



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Ústav letecké dopravy

Vliv řízeného odpočinku na průběh letu **Influence of Controlled Rest on the Flight**

Bakalářská práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Obor: Profesionální pilot

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

Ing. Roman Matyáš, Ph.D.

Aleš Řezníček

Praha 2022

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K621.....Ústav letecké dopravy

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Aleš Řezníček

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský –PIL– Profesionální pilot

Název tématu (česky): **Vliv řízeného odpočinku na průběh letu**

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

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je zhodnotit vliv řízeného odpočinku na průběh letu. Práce vychází z předpokladu, že krátký spánek v průběhu nočního letu bude ovlivňovat pilota na takové úrovni, která se projeví na řízení letounu.
- Vykonejte analýzu současného stavu zaměřenou na problematiku krátkého spánku a jeho vliv na schopnosti obsluhy dopravního prostředku s hlavním zaměřením na letecké prostředí.
- Navrhněte a realizujte experiment, jehož prostřednictvím bude možné zhodnotit vliv krátkého spánku na řízení letounu.
- Získaná data vyhodnotte prostřednictvím vhodných metod.
- Výsledky interpretujte a diskutujte.
- Formulujte závěry a limitace práce.



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: 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. Roman Matyáš, Ph.D.

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.

Aleš Řezníček
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 8. října 2021



Poděkování

Tímto bych rád poděkoval všem, kteří při mně stáli během celého studia a poskytli neuvěřitelnou podporu. Velké poděkování taky patří panu doc. Ing. Bc. Vladimíru Sochovi, Ph.D., panu Ing. Romanu Matyášovi, Ph.D. a paní Ing. Lence Hanákové za velmi odborné vedení práce. Ocenit a poděkovat musím taky mým spolužákům, kteří se zúčastnili nočního experimentu v jejich volném času, bez nichž by tato práce nevznikla. V poslední řadě chci poděkovat mé rodině, která mi umožnila toto náročné studium a věnovala obrovskou podporu, která mě posouvala dále i v horších chvílích.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Vliv řízeného odpočinku na průběh letu vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

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

V Praze dne 8. srpna 2022

.....

.....
podpis



Abstrakt

Únava je na palubě letadla bezpečnostním rizikem. Může negativně ovlivnit let na takovou úroveň, která se bude blížit letecké nehodě. Mezi nejkritičtější fáze letu patří konečné přiblížení, což už několik let dokazují statistiky. Mezi jedno z mnoha opatření proti únavě patří řízený odpočinek. Motivací pro prozkoumání této oblasti je fakt, že neexistuje mnoho studií, zabývajících se tímto problémem. Cílem této práce je prozkoumat vliv řízeného odpočinku na průběh letu, který by se projevil na řízení letounu. Základem byly 2 noční experimentální měření na Fakultě dopravní Českého vysokého učení technického, kterých se zúčastnilo 10 subjektů, jež měly za úkol provést lety s trváním 3 hodin s následným přiblížením ILS. Subjekty byly vystaveny různé spánkové deprivaci, na kterou navazoval řízený odpočinek. Data byla vyhodnocena v prostředí programu MATLAB, jehož výsledky poukazují na fakt, že řízený odpočinek by mohl mít vliv na průběh letu. Práce může sloužit jako podklad pro další výzkum, který by tomuto problému dále věnoval. Vůči únavě je potřeba zaujímat proaktivní přístup, který může eliminovat potenciální chyby.

Klíčová slova

řízený odpočinek, letectví, letová data



Abstract

Fatigue is a safety hazard on board an aircraft. It can adversely affect a flight to a level approaching an air accident. One of the most critical phases of flight is the final approach, as statistics have shown for several years. One of the many measures against fatigue is controlled rest. The motivation for exploring this area is that there are not many studies addressing this issue. The aim of this paper is to investigate effect of the controlled rest on the flight, which would be reflected on the control of the aircraft. The basis of this work were 2 night experimental measurements at the Faculty of Transportation of the Czech Technical University, in which 10 subjects participated and were asked to perform flights of 3 hours duration followed by an ILS approach. Subjects were subjected to various sleep deprivation followed by controlled rest. The data were evaluated in a MATLAB environment, with results indicating that controlled rest could have an effect on the flight progress. The work can serve as a basis for further research that would address this issue in more depth. There is a need to take a proactive approach towards fatigue, which can eliminate potential errors.

Keywords

controlled rest, aviation, flight data



Obsah

Úvod	11
1. Teoretické základy práce.....	13
1.1. Únava	13
1.2. Spánek	14
1.2.1. Kreditový a debitový systém.....	15
1.2.2. Průběh spánku	16
1.2.3. Provoz v letectví	19
1.3. Cirkadiánní rytmy	19
1.4. Fatigue Risk Management System	21
1.5. Řízený odpočinek.....	22
1.6. Statistiky a nehody	25
1.7. Systém ILS	27
1.8. Konečné přiblížení	29
1.9. Analýza současného stavu	29
1.10. Analýza metod pro vyhodnocení přesnosti a správnosti řízení letounu	29
2. Metody měření.....	32
2.1. Experiment	32
2.2. Zvolené tratě	35
2.3. Subjekty.....	39
2.4. Zaznamenávání dat	39
2.5. Přesnost a správnost	40
2.6. Metoda vyhodnocení.....	42
2.7. Teorie statistické analýzy	44
3. Prezentace výsledků.....	45
4. Diskuze	52
Závěr.....	54
Seznam použité literatury	56



Seznam obrázků

Obrázek 1 - Teplota jádra těla v průběhu dne [5] (upraveno)	14
Obrázek 2 - Procentuální zastoupení jednotlivých fází [6] (upraveno)	17
Obrázek 3 - Diagram jednotlivých fází v průběhu dne u dospělého jedince [6] (upraveno)	18
Obrázek 4 - Vztah mezi spánkem a cirkadiánním cyklem v noci [6] (upraveno)	21
Obrázek 5 - Doporučené rozvržení řízeného odpočinku [11] (upraveno)	24
Obrázek 6 - Procentuální zastoupení nehod v různých fázích letu [12] (upraveno)	26
Obrázek 7 - Avionika G1000 využita při experimentu	28
Obrázek 8 - Prostředí simulátoru na ČVUT	32
Obrázek 9 - Příklad části OFP s traťovými body	34
Obrázek 10 - Mapa trati č.1	36
Obrázek 11 - Mapa trati č.2	37
Obrázek 12 - uživatelské rozhraní aplikace Navigraph	38
Obrázek 13 - Prostředí instruktorské stanice	40
Obrázek 14 - Znázornění přesnosti a správnosti [20]	41
Obrázek 15 - Vizualizace průběhu celého letu v prostoru	43
Obrázek 16 - Vizualizace letu v prostoru ve vertikální rovině	45
Obrázek 17 - Vizualizace letu v prostoru v horizontální rovině	46
Obrázek 18 - Distribuce průměrů v horizontální rovině – přesnost	49
Obrázek 19 - Distribuce směrodatných odchylek v horizontální rovině – správnost	50
Obrázek 20 - Distribuce průměrů ve vertikální rovině – přesnost	51
Obrázek 21 - Distribuce směrodatných odchylek ve vertikální rovině – správnost	51

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Ilustrativní tabulka měření	33
Tabulka 2 - Příklad letových dat získaných z programu iStation	42
Tabulka 3 - Výsledky post-hoc analýzy u přesnosti v horizontální rovině	47
Tabulka 4 - Výsledky post-hoc analýzy u správnosti v horizontální rovině	48



Seznam symbolů a zkratek

ATC	Řízení letového provozu (Air traffic control)
ATIS	Automatická informační služba koncové řízené oblasti (Automatic terminal information service)
ATO	Schválená výcviková organizace (Approved training organisation)
ATPL (A)	Airline transport pilot license (Aircraft)
CDI	Course deviation indicator
ČVUT	České vysoké učení technické
EEG	Elektroencefalografie (Electroencephalography)
EMG	Elektromyografie (Electromyography)
EOG	Elektrookulografie (Electrooculography)
FIR	Letová informační oblast (Flight information region)
FMC	Počítač systému řízení letu (Flight management computer)
FMS	Systém řízení letu (Flight management system)
FRM	Řízení rizik spojených s únavou (Fatigue risk management)
FRMS	Systém řízení rizik spojených s únavou (Fatigue risk management system)
GS	Sestupový maják (Glide slope)
IAC	Mapa přístrojového přiblížení (Initial approach chart)
IAF	Fix počátečního přiblížení (Initial approach fix)
IATA	Mezinárodní asociace leteckých dopravců (International Air Transport Association)
ICAO	Mezinárodní organizace pro civilní letectví (International Civil Aviation Organization)
IFALPA	International Federation of Air Line Pilots Associations
IFR	Pravidla letu podle přístrojů (Instrument flight rules)
ILS	Systém pro přesné přiblížení a přistání (Instrument Landing System)
LOC	Kurzový maják (Localiser)
NOSIG	Bez významných změn (No significant change)
NTSB	Národní úřad pro bezpečnost dopravy Spojených států amerických (National Transportation Safety Board)
OFFP	Operační letový plán (Operational flight plan)
PF	Pilot letící (Pilot flying)
PM	Pilot monitorující (Pilot monitoring)
PPL	Licence soukromého pilota (Private pilot license)



QNH	Q kód pro atmosférický tlak přepočítaný na střední hladinu moře
REM	Rapid eye movement
RWY	Vzletová a přistávací dráha (Runway)
SID	Standardní přístrojový odlet (Standard instrument departure)
SMS	Systém řízení bezpečnosti (Safety management system)
STAR	Standardní přístrojový přílet (Standard instrument arrival)
TCAS	Palubní proti srážkový systém (Traffic Alert and Collision Avoidance System)
TOC	Vrchol stoupání (Top of climb)
TOD	Vrchol sestupu (Top of descent)
WOCL	Okno cirkadiánního útlumu (Window of circadian low)



Úvod

Lidský činitel je jeden z nejpřízpusobivější a nejcennější součástí leteckého prostředí. Jelikož jsme pouze lidi, jsme v této oblasti i nejvíce zranitelní. Jelikož většina leteckých incidentů a nehod je důsledkem snížené výkonnosti člověka, je pochopitelné, že jsou zde tendence přičítat tyto nehody lidské chybě.

Termín "lidská chyba" však při prevenci a vyšetřování leteckých událostí nepomáhá. Může nám sice ukázat, kde systém selhal, ale neříká nám nic o příčinách, které k selhání vedly. Také jsou zde skryté faktory, které by měly být odhaleny, nicméně ve skutečnosti, to není tak snadné. Příkladem jsou chyby připisované jednotlivcům, které ve výsledky byly chybou v jiné oblasti, ale projevy se právě v lidském činiteli. Řadíme sem konstrukční nedostatky, špatný výcvik, nesprávné postupy či špatně interpretované provozní příručky. V moderním světě je objevení lidské chyby za leteckým neštěstím pouhým začátkem procesu vyšetřování a prevencí před dalšími takovými událostmi. Pochopení omezení lidského organismu a uplatnění těchto znalostí v provozu je hlavním cílem studia lidského faktoru.

Přibližně tři ze čtyř nehod se staly z důvodu pochybení člověka, který byl zdravý, bez omezení a s potřebnými kvalifikacemi. Z důvodu finančních nákladů a potřeby lidí, které jsou nepředstavitelné, je potřeba zaujmout důrazný a efektivní přístup k lidskému činiteli, který pomůže vytvářet bezpečnější prostředí.

Odpočinek je pro každý lidský organismus potřebný a nedokáže bez něj v delším časovém úseku pracovat. Nicméně jako lidi jsme všichni unikátní a potřebu odpočinku vnímáme každý různě. Při nedostatku odpočinku nám tělo začne vydávat varovné signály v různých podobách v závislosti na naléhavosti. Nedostatek odpočinku v důsledku dlouhodobého bdění nebo opakovaného nedostatečného spánku vede bezesporu ke zhoršení kognitivní výkonnosti. Navíc u jedinců, jež nemají dovoleno si na krátkou chvíli odpočinout dochází k neúmyslným výpadkům pozornosti, což v leteckém prostředí, natož na palubě letounu, je nepřijatelné. K těmto výpadkům dochází asi u 20 % pracovníků, jež pracují na noční směny.



Není pochyb o tom, že v letectví hraje velkou roli i ekonomický faktor. Předpis jasně definuje délky služeb, potřeby odpočinku a nálety za různé časové období. Tyto požadavky jsou často splňovány na samé hraně k zefektivnění provozu a chodu společnosti. Nejenže splňování těchto podmínek nezaručí dostatečný odpočinek pro posádky, který by odpovídal tíženému výkonosti, ale mnohdy vytváří i nebezpečné situace.

Míra pozornosti, výkonosti a soustředění je klíčová pro ovládnutí letounu a jeho přidružených systémů, což nám zajišťuje bezpečný průběh letu. Posádky jsou vystaveny enormnímu zatížení, stresu a nedostatku odpočinku, jež je zapříčiněno nestandardními pracovními směny, lety v nočních hodinách či přesouvání se z jednotlivých časových pásem. Všechny tyto podmínky vytvářejí únavu, ospalost a sníženou výkonnost, což může vést k možnosti katastrofální chyby.

Proto se jako poslední možnost ke zvýšení výkonosti, jež je spojena s řízením letounu v již probíhající letu, jeví využití řízeného odpočinku. Malé zdímnutí může působit pozitivně proti spánkové deprivaci. Jen 30minutový spánek v nočních hodinách má potenciál zvýšit výkonnost v průběhu dalších několika hodin. Experiment v této práci je zaměřen na vystavení pilota spánkové deprivaci, jež velmi často odpovídá i skutečným podmínkám v pravidelné letecké dopravě. Cílem práce je zjistit vliv řízeného odpočinku na průběh letu, který by se projevil na řízení letounu.



1. Teoretické základy práce

K pochopení a následnému správnému nasimulování rutinních aktivit pilotů je potřeba se podrobněji podívat na biologické potřeby lidského organismu a prozkoumat souvislosti únavy a spánku.

