměrem práce bylo zjistit, jak významný vliv má řízený odpočinek na bdělost pilotů. Před provedením experimentu bylo očekáváno, že bude na pilotovu bdělost působit kladně. Dokonce i ICAO ve svých textech [29] vyzdvihuje význam řízeného odpočinku jakožto opatření pro boj s náhlou únavou. Jak však prezentované výsledky ukazují, experiment, respektive data z PVT testů a metrik sledování očí při něm zaznamenávané, neodhalily významný přínos řízeného odpočinku ke zvýšení bdělosti pilotů. V určitých momentech si dokonce subjekty při letu s řízeným odpočinkem vedly hůře.

Podrobněji, při porovnání letů s řízeným odpočinkem a bez něj u skupiny A (role pilotů letících večer) nebyl shledán statisticky významný rozdíl jak ve výsledcích PVT testů, tak ani v počtu mrknutí za minutu, či procentuální doby zavření očí. Ke stejným výsledkům bylo dospěno i po vyhodnocení a porovnání dat od skupiny B (role pilotů letících nad ránem). Jsou tak v rozporu s výsledky Rosekinda [38], jehož experiment ukázal pokles jak reakčního času, tak i počtu reakcí nad 0.5 sekundy (Lapses) při letu s řízeným odpočinkem. Na rozdíl od jeho experimentu však byly mezi letem s řízeným odpočinkem a bez něj porovnávány skupiny se stejnými subjekty. Doba letu se také lišila, u Rosekinda se většinou pohybovala nad osmi hodinami. Vezmeme-li tyto informace a naměřená data do úvahy, je možné, že pro to, aby se řízený odpočinek výrazněji projevil, musí být let, při kterém je využíván, přinejmenším delší než tři hodiny. Další výzkum tohoto tématu je pro vyvození jednoznačných závěrů nutný.

Je však zajímavé, že u skupiny A byly výsledky PVT testů u druhého letu (s řízeným odpočinkem) již od počátku měření v průměru horší než při letu prvním. Dobře je tento fakt viditelný na Obrázku 13. Metriky z eye-trackeru avšak takovéto rozdíly neodhalily. Dá se proto konstatovat, že tento fakt je nejspíše způsoben významnou náročností experimentu (fyzickou i psychickou), kdy subjekty po prvním letu, který byl vždy prováděn bez řízeného odpočinku, přibližně věděly, že je při letu druhém čeká dlouhá noc bez spánku, plná různých, náročných testů. Toto se mohlo projevit určitou mírou demotivace, frustrace či lhostejnosti v průběhu jejich druhého letu (obsahujícího řízený odpočinek) v rámci



experimentu. Rose [39] již v minulosti potvrdila vliv určitých osobnostních vlivů na náchylnost k frustraci a zároveň následné dopady při provádění testů bdělosti. Je proto možné, že právě subjekty ve skupině A byly díky svým osobnostním rysům ovlivněny více, jelikož podobná data se u skupiny B neukázala.

Data ze sledování očí navíc odhalila významný pokles bdělosti v období třiceti minut po probuzení se z řízeného odpočinku (letová doba 2.00–2.30h), a to u obou skupin. Toto je patrné na Obrázku 16. Data tak korespondují s negativními vlivy a nebezpečími spánkové inercie, ku příkladu s výsledky studie T. L. Signal et al. [40], která poukazuje na dopady spánkové inercie při krátkém spánku (do 40 minut) po dobu přibližně třičtvrtě hodiny po probuzení. Zmiňuje také, že naměřená doba, po kterou se inercie objevuje se mezi jednotlivými, dříve provedenými pokusy, liší. Díky výsledkům z provedeného experimentu je proto možno zkonstatovat, že v tomto případě se po 30minutovém spánku projevila významně v období právě oněch třiceti minut po probuzení. Dosud praktikovaný klid od činností přímo souvisejících s řízením letounu, doporučovaný ICAO [29] po tuto dobu, se tak zároveň i potvrzuje být velmi důležitý pro udržení požadovaných schopností při pilotování letounu.

Při porovnávání dat skupin A a B mezi sebou nebyly rovněž v žádných metrikách zjištěny významné rozdíly, a to jak při porovnání letů bez řízeného odpočinku, tak i s ním. Dá se tedy říci, že denní doba, při které byly lety prováděny, rovněž neměl výrazný vliv na bdělost pilotů.