1.1. Únava

Únavu popisuje letecký předpis L6 v části I. jako [1] „*fyziologický stav snížené duševní nebo fyzické způsobilosti vykonávat své povinnosti, vyplývající z úbytku spánku, delší nespavosti, denní fáze a/nebo pracovního zatížení (duševní a/nebo tělesné aktivity), který může narušit lidskou bdělost a schopnost vykonávat pracovní povinnosti související s bezpečností.*“

Únava způsobená nedostatkem spánku, prodloužením stavu bdělosti a narušením cirkadiálního rytmu., vede ke zhoršení výkonnosti, což dále navazuje na chyby, které mohou vyústit v incidenty ohrožující bezpečnost letu [2]. Ačkoliv je významným problémem, hlášena je od pilotů v civilním i vojenském letectví nedostatečně [3].

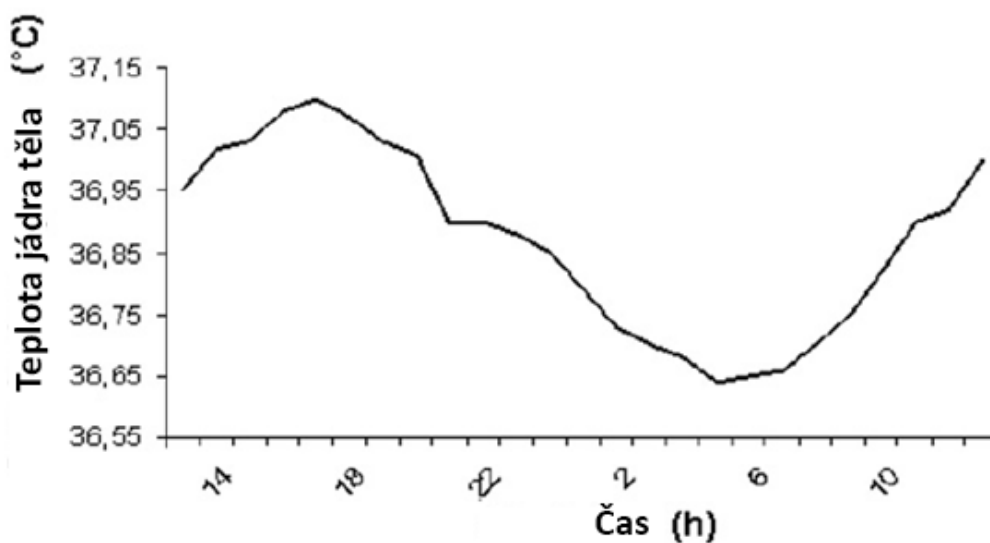
Můžeme ji dělit na krátkodobou a dlouhodobou neboli chronickou. Krátkodobá únava je většinou způsobena nedostatkem spánku, těžkou fyzickou nebo mentální námahou, špatným rozložením pracovních dnů, dlouhých služeb, nedostatkem jídla nebo pásmovou nemocí. Není těžké ji rozpoznat a odstranit vhodným odpočinkem. Dlouhodobá únava lze v mnoha případech těžko rozpoznat a následně si ji přiznat. Může pocházet z různých příčin, a to z fyzické či mentální námahy, dlouhodobých sociálních či pracovních problémů v kombinaci s finančními starostmi a vysokým vyčerpáním. Může být subjektivní a vnímána vícero piloty různě a po delší době [4].

Nejčastější příznaky únavy jsou nedostatek pozornosti, zhoršené motorické schopnosti, zhoršené vidění, delší reakční čas, zhoršená krátkodobá paměť, narušená koncentrace, snadné rozptýlení, zvýšená chybovost, podrážděnost a abnormální reakce [4].

Únava je úzce spojena se spánkem, který dokáže ve většině případů vyřešit tento stav snížené výkonnosti. Proto je další vyžadováno prozkoumat i tuto důležitou součást.

1.2. Spánek

Spánek je ta nezákladnější lidská potřeba. Beze spánku naše tělo dokáže pracovat jen omezenou dobu. Během spánku se organismus zotavuje nejen z fyzické, ale i mentální aktivity z celého dne. Nelze přesně definovat délku potřebného spánku, jelikož se liší v závislosti na věku a množství spotřebované energie. V průzkumu provedeném mezi milionem lidí bylo nejčastěji uváděna délka spánku okolo 8 - 9 hodin. Někteří lidé jsou schopni si vystačit s mnohem kratším časem a to 3 - 4 hodiny spánku za noc. Se stárnutím přicházejí zásadní změny v požadavcích na spánek. Novorozenci vyžadují a jsou schopni spát i 23 hodin denně, a i ve vyšším věku budou potřebovat více spánku než dospělí jedinci. S přibývajícím věkem lidé potřebují spát méně a méně, ale zároveň jsou velmi citliví na to, v jakou dobu se spánek bude odehrávat. Ženy mají v globálním měřítku tendenci spát déle než muži, nicméně si častěji stěžují na problémy se spánkem [4]. Jeden z důležitých měřitelných faktorů, který je úzce spojen se spánkovým cyklem, je teplota těla. Když začne klesat, cítíme čím dál intenzivnější únavu. V době nejnižší teploty těla budeme pociťovat těžkou únavu a ospalost. V opačném případě při nejvyšší teplotě jsme nejvíce vzhůru. Přes den se pravidelně mění, okolo 17:00 je nejvyšší a v ranních hodinách přibližně v 5:00 nejnižší. Tuto fluktuaci lze spatřit na obrázku 1. Tato skutečnost vysvětluje důvod, proč můžeme mít problémy se spánkem i několik dní po přechodu časových pásem [4].



Obrázek 1 - Teplota jádra těla v průběhu dne [5] (upraveno)



Čas strávený vzhůru je důležitý pro určení potřebné doby spánku, nicméně vliv má na to také cirkadiánní rytmus. V zásadě jedinec, který v určitou dobu nedostatečně spal a je unaven, může i přes to mít potíže s usínáním. Proto právě načasování spánku, nikoliv doba bdění, je rozhodujícím faktorem pro určení délky spánku [4].

Spánek v době, kdy tělesná teplota je blízko maxima, nebo kdy teplota klesá, bude delší a kvalitnější než spánek v době, kdy tělesná teplota stoupá. Tedy posádka, která se pokouší usnout v době, kdy tělesná teplota roste, bude mít podstatně větší potíže usnout, a pokud člověk usne, probudí se během krátké chvíle [4].

Stejně jako cirkadiánní rytmy teploty a dalších fyziologických procesů existují i rytmy komplexnější. Výkon jedince je ovlivněn denní dobou. Jednoduché úkoly, které vyžadují jen malý vstup do krátkodobé paměti, se řídí vzorcem tělesné teploty. Výkonnost se zlepšuje se zvyšující se teplotou a klesá jejím snižováním, maximum dosahuje okolo poledne [4].

1.2.1. Kreditový a debitový systém

Cyklus spánku a bdění si lze představit jako debetní systém. V tomto systému se jedinci přičítají dva body za každou hodinu spánku a jeden bod odečítá za hodinu bdění. Jedná se o přibližné měřítko, protože potřeba spánku se u každého člověka může velmi lišit. Maximální počet bodů je 16. Kreditní body nad hodnotu 16 nelze uložit pro strávení delšího času ve stavu bdění. Spánek v délce 10-12 hodin po namáhavé činnosti nám tedy dá pouze 16 kreditů a člověk se bude i tak cítit unaven opět po 16 hodinách, nikoliv později. Čím méně spánkových bodů člověk má, tím má větší tendenci rychle usnout. Postupné snižování počtu kreditu může v průběhu času přerůst v tzv. kumulativní spánkový dluh. Je důležité si uvědomit, že snížení výkonnosti v důsledku nedostatku spánku se zvyšuje s nadmořskou výškou [4].



1.2.2. Průběh spánku

Laboratorní experimenty odhalily mnoho informací o různých fázích spánku. Dobrovolníci se podrobili řadě měření a pozorování během jejich spánku. Byl použit elektroencefalogram (EEG) k zaznamenávání elektrické aktivity mozku, elektrookulogram (EOG) k měření očních pohybů v očním důlku a elektromyogram (EMG) k měření svalové relaxace nebo napětí [4].

Studie prokázaly, že spánek členů posádek na palubě letadla je lehčí a více fragmentovaný než spánek na zemi. Největší podíl na to má náhodný hluk, náhodné myšlenky, turbulence, přirozený zvuk letounu, nepohodlná poloha v sedadle, nízká vlhkost, teplota a osobní potřeby [6].

Non-Rapid Eye Movement fáze

Ve srovnání s bdělou mozkovou aktivitou dochází ve spánku při této fázi k postupnému zpomalování mozkových vln. Srdeční frekvence a dýchání bývají pomalé a pravidelné [7].

Tato fáze je obvykle rozdělena do 4 částí v závislosti na charakteristice mozkových vln [4].

Fáze 1 a 2

Tato fáze reprezentuje lehký spánek, ve které pokud je člověk snadno probuzen [7]. Jedná se o přechodnou fázi mezi bděním a spánkem. V počáteční stádiu spánku se nacházíme asi 10 minut ve fázi 1, než přejdeme do fáze 2, která trvá asi 20 minut. Poté nastávají hlubší fáze 3 a 4 [4].

Fáze 3 a 4

Během těchto fází je mozek semiaktivní a vysílá dlouhé pomalé vlny, které se měří pomocí EEG záznamů, a proto se běžně označuje jako „slow wave sleep“ nebo také ortodoxní spánek, která trvá přibližně 50 % času spánku. Svaly jsou zrelaxované a oči jsou za víčky nehybné. Funkcí ortodoxního spánku je zregenerovat tělo a je nezbytný pro obnovu tkání. Po vyčerpávající fyzické aktivitě bude tělo potřebovat více fází právě ortodoxního spánku [4]. Zde je obtížné jedince probudit [7].

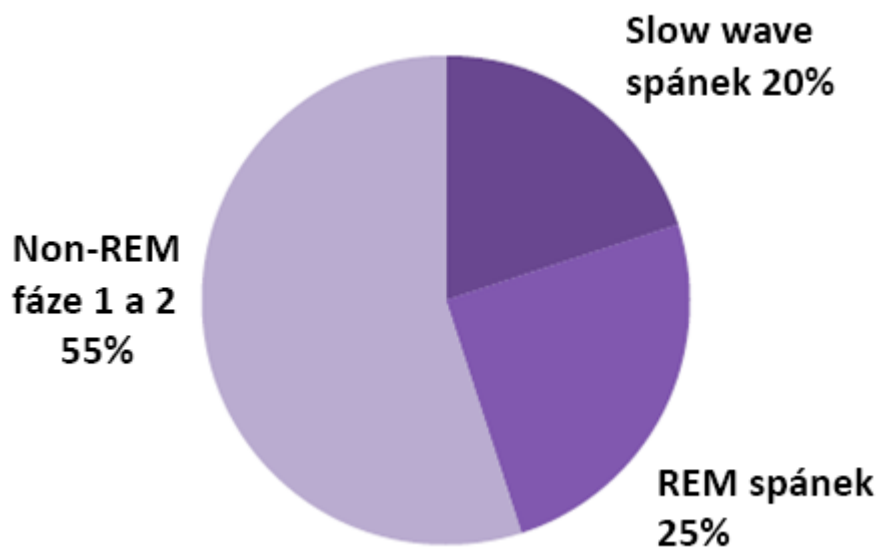
I v již zmíněném „slow wave sleep“ je mozek stále aktivní přibližně z 80 % a je schopen aktivního kognitivního zpracování. Přibývá důkazů, že spánek v pomalých vlnách je nezbytný pro zpracování informací do paměti [7].

Rapid Eye Movement

Další fází je tzv. REM fáze, též někdy nazývána jako paradoxní spánek, který se velmi odlišuje od ortodoxního [4].

V této fázi je mozek aktivní a výstup z EEG je podobný výstupu jedince v bdělém stavu. Dále je zaznamenán rychlý pohyb očí za očními víčky. Dochází k téměř úplnému zastavení činnosti svalů, nicméně u očních svalů pozorujeme velmi rychlé pohyby [7].

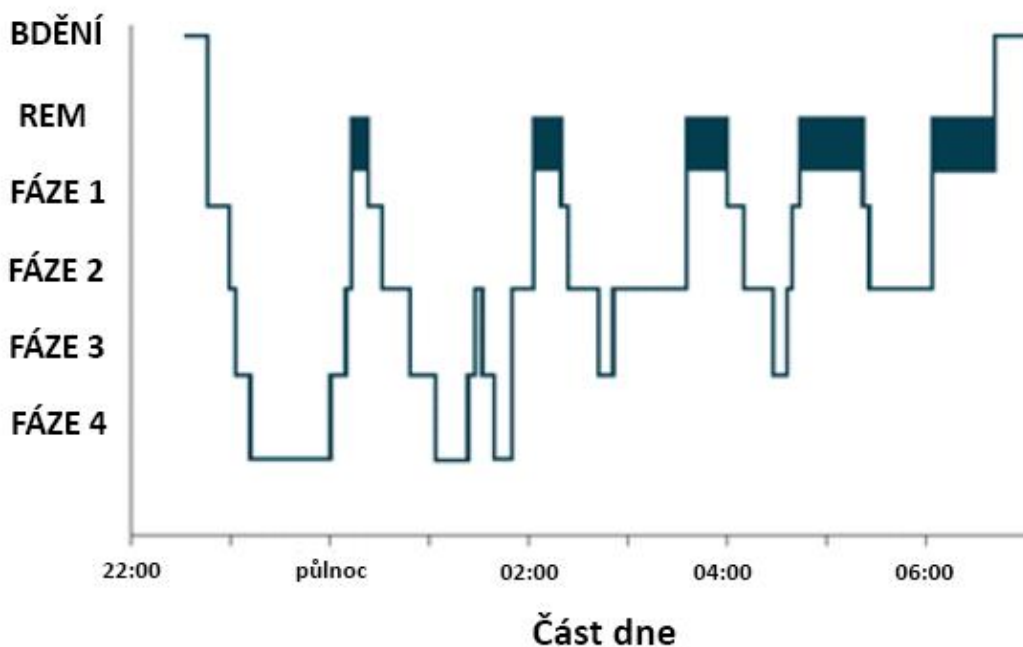
Paradoxní spánek regeneruje a posiluje mozek, taktéž významně přispívá k emoční vyrovnanosti. Pokud je mozek velmi namáhán učením nových věcí a postupů, fáze REM se zintenzivní a prodlouží [4]. Zastoupení jednotlivých fází je znázorněno na obrázku 2.



Obrázek 2 - Procentuální zastoupení jednotlivých fází [6] (upraveno)

Během klasického spánku probíhá tento vzorec přibližně v 90 minutovém cyklu. Po prvních 90 minutách usínání nastupuje první fáze REM, která však trvá krátkou chvíli, přibližně 10–20 minut, poté člověk opět přejde do spánku pomalých vln, tzv. „slow wave“. Po konci dalšího 90 minutového cyklu se trvání REM fáze prodlužuje [4].

Na obrázku 3 lze pozorovat spánkový profil typického nočního spánku. Jednotlivé fáze se můžou lišit, a to v závislosti na tom, jaké činnosti předcházely. Pokud jedinec absolvoval fyzicky namáhavé činnosti, fáze 3 a 4 se ekvivalentně prodlouží. Naopak při mentální námaze, například učení se, se fáze REM prodlužuje [4].



Obrázek 3 - Diagram jednotlivých fází v průběhu dne u dospělého jedince [6] (upraveno)

Během spánkové deprivace a zároveň při nedostatečně dlouhých fázích 3 a 4 nebo REM fáze, dojde k dohnání těchto fází v dalším spánku, což se nazývá „rebound effect“. Popsáno to může být na příkladu probuzení po 3 hodinách spánku. Tělo absolvovalo dostatek fází „slow wave“, ale má deficit právě REM fází. Proto v dalším spánkovém cyklu se REM fáze objeví daleko dříve a její trvání bude delší než obvykle [4].



1.2.3. Provoz v letectví

Piloti a členové posádek jsou neustále vystaveni dlouhým pracovním dnům, brzkými odlety, pozdními přílety a nestandardní pracovní dobou, která zahrnuje noční služby [3]. I přes optimalizované plánování a efektivnímu využívání odpočinku mimo službu, stále může dojít během letu k neočekávané únavě [8].

Dlouhá pracovní doba v kombinaci s prací v nepřetržitém provozu bezpochyby přispívá ke spánkové deprivaci a narušuje cirkadiánní rytmus.

Odpovídá tomu i fakt, že změny výkonnosti způsobené setrváním vzhůru přibližně 18 - 21 hodin, můžou odpovídat těm, které jsou pozorovány při koncentraci 0,05 - 0,08 % alkoholu v krvi [3].

1.3. Cirkadiánní rytmy

Spolu se spánkem je velmi důležité se podrobně podívat na vnitřní procesy, které se v těle odehrávají. Život na této planetě je přizpůsoben 24hodinovému slunečnímu dni. V průběhu evoluce člověk dokázal přizpůsobit tomuto systému světla a tmy a nastavit tak své tělo v podobě pravidelných rytmů [8].

Hypotalamus v našem mozku stanovuje 24hodinové fyziologické a behaviorální rytmy. Cirkadiánní rytmy ovlivňují spánek/bdění, motorickou aktivitu, hormonální procesy, tělesnou teplotu, výkonnost a mnoho dalších faktorů. Teplota tělesného jádra se často používá jako biologický marker k určení cirkadiánní fáze a souvisí s rytmem spánku a bdění, sekreci hormonů, trávením a dalšími fyziologickými ději v těle [9].

Za normálních okolností je vlastní perioda lidských biologických hodin nastavena na 24,2 hodiny. Tato perioda je o něco delší než 24 hodinový cyklus dne. Odtud pochází název cirkadiánní (circa znamená „kolem“). Jako u každého rytmu jsou i zde důležité parametry fáze, amplitudy a periody. K synchronizaci cirkadiánního rytmu na 24hodinový cyklus jsou zapotřebí vnější signály, známé jako „zeitgebers.“ Tělo vnímá světlo, vnější informace jako východ nebo západ Slunce, světlo, tmu, hluk, pravidelnost ve stravování a v neposlední řadě pracovní dobu [5].



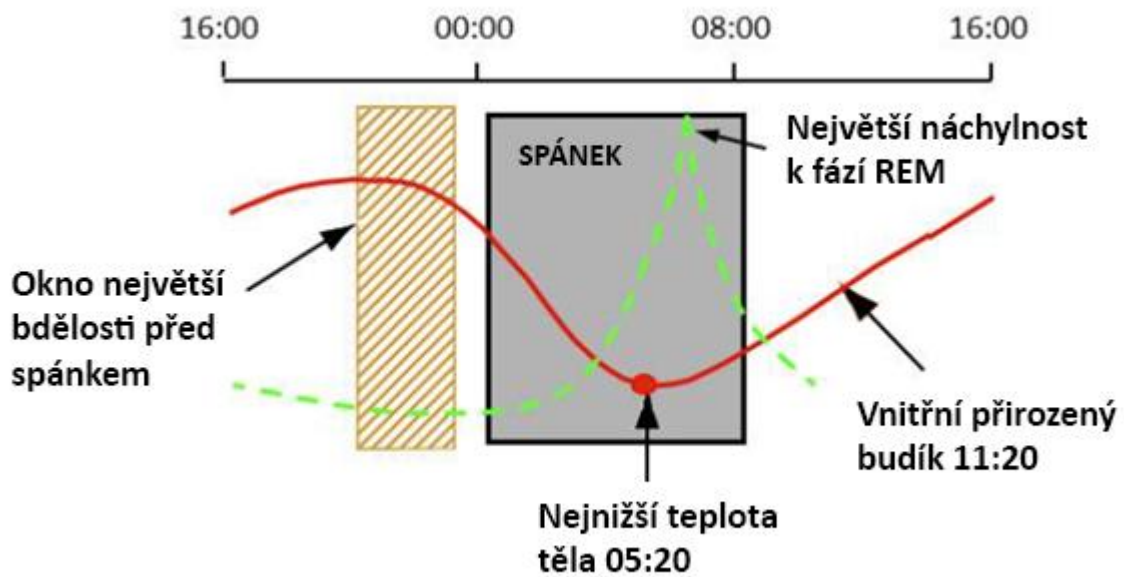
Kromě fotoreceptorů (tyčinek a čípků) tvořící obraz v sítnici, je u savců světlo detekováno speciálními buňkami. Tato třetí třída fotoreceptorů, nazývána fotosenzitivní gangliové buňky sítnice, se podílí na několika funkcích, které nemají za úkol vytvářet obraz [9].

Charakteristika světla ze Slunce se mění v průběhu dne a v závislosti na atmosféře. Typicky během dne obsahuje světlo více krátkých (modrých) vlnových délek a při západu se mění naopak na delší (červené) vlnové délky. Modré světlo více stimuluje melanopsin, což je fotopigment uvnitř již zmíněných gangliových fotosenzitivních buněk. Citlivost melanopsinu je adaptací na přirozený sluneční cyklus, takže tyto buňky jsou nastaveny tak, aby rozlišovaly den od noci a umožnili synchronizaci cirkadiánních rytmů [9].

Nicméně tohle je velký problém pro posádky, které jsou tomuto vystaveni prostřednictvím nočních letů nebo letů přes několik časových pásem. Dochází k desynchronizaci a tělo se s tím musí vypořádat [6].

Tyto rytmy, které se vyskytují u člověka a mnoho dalších živočichů. Jsou měřitelné a k jejich měření slouží parametry jako tělesná teplota, krevní tlak, srdeční frekvence, stimulace smyslů, činnost nadledvin a hladina nervových vzruchů v mozku [5].

Obrázek 4 popisuje několik důležitých faktů. Spánek běžně začíná přibližně 5 hodin před minimální teplotou jádra těla. Naopak probuzení nastává 3 hodiny po tomto minimu. Také je na obrázku vidět vrchol zelené křivky, což je největší náchylnost k REM fázi. Ihned poté co teplota začne růst, vysílá tělo signál do mozku, že se blíží fáze probouzení, což je někdy popisováno jako „circadian alerting signal“. Přibližně 3 hodiny po tomto signálu je nejtěžší usnout a v anglické literatuře je to nazýváno „internal alarm clock“. Tento signál je nejsilnější právě v době, kdy se chystáme usnout, proto nám dělá někdy potíže usnout v krátkém časovém úseku [6].



Obrázek 4 - Vztah mezi spánkem a cirkadiálním cyklem v noci [6] (upraveno)

Minimální teplota jádra dosahuje minima okolo 2 – 6 hodiny ranní, ale může se lišit. S tímto je spojeno i okno cirkadiálního útlumu (WOCL) [10]. Právě v tomto úseku je člověk nejvíce unaven a podává nejhorší výkony [6].

1.4. Fatigue Risk Management System

Důležitou součástí postoje k únavě je umění si spánek naplánovat, obzvláště pokud je očekávána zvýšená mentální či fyzická aktivita následující den [4]. Únava členů posádky je v poslední době velkým tématem v oblasti civilního letectví. Nejen že může ovlivnit výkonnost jedince, ale také je zde možnost ohrožení bezpečnosti letu. Při pocitech únavy, se snižuje naše schopnost učení se novým věcem, morálka, ale hlavně to má negativní dopad na zdraví [11].

Regulátoři stále častěji kladou důraz a požadují, aby provozovatelé pro zvládnutí únavy posádky činili více a než pouze monitorovali a dodržovali maximální možné doby letu a služby, tzv. „flight time“ a „duty time“. Mezi tyto požadavky patří demonstrování efektivního řízení rizik spojených s únavou (FRM) v rámci systému řízení bezpečnosti (SMS) nebo pomocí určitého systému řízení rizik spojených s únavou (FRMS) [11].



Systém řízení rizika únavy (FRMS) si lze představit jako proces kontinuálního sledování a monitorování bezpečnostních rizik, které souvisí s jakoukoliv formou únavy, založené na vědeckých znalostech a principech. Vychází se i ze zkušeností z provozu a cílem je zajistit určitou míru bdělosti u člověka [7].

Účinnost zavedených postupů v rámci FRMS, a jak je provozovatel řídí, se liší. Velmi důležitá součástí tohoto systému je kontrola zavedených mechanismů, zda jsou správně nastaveny a funkční. Mezi tyto mechanismy patří školení a výcvik pro posádky a oddělení posádek, jež musí počítat s riziky při tvorbě plánů. Dále je zapotřebí mít ve společnosti systém hlášení únavy, který zajistí potřebná data pro další úpravu nastavení tohoto systému [11]. Nikdy ovšem není situace taková, jak si ji naplánujeme, a proto se i tak mohou objevit chvíle, kdy se na letovou posádku dostaví neočekávaná únava. Výkonnost se v průběhu, zejména delších letů a v době okně cirkadiánního útlumu, mění. Což souvisí s pravděpodobností chyby způsobené únavou. Proto je organizací ICAO doporučováno využití řízeného odpočinku v sedačce pilota, který je v současné době praktikován v podstatě celém světě [11].

1.5. Řízený odpočinek

Řízený odpočinek v pilotní kabině popisuje Fatigue Management Guide for Airline Operators [6], který byl vydán ve spojení ICAO, IATA a IFALPA a popisuje ho jako účinný prostředek ke zmírnění únavy letových posádek. Neměl by být využíván jako nástroj pro plánování, ale měl by být použit podle potřeby ve spojení s dalšími opatřeními v reakci na neočekávanou únavu, ke které došlo během provozu [6].

Controlled rest, jak je běžně užíváno v anglickém jazyce, se liší od odpočinku na dedikovaném lůžku v prostoru, který využívají výhradně 3 a více členné posádky, kde pilot může opustit kabinu a zde si odpočinout na více než hodinu. Taktéž se mezi něj nemůže zahrnovat neúmyslné usnutí v sedačce [8].

I přes to, že by členové posádky měli během letu být neustále ve střehu a udržovat situační povědomí, může nastat situace, kdy dojde k náhlé únavě v důsledku nedostatku spánku a rozhození cirkadiánního rytmu [12].



Pokud je řízený odpočinek v prostoru kabiny využit, měla by být napsána zpráva, která umožní v rámci procesu systému řízení bezpečnosti vyhodnotit, zda jsou stávající strategie zmírňování únavy ve společnosti přiměřené a účinné. Zároveň je nutné před praktikováním řízeného odpočinku absolvovat příslušný výcvik [6].

Jeho použití je určeno pouze v takových fázích letu, kde je nízká úroveň pracovní zátěže, například během cestovního letu, a kdy nenaruší provozní povinnosti posádky. V žádném případě nesmí být využíván jako prostředek pro prodloužení doby služby posádky [6].

Řízený odpočinek by měl být využit ve spojení s dalšími postupy proti únavě, jako například fyzické cvičení, navýšení intenzity světla v kokpitu ve vhodnou dobu, vyvážená strava a pití a další osobní činnosti, které by pomohly k překonání únavy [6].

Příprava

Ještě před započítáním řízeného odpočinku by velitel letounu měl usoudit, zda okolnosti dovolují ho zahájit. Mezi okolnosti, které by měla posádka zvážit, patří profil letu. Let v cestovní hladině musí být dostatečně dlouhý, aby byly dodrženy časové omezení znázorněné na obrázku 5. Společně by měli zhodnotit, zda nenásleduje úsek letu s vyšší pracovní zátěží z důvodu meteorologických podmínek, stavu paliva, rozestupů a stavu letounu [11]. Mělo by být využito všech dostupných prostředků ke snížení pracovního zatížení druhého pilota. Mezi ně patří zapojení veškeré automatizace, například aspoň jednoho autopilota či automatu tahu. Měla by být zkontrolována funkčnost palubního meteorologického radaru a FMS/FMC, TCAS, pro zlepšení situačního povědomí během jedno-pilotní fáze. Taktéž je zapotřebí informovat posádku v kabině o probíhajícím řízeném odpočinku [11].