Z hlediska subjektivního hodnocení úrovně bdělosti subjektů v průběhu experimentu byl postupný pokles bdělosti v průběhu noci patrný. Subjekty postupně přestávaly reagovat na instrukce, které dostávaly, a působily čím dál tím více zmateným, či dezorientovaným dojmem. Zejména významný pokles bdělosti byl zřetelný v době nejvyššího dopadu spánkové inercie na subjekty, těsně po probuzení se z řízeného odpočinku. Ten je i podložen naměřenými daty. V porovnání mezi skupinami si dle čistě subjektivního pohledu vedla lépe skupina B. Toto se dá vysvětlit vyššími nároky na pilota letícího, vedoucí ke zvýšení jeho úrovně bdělosti. Tento jev popisuje Yerkes-Dodsonův zákon [15]. Jelikož subjekty skupiny B tuto roli zastávali v rámci noci později, byla postupně přicházející únava tímto způsobem mírně kompenzována.



Výsledky experimentu mohly být ovlivněny mnoha faktory. Prvních z nich je nízké množství testovaných subjektů, který byl způsoben pozdním zprovozněním simulátoru po jeho opravě, a z toho vedoucího nedostatku času pro změření vícera subjektů. Nakonec se experimentu zúčastnilo pouze 10 subjektů, jenž však musely dále být rozděleny do dvou nezávislých skupin z důvodu různé doby, kdy zastávali roli pilotů letících. Celkem tedy každý soubor dat (skupina A bez CR, skupina B bez CR, skupina A s CR a skupina B s CR) obsahoval data od pouze pěti subjektů. Je možné, že při opakování experimentu s vyšším počtem účastníků by došlo k eliminaci různých extrémů, plynoucích z individuálního stavu a schopností jednotlivých subjektů, a vliv řízeného odpočinku se tak projevil významněji.

Současně nebylo možné se s jistotou přesvědčit o dodržování předepsaného režimu před letem u jednotlivých subjektů. Navíc i povolený spánek v noci před experimentem se mohl u zkoumaných subjektů lišit jak délkou, tak i kvalitou. Toto mohlo dále naměřená data ovlivnit. Opět se tedy vracíme k předchozímu bodu, kdy při naměření dat od většího vzorku lidí by se vliv i tohoto faktoru mohl částečně minimalizovat. Další možností by pak bylo ku příkladu využití monitorů aktivity pro sledování subjektů po určitý čas před experimentem.



## 5 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zhodnotit vliv řízeného odpočinku na bdělost pilotů, se zaměřením na krátké či středně dlouhé lety. K získání potřebných dat byl proveden experiment na leteckém simulátoru, jehož se účastnilo celkem 10 subjektů, rozdělených do dvou skupin podle času letu (v noci/nad ránem), které dohromady provedly 20 nočních letů. Data byla sbírána z PVT testů a eye-trackingových brýlí. Výsledky měření nakonec neprokázaly významný vliv řízeného odpočinku na bdělost pilotů při nočních letech. Data z eye-trackingu však ukazují na sníženou bdělost pilotů v období půl hodiny po konci odpočinku, způsobenou nejspíše spánkovou inercií.

Ač výsledná data nekorespondovala s očekáváním – zvýšením bdělosti pilotů vlivem řízeného odpočinku, má tato práce stále významný přínos. Ku příkladu se jedná o pilotní studii zabírající se tímto tématem. Za podobných podmínek (krátké/středně dlouhé lety) zatím vliv řízeného odpočinku na bdělost zkoumán nebyl. Je proto samozřejmě možné, že při kratších letech řízený odpočinek pro zvýšení bdělosti pilotů své opodstatnění doopravdy nemá, zejména pak z důvodu nebezpečí následné spánkové inercie po probuzení. Nezbyvá než zkonstatovat, že další výzkum v této oblasti je pro vyvození jednoznačných závěrů důležitý.

Mezi zásadní limitace práce patří fixní pořadí letů (vždy nejprve bez řízeného odpočinku a poté až s ním), relativně nízký počet subjektů účastnících se měření a také nemožnost kontroly dodržování denního režimu před letem. Dále je nutné zmínit i vcelku nízký věk a zkušenosti zkoumaných subjektů, kteří se v době experimentu stále nacházeli ve fázi pilotního výcviku. Ani samotný simulátor nefungoval vždy zcela bezproblémově. Zejména je vhodné zmínit časté problémy se samotným vložením letového plánu do palubního počítače vedoucí často k nutnému restartování simulátoru. I toto mohlo indukovat určitou formu stresu letícímu pilotovi a zkreslit tak výsledky.