Pravidla a plánování

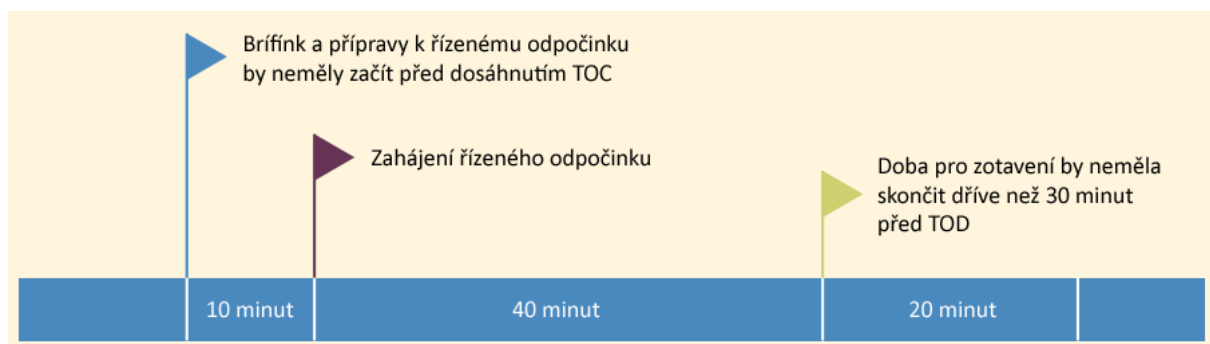
V jednu chvíli může využít řízeného odpočinku v sedadle pouze jeden člen posádky. Na přípravu by měla být vyhrazena krátká doba a měla by zahrnovat provozní brífink k dokončení povinností, které byly přerušeny a také věnovat pozornost fyziologickým potřebám obou členů posádek [6].

Na rozhodnutí kapitána letounu lze řízený odpočinek v pilotní kabině provést i během vyššího pracovního zatížení v pozdějších fázích letu, aby se snížilo riziko nečekané únavy. Mělo by být jasně stanoveno, kdo a kdy bude odpočívat. Kapitán by měl jasně definovat kritéria a za jakých okolností bude odpočinek přerušen [6].

Velmi důležité je časové naplánování. Proběhnout by měl pouze během doby od TOC do 30 minut před plánovaným TOD, což zajistí dostatek času pro případné provozní brífinky k bezpečnému pokračování v letu. Důvodem je minimalizovat riziko tzv. spánkové inercie, která by se mohla negativně projevit v pozdějších fázích letu. Proto je nutné zvýšit pracovní zatížení ještě před plánovaným sestupem z cestovní hladiny [6].

Již zmíněná spánková inercie je přechodná fáze dezorientace, ospalosti a zhoršené výkonnosti, která může nastat po probuzení. Její délka a intenzita závisí na míře nedostatku spánku a fáze, ze které se člověk probudí. K nejintenzivnější dezorientaci a ospalosti dochází po probuzení ve fázi non-REM, anebo v okně cirkadiánního útlumu [6].

Z tohoto důvodu je doporučená maximální délka řízeného odpočinku 45 minut od zahájení, aby se zabránilo spánku delšímu 30 minut a následné inercie. Po uplynutí této doby, by měla navazovat fáze nejméně 20 minut pro probuzení, což je zároveň nutná doba pro možné využití řízeného odpočinku druhého pilota [10].



Obrázek 5 - Doporučené rozvržení řízeného odpočinku [11] (upraveno)



Dále je potřeba stanovit povinnosti, které převezme druhý pilot a jak proběhne probuzení. Mezi ně patří veškeré povinnosti pilota letícího i pilota monitorujícího. Je doporučeno do plánování zahrnout i třetího člena posádky, který nemusí být nutně pilot, aby monitoroval řízený odpočinek v pilotní kabině. Lze využít plánovaného zavolání pro probuzení, návštěva kokpitu po proběhnutí odpočinku, nebo setrvání v pilotní kabině po celou jeho dobu [6].

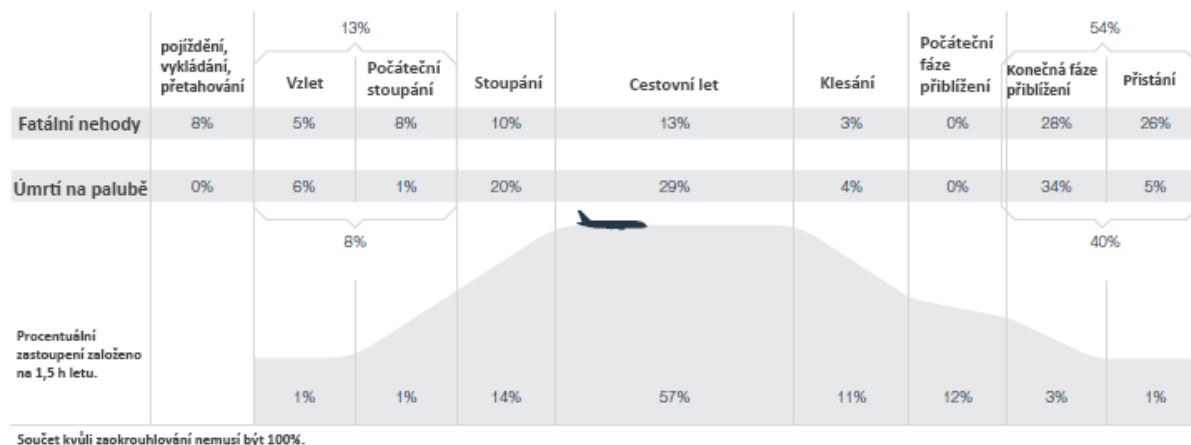
Odpočívající člen posádky by měl umístit sedadlo co možná nejdále od jakýchkoliv řídicích prvků letounu, aby se zabránilo jejich neúmyslnému zasáhnutí. Navíc by měl použít ramenní popruhy. Mělo by být povoleno a je doporučeno použití osobních vybavení pro podporu držení hlavy, masku na oči, špuntů do uší ke zrychlení usnutí a zkvalitnění spánku kvůli rušivým elementům v kabině. Je pozorován výrazný nárůst výkonnosti po takovém odpočinku v porovnání s pouhou přestávkou od povinností. Také proto vykonávání jiných činností během řízeného odpočinku jako čtení, poslech hudby nebo sledování videa není náhradou za spánek a ani by nemělo být povoleno [11].

Druhý pilot by měl setrvat na svém místě a za žádných okolností nesmí opustit prostor kabiny. Postupně by měl pokračovat v dohodnutých úkolech a povinnostech odpočívajícího pilota. Zvážit by měl i použití sluchátek ke komunikaci, aby omezil přirozený hluk. V předem určeném čase má druhý pilot nebo další člen posádky za úkol probudit svého kolegu. Po uplynutí doby 20 minut pro probuzení by měl následovat krátký brífink uplynulých událostí a obecném stavu letounu [11].

V případě jakýkoliv problémů, závad, abnormalit, zvýšení pracovního zatížení nebo nutnému vypnutí autopilota je zodpovědností vzbudit odpočívajícího pilota [6].

1.6. Statistiky a nehody

Statistiky nehod od roku 1959-2020 napovídají, že více než polovina fatálních nehod se udála ve fázi konečného přiblížení (Final Approach) anebo při přistání (Landing), které z časového hlediska zaujímají pouhé 4 %. Proto se také všechny různé implementace bezpečnostních doporučení v posledních dobách týkaly těchto fází [12].



Obrázek 6 - Procentuální zastoupení nehod v různých fázích letu [12] (upraveno)

Výzkumem bylo zjištěno, že pravděpodobnost nehody v komerční letecké dopravě se výrazně zvyšuje s délkou služby. Pětina všech nehod v komerční letecké dopravě v USA se stala po 10. hodině služby [3].

V rozmezí 2017–2021 měla únava dle IATA na leteckých nehodách asi 4procentní podíl. Pokud se podíváme na fatální letecké nehody, tak procentuální zastoupení únavy už je 11 procent, což není zanedbatelné číslo [13].

U starších studií se odhady liší, nicméně oficiální statistiky uvádějí, že na 4-8 % leteckých nehod má podíl únava. Studie NTSB, která byla zaměřena na závažné nehody vnitrostátních leteckých dopravců v letech 1978 až 1990 dospěla k závěru, že posádky složené z kapitánu a prvních důstojníků, jejichž doba od probuzení byla vyšší než medián, se dopouštěly o mnoho více chyb [3].

V roce 2004 se let 5966 společnosti Corporate Airlines zřítil během přiblížení k regionálnímu letišti Kirksville, jehož posádka absolvovala tou dobou už šestý let a byla ve službě přes 14 hodin. Snížená výkonnost kvůli únavě způsobila opomenutí předepsaných postupů, nereagovali na varovné systémy letounu, jenž se nacházel v blízkosti země. Toto zapříčinilo náraz do stromů poté, co ztratili situační povědomí o tom, kde se nacházejí vzhledem k cílovému letišti [14].



V únoru roku 2008 posádka letu 50 minutového letu 1002 společnosti Go! minula svou destinaci o více než 30 mil, a to z toho důvodu, že oba piloti usnuli. V říjnu roku 2009 došlo k podobné situaci, kdy piloti letu 188 společnosti Northwest Airlines nereagovali na komunikaci s řídicím letového provozu po dobu 90 minut a přeletěli destinaci o 150 mil, opět z důvodu neúmyslného usnutí v kabině [14].

1.7. Systém ILS

Experiment konstruovaný pro studium vlivu řízeného odpočinku bude zakončen přesnými přiblíženími ILS, což vyžaduje základní popis tohoto systému, který pomůže při sestavování programu za účelem komparace jednotlivých přiblížení.

Systém ILS se v současné době používá jako hlavní druh přesného přístrojového přiblížení za příslušných meteorologických podmínek pro fázi konečného přiblížení. Můžeme se s ní setkat na většině frekventovaných civilních i vojenských letišť [15].

Skládá se z pozemní (vysílací) části a palubní (přijímací) části. Pozemní část se skládá ze dvou vzájemně kolmých paprsků o definované nosné a modulační frekvenci, vysílaných pozemními anténami na přesně určených místech [16].

Tato anténní sestava je v současnosti ve většině případů doplněna o zařízení DME pro měření šikmé vzdálenosti, které pilotovi udává průběžnou diagonální vzdálenost k bodu přistání na dráze. Pokud není k dispozici, je potřeba využití pozemních „markerů“. Jedná se o Outer Marker, Middle Marker a Inner Marker v definovaných vzdálenostech [16].

Palubní část se skládá z přijímače schopného naladit požadovanou frekvenci a zařízení ukazující úhlovou odchylku letounu od požadované trajektorie v horizontální i vertikální rovině [15].

Pro úhel sestupové dráhy ILS jsou stanoveny úhly, které je potřeba dodržovat. Minimální 2,5°, optimálně 3° a maximální 3,5°. Pro přiblížení CAT II/III jsou to pouze 3° [16].

Indikace přístrojů

Pro navigaci na přiblížení ILS je běžně užíváno CDI (Course deviation indicator), které slouží k zobrazení úhlové odchylky od ideální horizontální či vertikální trajektorie [16]. Novější zástavby včetně Garmin 1000 využívá vyobrazení těchto odchylek na hlavním displeji, který kombinuje a slučuje podstatnou část přístrojů a systémů, což pilotovi podstatně usnadňuje orientaci a poskytuje zvýšené situační povědomí. Avionika využívaná v prostředí leteckého simulátoru na Fakultě dopravní využívá HSI (Horizontal situation indicator) pro zobrazení horizontální situace od kurzového majáku LOC s vyobrazením 2 teček na každou stranu, jehož plná výchylka představuje $2,5^\circ$ od požadovaného kurzu. Vertikální sestupová rovina je nám indikována vedle výškoměru, která pracuje taktéž s dvěma tečkami na každou stranu a plná výchylka představuje $0,7^\circ$ [17]. Zároveň je ale nutné dodat, že zmíněné plné odchylky od trajektorie platí pouze pro systém ILS a nelze je využívat pro ostatní druhy navigace [16].



Obrázek 7 - Avionika G1000 využita při experimentu



1.8. Konečné přiblížení

Existují dva způsoby provedení přiblížení podle přístrojů, a to 2D a 3D. Pro zaměření této práce je potřeba pracovat s 3D přiblížením, do něhož spadá i ILS poskytuje vertikální a horizontální vedení ve formě odchylek od ideálního sestupu [17]. Tato část přiblížení je definována bodem konečného přiblížení, v našem případě FAP. Bavíme se o bodu v prostoru na trati, kde nadmořská výška/výška středního přiblížení protíná sestupovou dráhu ILS, nejčastěji tedy 3° . Délka tohoto úseku závisí na nadmořské výšce/výšce středního přiblížení a onoho sestupového profilu. Běžně se nachází ve výškách od 1000 ft do 3000 ft nad výškou dráhy nad moře. Pokud během sestupu ztratí vertikální vedení, může se z přesného přiblížení stát přiblížení nepřesné [17]. Pilot pokračuje do svých stanovených minim, kde v případě vizuální reference pokračuje v přistání a v opačném případě zahajuje postup nezdařeného přiblížení [17].

1.9. Analýza současného stavu

Zpracování rešerše k této práci provázal problém s téměř nulovým počtem studií zabývajících se řízeným odpočinkem na krátkých a středně dlouhých tratích, které měly souvislost s průběhem letu. Všechny dostupné experimenty se zaměřovali na subjektivní metodu hodnocení odpočinku, kde subjekty zaznamenávali v podobě dotazníků míru únavy v různých fázích letu. Další studie s experimentální částí měřili a sledovali záznamy EEG, EOG a EMG.

Pro měření, na základě statistik nehod podle fázi letu, byla vybrána konečná fáze, která je nejkritičtější a neobtížnější z pohledu řízení letounu, zahrnuje mnoho úkonů a je zde kladen důraz na přesnost letu, která může být rozhodující.

1.10. Analýza metod pro vyhodnocení přesnosti a správnosti řízení letounu

V experimentální studii, jež probíhala v Německu, bylo cílem posoudit letové dovednosti při manuálním řízení letounu při přiblížení ILS pouhými výstupy odchylek na přístroje bez využití automatizace, která by ulehčovala pilotům práci. Experimentu se zúčastnilo celkem 57



subjektů s různou mírou letových hodin a zkušeností na letounech rodiny Airbus. První důstojníci s průměrným náletem 3373 hodin, jejichž typickou náplní práce byly krátké lety s četnými přiblíženími a přistáními. Dále kapitáni, kteří měli nalétáno průměrně 15019 hodin, jež byli zvyklí na velkou dávku automatizace při dlouhých letech a nízkým počtem přistání. Úkolem bylo zaletět 45 minutové přiblížení a přistání na letiště, přičemž byla zaznamenávána letová data. Studie byla zaměřená na zjištění vlivu praxe a výcviku na manuální řízení letounu. Bylo nutné vzít v potaz uplynulou dobu od počátečního výcviku, každodenní podobu služby a skladbu letů. Piloti, kteří se zúčastnili, se připravovali běžným způsobem, jako na každý jiný let. Role byly rozděleny na pilota letícího PF a pilota monitorujícího PM, aby měl pasivní, nicméně kooperující roli pro svého kolegu. Během jedné noci, jež měly představovat návraty v brzkých ranních hodinách z dlouhých letů nebo letů na krátké vzdálenosti, se naměřily 3 subjekty [18].

Subjekty byly instruovány, aby se držely standardních provozních postupů dané společnosti, tak jako při skutečných letech. Jak bylo zmíněno, piloti využívali tzv. raw data ILS, která jim poskytovala horizontální a vertikální vedení na CDI. Data, která se zaznamenávala, měřila odchylky od ideální sestupové roviny a horizontální roviny. V této studii bylo využito dvou přístupů. První se skládal se zaznamenáváním absolutních hodnot s následným průměrováním a druhý s porovnáváním maximálních odchylek s předpisovými normami. Údaje pro odchylky od obou roviny byly sledovány v podobě teček, jako je známe na letových přístrojích a pilotům umožňuje sledovat skutečnou polohu vůči ideální trajektorii. Data byly vyselektovány od výšky 3000 stop nad zemí do 200 stop nad zemí pro sledování vertikální odchylky a od výšky 3000 stop nad zemí do 50 stop nad zemí pro sledování odchylek od horizontální roviny. Poté byla stanovena střední kvadratická odchylka RMSE, která nám poskytla míru odchýlení, ale nikoliv směr. Dále byly výsledky podrobeny sadě parametrických a neparametrických testů [18].

Další podobná studie, která pochází z Univerzity obrany v Brně, si dala za cíl poukázat na možné využití letových dat k hodnocení přesnosti pilotáže v definovaném úkolu, což zde představovalo přiblížení ILS. Tato fáze letu je ve skutečnosti rovná čára pocházející od definovaného bodu na zemi zvedající se 3 stupni v určitém kurzu do výšky středního přiblížení, což zajišťuje jednoznačnou informaci k porovnání se skutečnou polohou letounu. Cílem bylo vyhodnocení vzorku dat z tohoto druhu přiblížení budoucích vojenských pilotů během jejich fáze výcviku na simulátoru. Základními parametry byly opět odchylky od vertikální a



horizontální roviny doplněny o pohyb sloupku řízení v obou směrech. Přesnost a správnost přiblížení se určovaly těmito odchylky s korelací mezi řídicími a skutečnými odchylkami od profilu ILS. Tyto zásahy do řízení byly porovnávány s importovaným matematickým modelem ze simulátoru, aby zhodnotili úroveň účinnosti výcviku a přesnost pilotáže. Jako v předchozí studii se skutečná poloha letounu zobrazovala na přístroji vůči ideální trajektorii, což představovalo úhlovou odchylku, nikoliv vzdálenost, na kterou pilot reagoval jeho zásahy do řízení, čímž měnil rychlost klesání či heading [15].

Experiment byl prováděn na simulátoru běžící na programu PREPAR3D od společnosti Lockheed Martin, jenž umožňuje vytvoření různých scénářů podle potřeby, který je velmi podobný tomu, jež se užívá na ČVUT. Pro potřeby zaznamenávání byl využit program, který byl jasně zaměřen pouze na odchylky od ideální trajektorie a zobrazení umělého horizontu. Ukládány byly informace o zeměpisné šířce a délce, nadmořské výšce, náklonu, úhlu sestupu, heading a právě odchylky od obou rovin pro přiblížení ILS. Experimentu se zúčastnilo 17 subjektů. Pro uniformní podmínky bylo potřeba zachovat naprosto stejnou počáteční pozici letounu. Meteorologické podmínky se blížili kategorii 1 pro přiblížení ILS, což odpovídalo základně oblačnosti okolo 250 stop nad prahem dráhy. Startovací pozice byla vybrána ještě před FAP, což zaručilo možnost dodržovat stanovenou výšku ještě před začátkem klesání. Vyhodnocení naměřených dat od jednotlivých subjektů proběhlo pouhým součtem absolutních hodnot odchylek od obou rovin, které byly vyjádřeny v procentech maximálního rozsahu úhlové odchylky přístroje, v každém zaznamenaném časovém úseku, vynásobené inverzní hodnotou rychlosti, aby se eliminoval vliv její kolísání během přiblížení [15].

Na půdě Fakulty dopravní ČVUT proběhlo několik experimentů, které se zaměřovali na vliv únavy a řízení letounu. Za zmínku stojí práce, která se věnovala fázi konečnému přiblížení, respektive jeho stabilizovanosti. Experiment probíhal 24 hodin na simulátoru Beechcraft, kterého se zúčastnilo 8 subjektů a každý provedl 16 letů, jež každý z nich byl zakončen přístrojovým přiblížením. Pomocí softwaru MATLAB byl sestaven kužel, který byl umístěn do bodu dotyku a odpovídal ochranným prostorům, jehož podrobnosti jsou popsány v legislativě. Kužel dále pokračoval do výšky 1000 stop nad letiště, kde bylo nutné dodržet právě podmínky pro stabilizované přiblížení [19].

Dále bylo zkoumána trajektorie jednotlivých letů a části, které se vyskytují uvnitř nebo vně kužele, z čehož se dalo posoudit, jaká poměrná část letu byla stabilizovaná a jaký vliv na to měla únava [19].

2. Metody měření

2.1. Experiment

Tato bakalářská práce byla vytvořena v rámci týmového projektu, ve které se nacházeli další tři studenti třetího ročníku oboru Profesionální pilot. Společně byl sestaven experiment, jehož parametry byly optimalizovány tak, aby každý dosáhl tíženého průběhu pro sběr jednotlivých dat. Měření probíhalo na simulátoru Beechcraft Baron 58, který je umístěn na Ústavu letecké dopravy Fakulty dopravní ČVUT. Jehož podobu lze vidět na obrázku 8. Simulátor tohoto letounu disponoval novou zástavbou G1000, jež nebyla pro subjekty nová a měly o ní základní informace a zkušenosti z výcviku. Tato zástavba umožňuje sjednocení standardních letových, navigačních a komunikačních přístrojů, do dvou obrazovek, které pilotovi usnadňují sken přístrojů, který je pro let IFR stěžejní. Pro experimentální účely má letoun imatrikulaci OK-ULD, jež byla využívána během komunikace s řídicími letového provozu, jejichž práci jsme zastupovali s kolegy.



Obrázek 8 - Prostředí simulátoru na ČVUT



Subjekty byly o průběhu měření informovány pár dní dopředu, protože bylo nutné nastavit jejich klasický denní režim. Ten zahrnoval běžnou aktivitu, na kterou byl jednotlivý subjekt zvyklý v průběhu dne. V den experimentu bylo potřeba se vyhnout vysokým stresovým zátěžím a emočním vypětím, které by zapříčinily nadbytečnou únavu. Zároveň byly subjekty obeznámeny, aby se vyhnuly extrémním fyzickým aktivitám, včetně sportů, které by měly vliv na průběh měření. Zakázána byla konzumace jakýchkoliv produktů, které mají za úkol zvýšit výkonnost člověka obsahující kofein. Mezi ně patří energetické nápoje, káva, čaj či čokoláda. Totéž platilo o alkoholických nápojích, jež by měly značný vliv na únavu organismu.

Subjektům, jež v ten den čekali měření, byly zaslány stručné informace o letu, dokumentaci Jeppesen k prvotnímu seznámení s místem odletu a destinací. Dále obdržely informace o letounu a jeho základních rychlostech, které by měly dodržovat.

Při zkoumání vlivu řízeného odpočinku bylo požádáno dosažení co největší podobnosti s reálným provozem. Jednalo se o let podle přístrojů, jež všechny subjekty podstupovali v rámci integrovaného výcviku ATPL (A) ve svých leteckých školách. Z experimentálních důvodů byl let proveden jako jedno-pilotní. Celkově subjekt podstoupil dvě noční měření ve dvou dnech, ve kterých byly vystaveni spánkové deprivaci. Jednotlivá měření měla mezi sebou rozestup mnoha dnů, aby měření nebyla navzájem ovlivněna spánkovou deprivací z prvního měření. Během jedné noci proběhlo měření dvou subjektů. První subjekt absolvoval první let, jehož vzlet se uskutečnil v čase 23:15 a přistání proběhlo přibližně 2:15 ráno. Subjekty, které podstupovali tento první let byly zařazeny do skupiny s označením A. Druhý subjekt měl za úkol druhý let, jehož vzlet proběhl ve 4. hodinu ráno a přistání okolo 7.00. Zde skupina má označení B. Pro představu slouží tabulka 1, která shrnuje obě měření. Nicméně oba subjekty se dostavily na místo měření před 10. hodinou večerní, což zajistilo dostatečný prostor k nastavení všech měřících zařízení, seznámení s průběhem experimentu a zároveň vyloučilo riziko, že dojde k nechtěnému usnutí subjektu, jež měl za úkol druhý let.

Měření 1 Trať č.1 Bez řízeného odpočinku	23:15-02:15	04:00-7:00
	1. let	2. let
	Subjekt 1	Subjekt 2
Měření 2 Trať č.2 S řízeným odpočinkem	23:15-02:15	04:00-7:00
	1. let	2. let
	Subjekt 1	Subjekt 2

Tabulka 1 - Ilustrativní tabulka měření



Pro prvotní měření se jednotlivci dostavili ještě dříve, aby byla možnost si vyzkoušet chování simulátoru v praxi, jeho citlivost, reakce, ergonomii kokpitu v sérii několika vzletů a přistání.

Ve 22:15/04:00 byl zahájen experiment sérií testů, jež byla v režii mých kolegů. Poté následovalo nastavení scénérie počítačového simulátoru Microsoft Flight Simulator X prostřednictvím instruktorské stanice. Provedla se repozice letounu na požadované místo, nastavení počasí, paliva, data a času.

Ve 22:55/03:40 byla poskytnuta zpráva ATIS a následovala komunikace s řídicím letového provozu pro požadavek odletového povolení a spouštění motorů, načež ATC předalo informaci o odletové trati SID, počátečnímu stoupání a kódu odpovídače a povolilo spouštění. Poté započal odletový brífink subjektu, jehož podobu si určil sám ze svých zkušeností z letecké školy. Samotné nastavení avioniky a připravení kokpitu do stavu pojíždění bylo taktéž provedeno taktéž v jeho režii. Pro nastavení letového plánu v avionice G1000 mu sloužil operační letový plán (OFP), jež byl subjektům distribuován před zahájením experimentu.

CTU 169/07 JUN/MUC-CPH							Page 2			
ALTERNATE ROUTE TO:							FINRES 95			
APT	TRK	DST	VIA			FL	WC	TIME	FUEL	
ESMS/35	099	109	BALOX1F	BALOX	DCT	BAKLI	050	P000	0041	109
MEL/CDL ITEMS DESCRIPTION										
ROUTING:										
ROUTE ID: DEF RTE										
EDDM/26L INPUD2S INPUD DCT UPALA DCT LONLI DCT BAMKI DCT BIRKA DCT										
EMBOX DCT SUVAL DCT PABMI DCT ROSOK DCT MONAK MONAK1N EKCH/22L										
DEPARTURE ATC CLEARANCE:										
.										
.										
.										

Obrázek 9 - Příklad části OFP s traťovými body

V čase 23:10/03:55 proběhla komunikace mezi ATC a subjektem, který informoval řídicí informoval, že je připraven k pojíždění. Dostal instrukci k pojíždění skrze několik pojezdových



drah k vyčkávacímu místu vzletové dráhy. Nicméně z důvodu nedostatečné grafické podoby letišť v tomto simulátoru bylo pojíždění vynecháno.

Vzlet se uskutečnil ve 23:15/04:00 po povolení od ATC, aby měly všechny subjekty uniformní podmínky. Po vzletu následoval let po odletové trati a série kontaktování příslušných stanovišť ATC, které subjektu přiřadili další instrukce.

Během letu následovala opět série testů od kolegů v různých časech, mezi kterými byla další komunikace pro účel předání letounu do jiného FIR. Během doby, kdy subjekt nebyl testován ani nekomunikoval měl za úkol monitorovat palivo, jehož kalkulace byla součástí OFP. Při měření č. 2 po 1 hodině a 30 minutách letu přišel na řadu řízený odpočinek, který trval po dobu 30 minut. Subjektu byly poskytnuty špunty do uší, odsunul sedadlo, uvedl jej do sklopené polohy a mohl zahájit řízený odpočinek. Z experimentálních důvodů neproběhl žádný brífink s druhým členem posádky. Po 30 minutách byl subjekt vzbuzen, následovala fáze probuzení a další série testů s komunikací s ATC.

Před posledním traťovým bodem dostal subjekt povolení pokračovat po dané příletové trati STAR a ve vhodném čase klesat. Před přiblížením k IAF dostal subjekt povolení k ILS přiblížení dané RWY. Následovala fáze zachycení LOC a GS na niž navazovalo informace o usazení a následném povolení k přistání ze strany řídicího.

2.2. Zvolené tratě

Výběr tratí proběhl náhodně, byl kladen důraz na to, aby subjekty neměly s danými letišti a podobou jejich konečnými přiblíženími zkušenosti, jež by mohly mít vliv na naměřená data. Letiště jsou si podobné velikostí, počtem drah a uspořádáním trati STAR, aby nároky pro každý let byly co nejvíce podobné. Pro traťový let bylo využito autopilota v módu NAV a na přiletu bylo zvoleno přiblížení ILS, které je i v dnešní době jedním z nejvíce používaných druhem přiblížení [15]. Oba lety probíhali ve letové hladině 90.

Trať č. 1

Pro měření, jež probíhalo bez řízeného odpočinku jsme zvolili odlet z letiště v Mnichově (EDDM) a přistání na letišti v Kodani (EKCH). Vzlet proběhl z dráhy 26L a odlet pokračoval po trati SID INPUD2S dále následovali traťové body INPUD – UPALA – LONLI – BAMKI – BIRKA

– EMBOX – SUVAL – PABMI – ROSOK – MONAK odkud vedla příletová trať MONAK1N, která subjekt dovedla na přiblížení ILS dráhy 22L. Grafická podoba je na obrázku 10.