Při dalším zkoumání této problematiky, které se ukázalo jako velmi potřebné, by bylo vhodné vzít do úvahy určitá doporučení, jež z této práce vplynula. Jedná se o vyčlenění části subjektů z každé skupiny, u kterých by let s řízeným odpočinkem probíhal jako první let v rámci





experimentu. Tímto by se vyloučily určité vlivy, vycházející z přibližné znalosti podoby druhého letu díky letu prvnímu (očekávání, negativní asociace apod.). Velmi důležité je také zahrnutí vyššího počtu subjektů v rámci experimentu, ideálně pak alespoň deseti v každé nezávislé skupině. Zároveň by se mělo nejlépe jednat o již profesionální dopravní piloty, i když samotné porovnání vlivu řízeného odpočinku mezi zkušenými a nezkušenými piloty či mezi věkovými skupinami by jistě nebylo na škodu. Značně by také pomohlo využití určitého způsobu kontroly dodržování předletového režimu, ideálně pak za pomoci monitorů aktivity.



## Reference

- [1] Williamson A., Lombardi D.A., Folkard S., Stuttse J., Courtney T.K., Connor J.L., The link between fatigue and safety. *Accident Analysis and Prevention*, 2011, pp. 498-515, DOI: 10.1016/j.aap.2009.11.011
- [2] ICAO. *Fatigue Risk Management System: Manual for Regulators*, Doc 9966, 2012
- [3] Akerstedt, T. Consensus statement: fatigue and accidents in transport operations (editorial). *J. Sleep Res.* 9, 2000, pp. 395–399., DOI: 10.1046/j.1365-2869.2000.00228.x
- [4] Bendak S., Hamad S.J.R., Fatigue in aviation: A systematic review of the literature. *International Journal of Industrial Ergonomics*. Volume 76, 2020, DOI: 10.1016/j.ergon.2020.102928
- [5] Caldwell J.A., Crew schedules, sleep deprivation, and aviation performance. *Current Directions in Psychological Science*. 21, 2012, pp. 85–89., DOI: 10.1177/0963721411435842
- [6] Landström U., Noise and fatigue in working environments. *Environment International*, Volume 16, Issues 4–6, 1990, pp. 471-476, DOI: 10.1016/0160-4120(90)90015-X
- [7] Kandera B., Škultéty F., Mesárošová K., Consequences of flight crew fatigue on the safety of civil aviation, *Transportation Research Procedia*, Volume 43, 2019, pp. 297-289, DOI: 10.1016/j.trpro.2019.12.043
- [8] Wingelaar-Jagt Y.Q., Wingelaar T.T., Riedel W.J., Ramaekers J.G., Fatigue in Aviation: Safety Risks, Preventive strategies and pharmacological interventions, *Front Physiol.*, 2021, DOI: 10.3389/fphys.2021.712628
- [9] Marcus J.H., Rosekind M.R., Fatigue in transportation: NTSB investigations and safety recommendations, *Injury Prevention*, Volume 23, 2017, pp. 232-238



- [10] *ATPL ground training series*. Human Performance and Limitations. EASA revised first edition. Oxford: CAE Oxford Aviation Academy, 2014. ISBN 978-1906202712.
- [11] Caldwell J.A., Mallis M.M., Caldwell J.L., Paul M.A., Miller J.C.; Neri D.F., Fatigue Countermeasures in Aviation. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Volume 80, Number 1, January 2009, pp. 29-59(31), DOI: 10.3357/asem.2435.2009
- [12] Åkerstedt T., Landström U., Work place countermeasures of night shift fatigue, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Volume 21, Issues 3-4, 1998, pp. 167-178, DOI: 10.1016/S0169-8141(97)00045-0
- [13] Oken B.S., Salinsky M.C., Elsas S.M., Vigilance, alertness, or sustained attention: physiological basis and measurement, *Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*. Volume 177(9), 2006, DOI: 10.1016/j.clinph.2006.01.017
- [14] Sarter M., Bruno J.P., Vigilance, In: V.S. Ramachandran. *Encyclopedia of the Human Brain*. Academic Press, 2002, pp. 687-699. ISBN 9780122272103
- [15] Brown V.J., Bowman E.M., Alertness, In: V.S. Ramachandran. *Encyclopedia of the Human Brain*. Academic Press, 2002, pp. 99-110. ISBN 9780122272103
- [16] DeGutis J., Van Vleet T., Tonic and Phasic Alertness Training: A Novel Behavioral Therapy to Improve Spatial and Non-Spatial Attention in Patients with Hemispatial Neglect. *Frontiers in Human Neuroscience*. Volume 4, 2010, DOI: 10.3389/fnhum.2010.00060
- [17] Dinges D.F., Graeber R.C., Connell L.J., Rosekind M.R., Powell J.W., Fatigue-related reaction time performance in long-haul flight crews. *Sleep Res.*, Volume 19, 1992, pp. 117