Obrázek 10 - Mapa trati č.1

K odletovému povolení a přiblížení k destinaci byly použity následující informace ATIS:

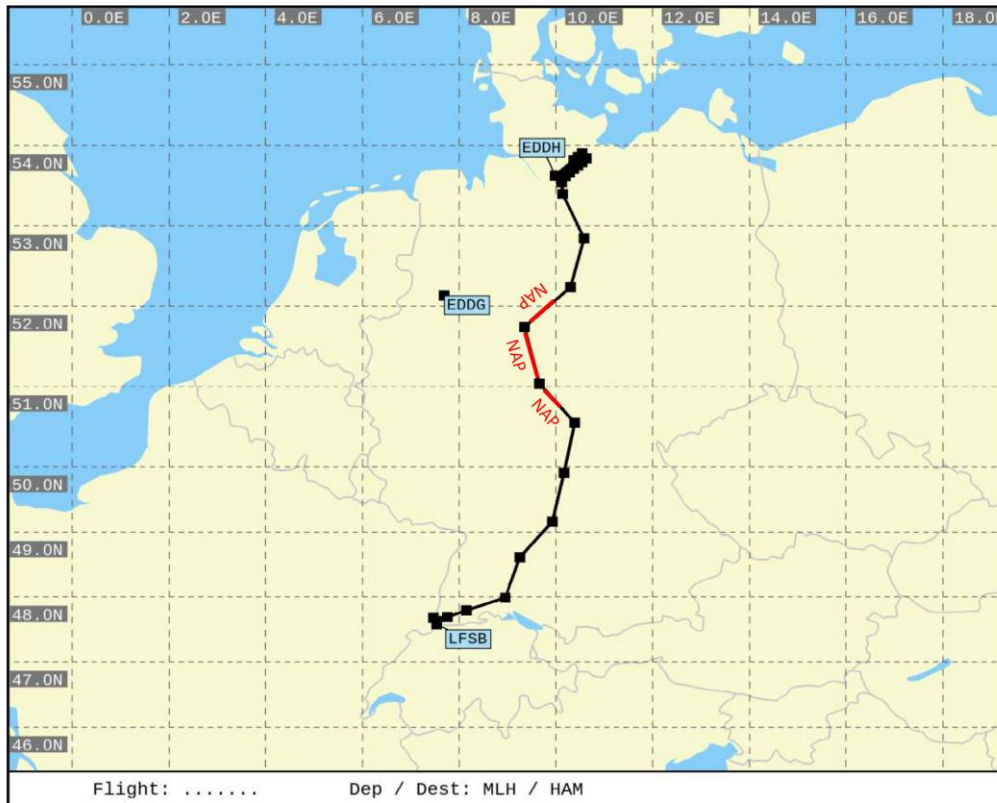
*Munich ATIS information Q, 2030(0130), runway in use 26L, ILS Approach, Transition level 70.
Metar issued at 2030.(0130) Wind 130 degrees 7 knots, visibility 10 kilometers or more, overcast one thousand feet, temperature 15, dewpoint 10, QNH 1015 NOSIG. For start up and taxi contact Munich tower at 120.505. You have received information Q.*

*Copenhagen ATIS information V, 2300(0400), Runway in use 22L, ILS approach, transition level 70.
Metar issued at 2300 (0400), Wind 130 degrees 7 knots, visibility 10 kilometers or more, overcast one thousand feet, temperature 15, dewpoint 10, QNH 1015 NOSIG. Advise on initial contact, you have received information V.*

Trat' č. 2

Druhé měření, jež se skládalo z jiné trati a řízeného odpočinku začínalo na letišti v Basileji (LFSB) a končilo na letišti v Hamburku (EDDH). Mapová vizualizace je vidět na obrázku 11.

Vzlet se uskutečnil z dráhy 33 a pokračoval odletovou trati SID ELBEG7N na něž navazovali traťové body ELBOG – NEDOV – TEDGO – GEBNO – EDUDU – ADIBA – BEBLA – UMKUK – ELKER – ULSEN – NOLGO odkud subjekt pokračoval po příletové trati NOLGO1P a přistál na dráze 23.



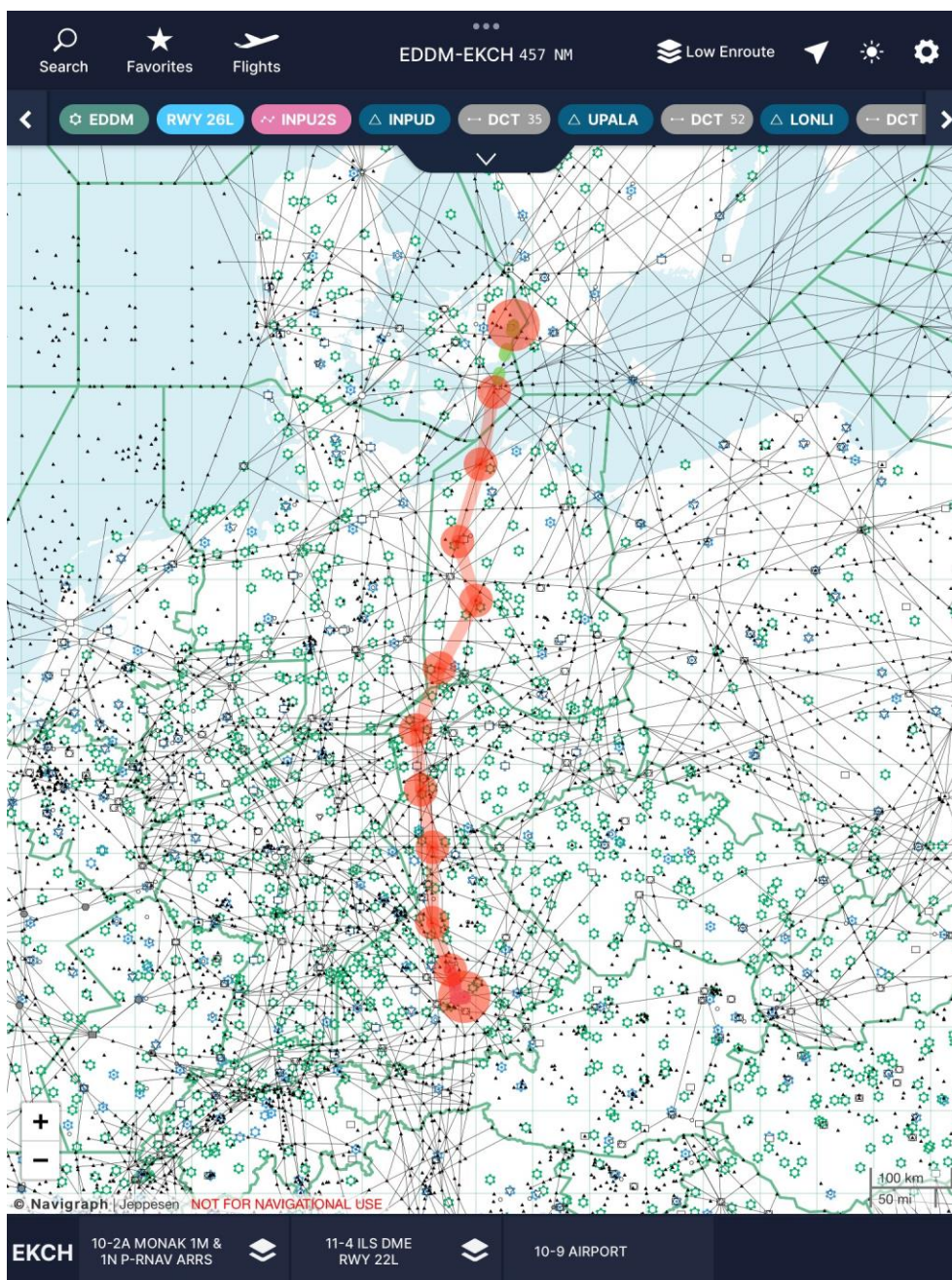
Obrázek 11 - Mapa trati č.2

K odletovému povolení a přiblížení k destinaci byly použity následující informace ATIS:

*Basel ATIS information Q, 2030(0130), runway in use 33, ILS Approach, Transition level 70.
Metar issued at 2030.(0130) Wind 320 degrees 7 knots, visibility 10 kilometers or more, overcast one thousand feet, temperature 15, dewpoint 10, QNH 1015 NOSIG. For start up and taxi contact Basel tower at 118.3. You have received information Q.*

*Hamburg ATIS information V, 2300 (0400), Runway in use 23, ILS approach, transition level 70.
Metar issued at 2300 (0400), Wind 320 degrees 7 knots, visibility 10 kilometers or more, overcast one thousand feet, temperature 15, dewpoint 10, QNH 1015 NOSIG. Advise on initial contact, you have received information V.*

V rámci kokpitu simulátoru je k dispozici i tablet iPad s programem Navigraph Charts. V této aplikaci jsou aktualizovány veškeré dokumentace od společnosti Jeppesen, která umožnila subjektům nahlížet do map letišť, STAR, SID, IAC a do dodatečných informací potřebným k uskutečnění letu.



Obrázek 12 - uživatelské rozhraní aplikace Navigraph

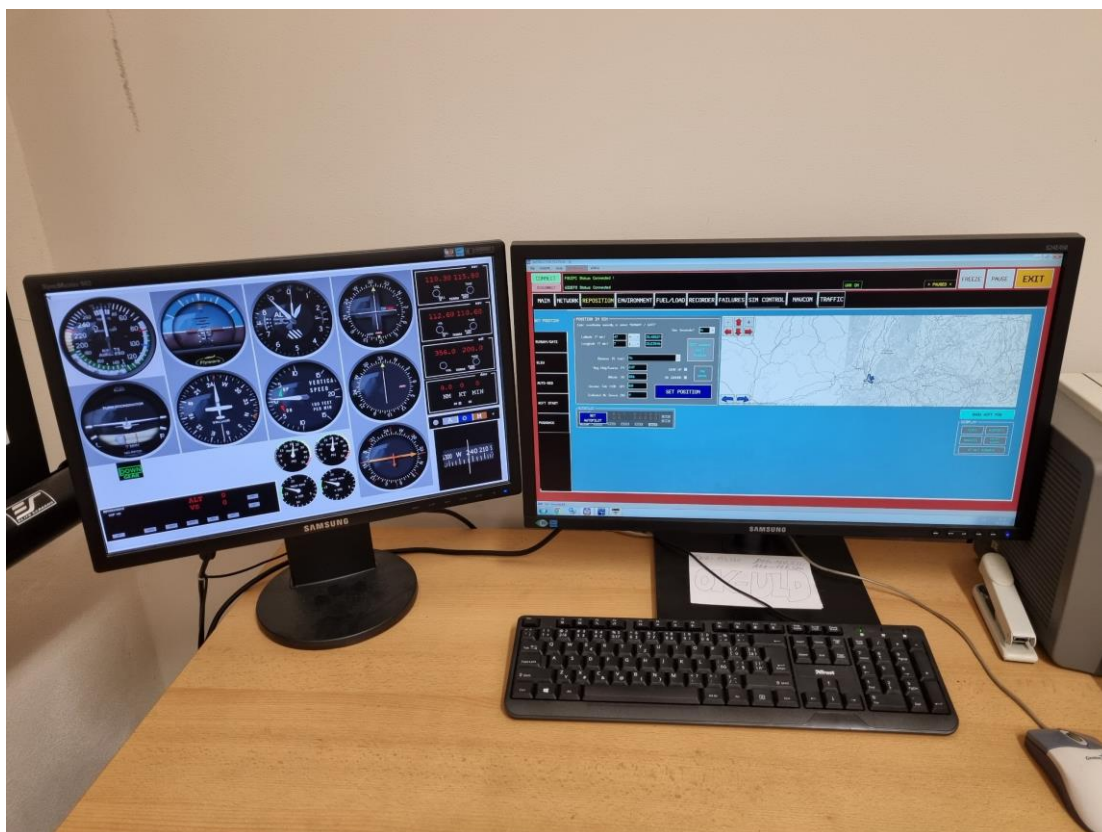


2.3. Subjekty

Nočního experimentu se zúčastnilo celkem 10 subjektů, z toho jedna žena, jejichž celkový nálet byl přes 100 hodin a všichni se nacházeli v podobné části integrovaného výcviku ATPL (A), a to ve fázi přístrojového létání IR ve dvou leteckých školách ATO. Subjekty byly studenty ČVUT v oboru Profesionální pilot a nacházeli se v závěrečném ve třetím ročníku, jejichž průměrný věk byl $22,1 \pm 0,5$ let. Celkový nálet těchto subjektů činil $171,3 \pm 19,1$ hodiny, z čehož zaujímalo $58,3 \pm 16,5$ hodiny přístrojového létání. Právě z tohoto důvodu se dá říct, že subjekty disponovali podobnými znalostmi jak z teoretického, tak praktického hlediska, což potvrzuje i průkaz způsobilosti PPL, jímž všichni disponovali.

2.4. Zaznamenávání dat

Pro sběr letových dat bylo využito programu iStation v rámci instruktorské stanice propojené se simulátorem Microsoft Flight Simulator X, který je vidět na obrázku 14. Jeho prostředí nabízí okamžitou změnu času, data, polohy, výšky, meteorologické situace, změny naplněného paliva či simulaci závad. V zaznamenávání dat je zde i okamžitý přístup k parametrům letu. Prostředí taktéž nabízí vizualizaci přiblížení v reálném čase. Mezi jeho další funkcionalitu patří možnost zaznamenávat čas, indikovanou rychlost, pravou vzdušnou rychlost, traťovou rychlost, vertikální rychlost, nadmořskou výšku, výšku nad zemí, úhel náklonu, podélný sklon, heading, zeměpisnou šířku a délku.