- [18] Masalonis A.J., Duley J.A., Parasuraman R., Effects of Manual and Autopilot Control on Mental Workload and Vigilance During Simulated General Aviation Flight, *Transportation Human Factors*, 1:2, 1999, pp. 187-200, DOI: 10.1207/sthf0102\_7
- [19] Honn K.A., Satterfield B.C., McCauley P.; Caldwell J.L.; Van Dongen H.P.A., Fatiguing effect of multiple take-offs and landings in regional airline operations, *Accident Analysis and Prevention*, 2016, pp. 199-208, DOI: 10.1016/j.aap.2015.10.005
- [20] Ozmec-Ban M., Babić Š. R., Modić A, Airplane strategies for reducing turnaround time, 18th International Conference on Transport Science, 2018
- [21] Kassir S., *Psychologie*: Computer Press, 2007. ISBN 978-80-251-1716-3
- [22] Romeijn N., Raymann R.J.E.M., Møst E. et al., Sleep, vigilance, and thermosensitivity. *Pflugers Arch - Eur J Physiol.*, Volume 463, 2012, pp. 169-176, DOI: 10.1007/s00424-011-1042-2
- [23] Lericollais R., Gauthier A., Bessot N., Zouabi A., Davenne D., Morning Anaerobic Performance Is Not Altered by Vigilance Impairment, *PLOS ONE*, 2013
- [24] Law Insider Incorporated. Law Insider, Window of Circadian Low (WOCL) definition. [online]. [cit. 2022-04-10], Dostupné z: <https://www.lawinsider.com/dictionary/window-of-circadian-low-wocl>
- [25] Van Dongen H.P.A., Dinges D.F., Sleep, Circadian Rhythms, and Psychomotor Vigilance, *Clinics in Sports Medicine*, Volume 24, Issue 2, 2005, pp. 237-249, DOI: 10.1016/j.csm.2004.12.007
- [26] Chokroverty S., Overview of sleep & sleep disorders, *Indian Journal of Medical Research*, Volume 131, 2010, pp. 126-140
- [27] Chokroverty S., Overview of Normal Sleep, *Sleep Disorders Medicine: Basic science, technical considerations and clinical aspects*, 3rd Edition, 2017, pp. 5-25



- [28] Flight Safety Foundation, *Controlled Rest on the Flight Deck: A resource for operators*, 2018
- [29] IATA; ICAO; IFALPA. *Fatigue Management Guide for Airline Operators*, Second edition, 2015
- [30] Trotti LM., Waking up is the hardest thing I do all day: Sleep inertia and sleep drunkenness. *Sleep Med Rev.*, 2017, pp. 76-84, DOI: 10.1016/j.smrv.2016.08.005
- [31] Keith P., David P., Elizabeth B., Fatigue self-management strategies and reported fatigue in international pilots. *Ergonomics*. Volume 47, 2004, pp. 461-468, DOI: 10.1080/0014013031000085653
- [32] Hilditch J. C., Arsintescu L., Gregory B. K., Flynn-Evans E. E, Mitigating fatigue on the flight deck: how is controlled rest used in practice?, *Chronobiology International*, 37:9-10, 2020, pp. 1483-1491, DOI: 10.1080/07420528.2020.1803898
- [33] McKinley A. R., McIntire K. L., Schmidt R., Pinchak A., Caldwell L.J., Evaluation of Eye Metrics as a Detector of Fatigue, *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 2011, DOI: 10.1177/0018720811411297
- [34] Lindsey K. McIntire, R. Andy McKinley, Chuck Goodyear, John P. McIntire, Detection of vigilance performance using eye blinks, *Applied Ergonomics*, Volume 45, Issue 2, Part B, 2014, pp. 254-362, DOI: 10.1016/j.apergo.2013.04.020
- [35] Naeeri S., Saptarshi M., Ziho K., Analyzing pilots' fatigue for prolonged flight missions: Multimodal analysis approach using vigilance test and eye tracking, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, Volume 63, 2019, pp. 111-115, DOI: 10.1177/1071181319631092
- [36] EASA. Part-ORO, *Regulation (EU) No 965/2012*, Revision 16, December 2021.



- [37] Abdi H. The greenhouse-geisser correction. *Encyclopedia of research design*, 2010, pp. 544-548
- [38] Rosekind M., Graeber C.R., Dinges D., Connell J.L., Rountree M., Spinweber C., Gillen K., Crew factors in flight operations 9: Effects of planned cockpit rest on crew performance and alertness in long-haul operations, 1994, DOI: 10.21949/1403328
- [39] Rose C.L., Murphy B.L., Byard L., Nikzad K., The role of the Big Five personality factors in vigilance performance and workload, *European Journal of Personality*, Volume 16, 2002, pp. 185-200, DOI: 10.1002/per.451
- [40] Signal L.T., van den Berg J.M., Mulrine M.H., Gander H.P., Duration of Sleep Inertia after Napping during Simulated Night Work and in Extended Operations, *Chronobiology International*, 29(6), 2012, pp. 769-779, DOI: 10.3109/07420528.2012.686547