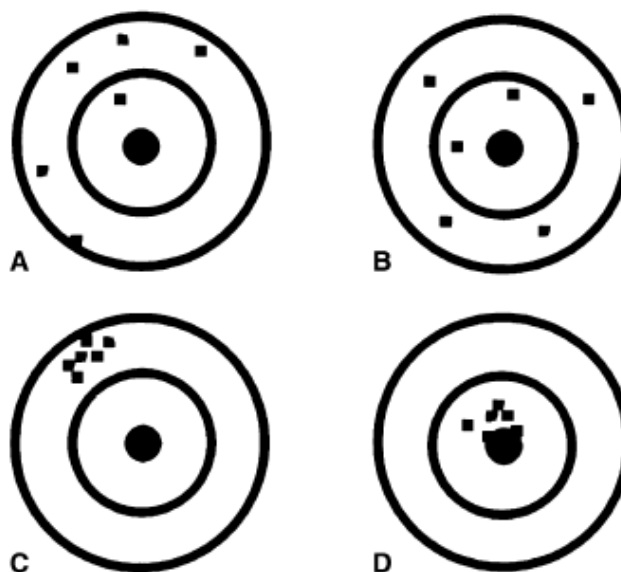
Obrázek 13 - Prostředí instruktorské stanice

V rámci experimentu byly pro každý subjekt získány 2 sady dat během dvou měření, které bude nutno zpracovat do přijatelnější a přehlednější podoby. Pro potřeby zjištění ideální trajektorie letu sloužila identifikace souřadnic na vzletové a přistávací dráze, na jejíž umístění bylo kalibrováno zařízení ILS.

2.5. Přesnost a správnost

Při stanovování vlivu řízeného odpočinku je nutno definovat pojmy, kterými bude popisováno a hodnocení řízení letounu. V mnoha publikacích jsou tato slova zaměňována, tak je potřeba pro potřeby vyhodnocení měření tyto pojmy objasnit. Často se tyto dvě významem podobná slova ilustrují podle prostřelených terčů v různých místech. To, jak jsou průstřely blízko sebe znázorňuje přesnost a to, jak jsou daleko od středu terče naopak správnost. Na níže uvedeném obrázku lze vidět 4 různé situace. Část A nám ilustruje střelbu, jež není přesná ani

správná. U těchto průstřelů je velký rozptyl a nacházejí se daleko od středu. Část B nám znázorňuje stále celkem velký rozptyl, ale průstřely jsou rozloženy relativně symetricky kolem středu, jež značí správnost, ale malou přesnost. Diagram C ukazuje velkou přesnost, nicméně nízkou správnost, což značí velká vzdálenost od středu. Na posledním obrázku byla střelba jak přesná, tak i správná [20].



Obrázek 14 - Znázornění přesnosti a správnosti [20]

Správnost neboli accuracy, lze popsat průměrem naměřených hodnot a jak moc se blíží správné hodnotě. Čím blíže bude absolutní – skutečné hodnotě, tím se dá říct, že je správná. Pojem přesnost se dá definovat jako funkce směrodatné odchylky naměřených dat. Opět, čím menší je směrodatná odchylka, tím je měření přesnější [21]. Analogii najdeme i v leteckém prostředí, kterou můžeme uplatnit i v našem měření, jež se zaměřuje na řízení letounu a jeho výsledné parametry k ideální trajektorii letu.



2.6. Metoda vyhodnocení

První fáze obnášela hrubé uspořádání dat dle jednotlivých subjektů a čísla měření, což bylo zásadní pro další práci s těmito daty. Následující tabulka 3 slouží pro představu výstupu dat, které již byly podrobeny menšímu uspořádání pro lepší orientaci. Jednotlivé řádky, jež představují sadu mnoha letových parametrů byla zaznamenávána s frekvencí 2,5 Hz. Čas v levém sloupci značí okamžik od spuštění nahrávání dat. Pro zhodnocení průběhu letu jsou stěžejní hodnoty nadmořské výšky, zeměpisné šířky a délky, které nám budou sloužit k porovnání s ideální trajektorií letu, kterou subjekt měl vyobrazenou na avionice G1000.

Time	IAS	TAS	GS	VS	ALT	Pitch	Bank	Latitude	Longitude
11096	98	100	100	-491	1503	1.2	-2.2	53.6821462825638	10.0932495633887
11096.4	98	100	100	-492	1499	1.3	-2.2	53.6820297125896	10.0929965102511
11096.8	98	100	100	-498	1496	1.4	-1.9	53.6819214286203	10.0927610646191
11097.2	98	100	100	-508	1493	1.5	-1.2	53.6818051219411	10.0925079627342
11097.6	98	100	99	-520	1490	1.6	-0.7	53.6816931791458	10.0922644922579
11098	98	100	99	-533	1486	1.7	-0.5	53.6815804086628	10.0920196622769
11098.4	98	100	99	-547	1480	1.8	-0.7	53.681468284944	10.0917767757869
11098.8	98	100	99	-564	1476	1.9	-1.0	53.6813489773764	10.091518844182

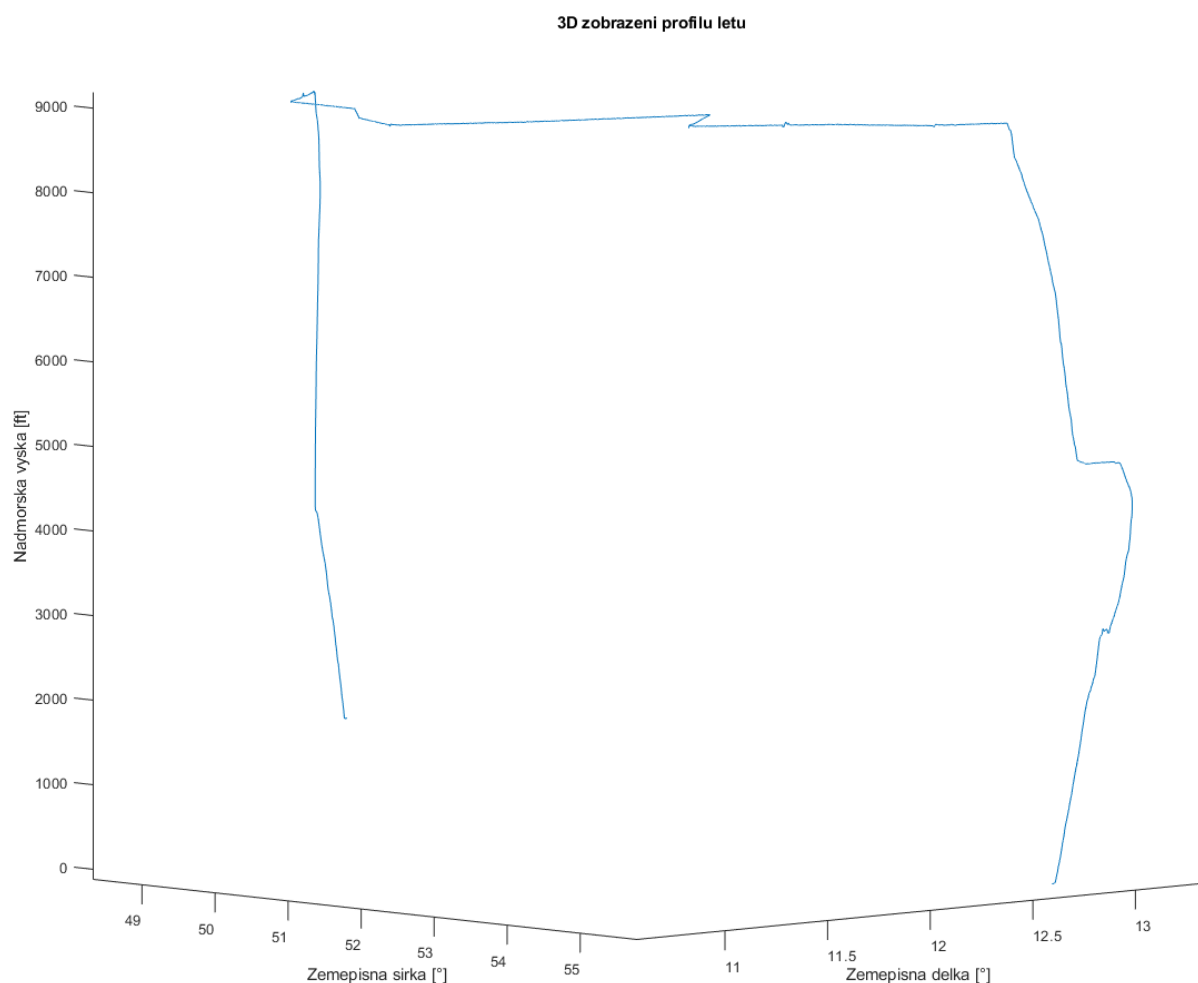
Tabulka 2 - Příklad letových dat získaných z programu iStation

Time – čas, IAS – Indikovaná rychlost, TAS – Prává vzdušná rychlost, GS – traťová rychlost, VS – vertikální rychlost, ALT – nadmořská výška, Height – výška nad zemí, Pitch – podélný sklon, Bank – úhel náklonu, HDGT – relativní směr k zeměpisnému severu, Latitude – zeměpisná šířka, Longitude – zeměpisná délka

Na základě poznatků z rešeršní práce při zkoumání metod vyhodnocování manuálního řízení letounu byl vytvořen program v prostředí MATLAB.

Na uvedeném obrázku 15 lze pozorovat konstrukci celého letu v 3D prostoru. Pro další analýzu bylo potřeba vybrat jen určitou fázi letu, která bude dále podrobena analýze. Předmětem zkoumání nebylo ani manuální řízení letounu, které pokračovalo až do dosažení cestovní hladiny, ani let po zadané trase, ve které bylo využito autopilota z důvodu vykonávání různých testů mých kolegů. V případě této práce se jedná o fázi konečného přiblížení, jež je v dostatečném časovém rozestupu od probuzení se z řízeného odpočinku, aby měření nebylo ovlivněno již zmíněnou spánkovou inercií. Zároveň bylo využito toho, že přiblížení ILS

poskytuje přesně definovanou trajektorii a poskytuje subjektu vedení jak v horizontální, tak vertikální rovině, jejíž odchylky lze pohodlně zkoumat.



Obrázek 15 - Vizualizace průběhu celého letu v prostoru

K sestrojení 3 - stupňové sestupové roviny bylo zapotřebí znát dotykovou zónu, na niž je zařízení GS kalibrováno a její nadmořskou výšku. Dále bylo nutno určit kurz vysílaného paprsku v horizontální rovině, aby odpovídal tomu, co je subjektu indikováno na palubních přístrojích. Tento paprsek byl sestrojen tak, aby protínal výšku středního přiblížení, která se u obou přístrojových přiblížení rovnala 3000 stopám, což nám vytvořilo úsečku vycházející z dotykové zóny. Dalším krokem bylo nalézt souřadnice bodu, jež je promítnut na zem, které poskytnou prostor pro další výpočty.



Pro analýzu manuálního řízení letounu byla využita znalost z rešerše a zkoumána pouze určitou část přiblížení. Zvolen byl úsek nadmořské výšky od 3000 stop, kde začínalo klesání, do 200 stop nad letiště, čemuž zhruba odpovídají minima pro ILS kategorie 1 a kde subjekt pokračoval v letu pomocí vizuálních referencí. Posuzování trajektorie níže k dotykové zóně by mohlo mít za následek znehodnocení výsledků z důvodu přechodu do fáze podrovnání a přistání.

Dalším nutným kritériem bylo nalezení bodu trajektorie letu v prostoru při manuálním řízením, který byl nejbližše definovanému bodu ve 3000 stopách, kde následně započne analýza sestupu. Tato sekvence se odehrála u každého letu, abychom zajistili uniformitu analýzy.

Program propočítal úhlovou odchylku od obou rovin, jež měl pilot dodržet, v každém bodě letu, což zajistilo 2 datové sety chyb od požadované hodnoty v každém letu. Tyto hodnoty jsou v případě GS 3 stupně a v případě LOC nastavené kurzy pro přiblížení ILS. Pro účely následného statistického porovnání jsou data z každého přiblížení reprezentována průměrem a směrodatnou odchylkou v rámci obou rovin, které subjekt měl dodržovat. Pro přesnost byla použita průměrná chyba a pro správnost směrodatná odchylka výběru.

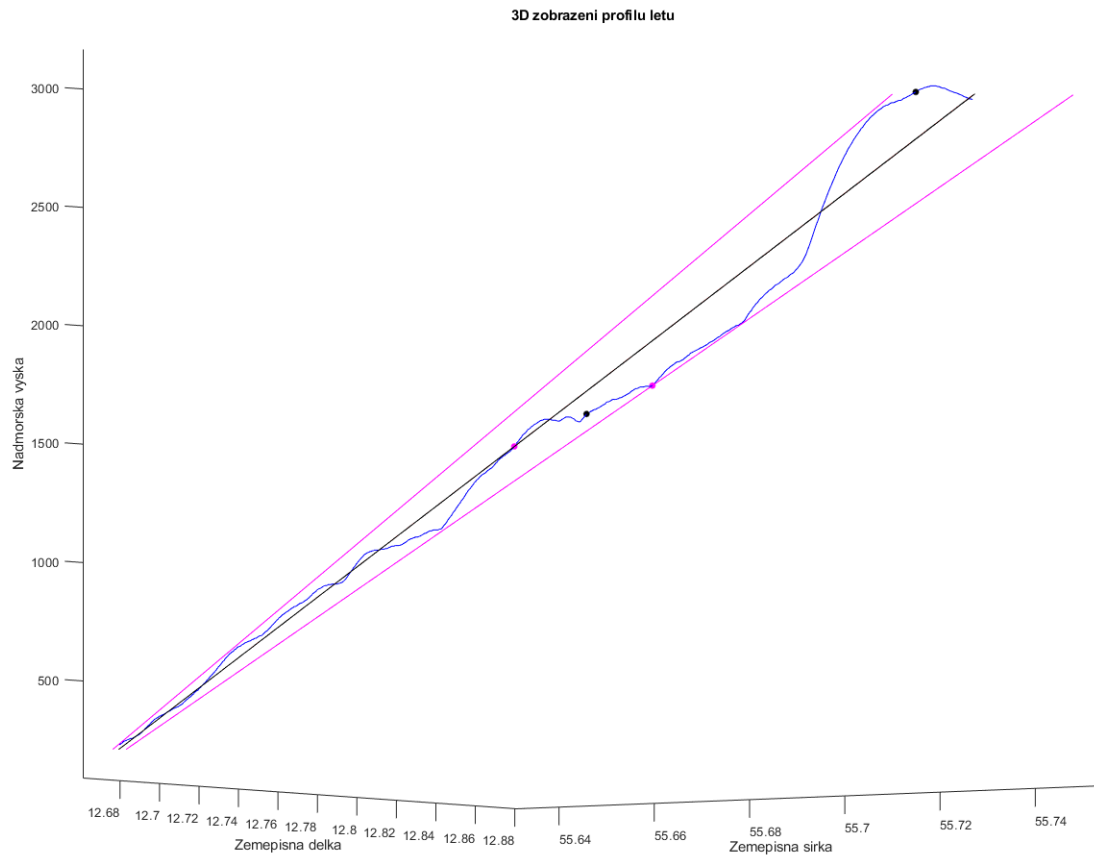
2.7. Teorie statistické analýzy

Následně bylo potřeba získané hodnoty podrobit statistickému testu. Potřeba bude také porovnat dvě skupiny, které byly definovány časem vzletu. Druhá skupina přistávala kolem 7. hodiny ranní, což je jen chvíli po WOCL [10]. Proto je příhodné zhodnotit nejen vliv řízeného odpočinku, ale také dobu, ve které subjekt vykonával činnost za účelem řízení letounu.

Jako nejvhodnější test pro analýzu se jeví Repeated Measures ANOVA (rANOVA), který je používán pro vícenásobné měření jednoho subjektu a umožňuje užití faktorů, v tomto případě rozdílného času a použití řízeného odpočinku. Toto zajistí vzájemné testy všech možných kombinací. Zároveň je nutno uvažovat sféricitu, což je požadavek na shodnost rozptylů všech možných rozdílů měření v rámci jednotlivých subjektů. Proto je nutné používat p-hodnotu s Greenhouse-Geisserovou korekcí. V případě následné post-hoc analýzy je opět nutné vzít v potaz sféricitu, proto je nutné použít Bonferriho korekci [22].

3. Prezentace výsledků

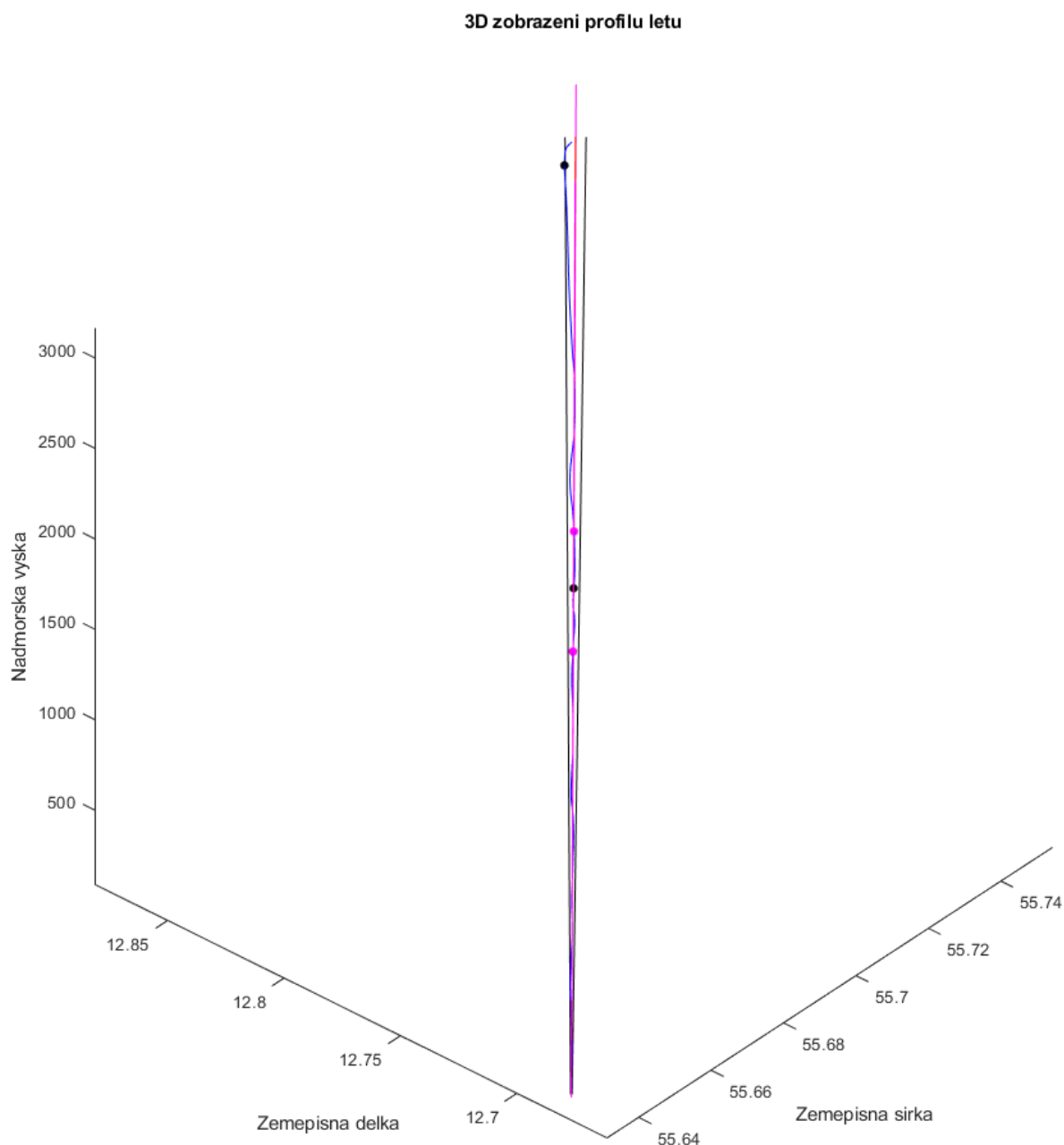
Na obrázku 16 je znázorněna ideální vertikální rovina v 3D prostoru.



Obrázek 16 - Vizualizace letu v prostoru ve vertikální rovině

Vizualizace je natočena tak, aby ukazovala vertikální sestup, jehož ideální, tudíž správná trajektorie, je na obrázku znázorněna černou přímkou. Dále lze pozorovat modrou trajektorii, která popisuje dráhu letu daného subjektu. Navržený program také ukazuje na největší a nejmenší chybu ve vertikálním profilu, což je znázorněno fialovými tečkami. Maximální odchylka taky určuje rozevření promítnuté roviny fialovými přímkami, pocházející z dotykové zóny. V horní části grafu lze vidět nejbližší místo trajektorie letu a bodu protínající nadmořskou výšku 3000 stop. Při bližším prohlédnutí si lze povšimnout korekcí, které subjekt dělal během sestupu za účelem dodržení GS, který má v obou případech 3 stupně.

Obrázek 17 popisuje naopak průběh letu v horizontální rovině. Opět modrou barvou je vyobrazena trajektorie daného subjektu, který se pokoušel vést letoun po ideální horizontální rovině. Černými tečkami lze vidět maximální a minimální chyby, které udávají úhel otevření horizontální roviny.



Obrázek 17 - Vizualizace letu v prostoru v horizontální rovině



Analýza byla rozdělena do 4 podkategorií, a to na přesnost a správnost v rámci horizontální roviny a taktéž ve vertikální rovině. Stanovená nulová hypotéza tvrdí, že střední hodnota všech měření je stejná. Alternativní hypotéza naopak tvrdí, že střední hodnota všech měření se liší. Při stanovování p-hodnoty se pracuje s 95procentní hladinou pravděpodobnosti.

Při testování přesnosti v horizontální rovině vyšla p-hodnota 0,011179, což je dostatečně nízká hodnota na to, aby mohla být nulová hypotéza zamítnuta. Nicméně tento výsledek dále nestanoví, ve které skupině či měření se tento statisticky signifikantní rozdíl projevil.

Proto je nutno provést post-hoc analýzu, která toto odhalí. Při rovnání skupin A a B, kvůli efektu WOCL, post-hoc analýza neodhalila signifikantní rozdíl a nulová hypotéza potvrzena. V případě prvního měření bez řízeného odpočinku mezi dvěma skupinami byla p-hodnota 0,8806 a v případě druhého s řízeným odpočinkem 0,22841. Při pohledu na porovnání letů bez a s řízeným odpočinkem s ohledem na skupiny se zjistil signifikantní rozdíl u skupiny B, kde p-hodnota byla 0,017271. U skupiny B se toto s p-hodnotou 0,10618 nepotvrdilo. Kompletní výsledky post-hoc analýzy přesnosti lze vidět v tabulce 3.

Číslo měření	HORIZONTÁLNÍ CHYBA – PŘESNOST				Horní hranice 0,95CI
	Skupina	Skupina	p-hodnota	Spodní hranice 0,95CI	
Měření 1	A	B	0,8806	-0,06776	0,077531
Měření 2	A	B	0,22841	-0,029575	0,10659
Skupina	Měření 1	Měření 2	p-hodnota	Spodní hranice 0,95CI	Horní hranice 0,95CI
A	Bez CR	S CR	0,10618	-0,01635	0,13895
B	Bez CR	S CR	0,022532	0,017271	0,17257

Tabulka 3 - Výsledky post-hoc analýzy u přesnosti v horizontální rovině

Dále se hodnotila správnost v horizontální rovině reprezentována směrodatnou odchylkou od požadované hodnoty. Stanovená nulová a alternativní hypotéza je totožná s předchozí.

Opětovné použití statistického testu rANOVA vyhodnotilo velmi nízkou p-hodnotu 0,00198, která opět ukazuje na statisticky signifikantní rozdíl. Opět je nutné provést post-hoc analýzu k nalezení rozdílu. Bližší pohled na skupiny A a B opět neodhalila žádný rozdíl, jelikož při prvním měření p-hodnota vykazovala hodnotu 0,4125 a v případě druhého měření 0,46134. Další krok je pohled na rozdíl letů s použitím řízeného odpočinku a bez něj. Statisticky



signifikantní rozdíl se projevil u skupiny B, kde p-hodnota vyšla 0,00339. Lze tedy tvrdit, že střední hodnota se u těchto měření lišila. V tabulce 4 jsou kompletní výsledky post-hoc analýzy správnosti.

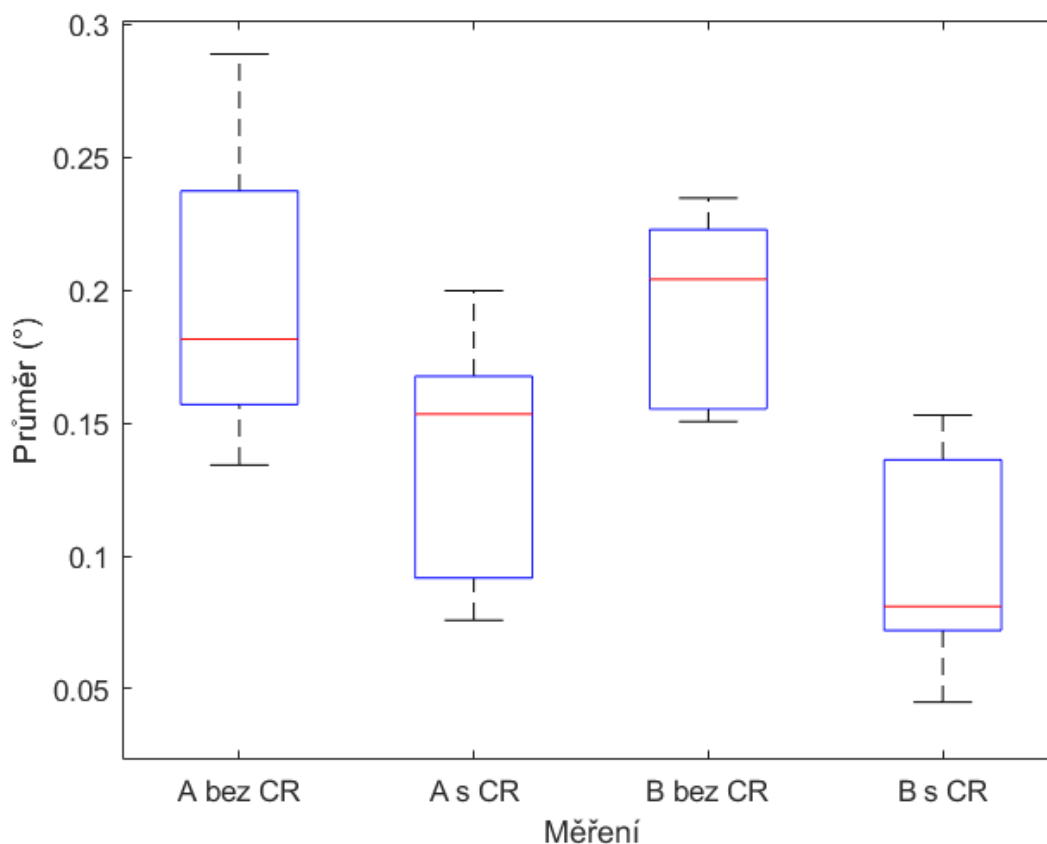
Číslo měření	HORIZONTÁLNÍ CHYBA - SPRÁVNOST				
	Skupina	Skupina	p-hodnota	Spodní hranice 0,95CI	Horní hranice 0,95CI
Měření 1	A	B	0,4125	-0,096384	0,043824
Měření 2	A	B	0,46134	-0,034443	0,069227
Skupina	Měření 1	Měření 2	p-hodnota	Spodní hranice 0,95CI	Horní hranice 0,95CI
A	Bez CR	S CR	0,053002	-0,00088632	0,10853
B	Bez CR	S CR	0,0033934	0,042786	0,15221

Tabulka 4 - Výsledky post-hoc analýzy u správnosti v horizontální rovině

Jako další byla vyhodnocena data u vertikální roviny. Průměry chyb od požadovaných hodnot reprezentují opět přesnost a směrodatné odchylky správnost. Jako nulová hypotéza slouží tvrzení, že střední hodnoty všech měření jsou stejné. Testování přesnosti odhalilo p-hodnotu 0,5545, což je vysoká hodnota a zaručila potvrzení nulové hypotézy. Můžeme tedy tvrdit, že střední hodnoty se nelišily.

U testování správnosti došlo k podobným závěrům. Statistický test potvrdil p-hodnotu 0,97349, která potvrdila nulovou hypotézu o rovnosti středních hodnot.

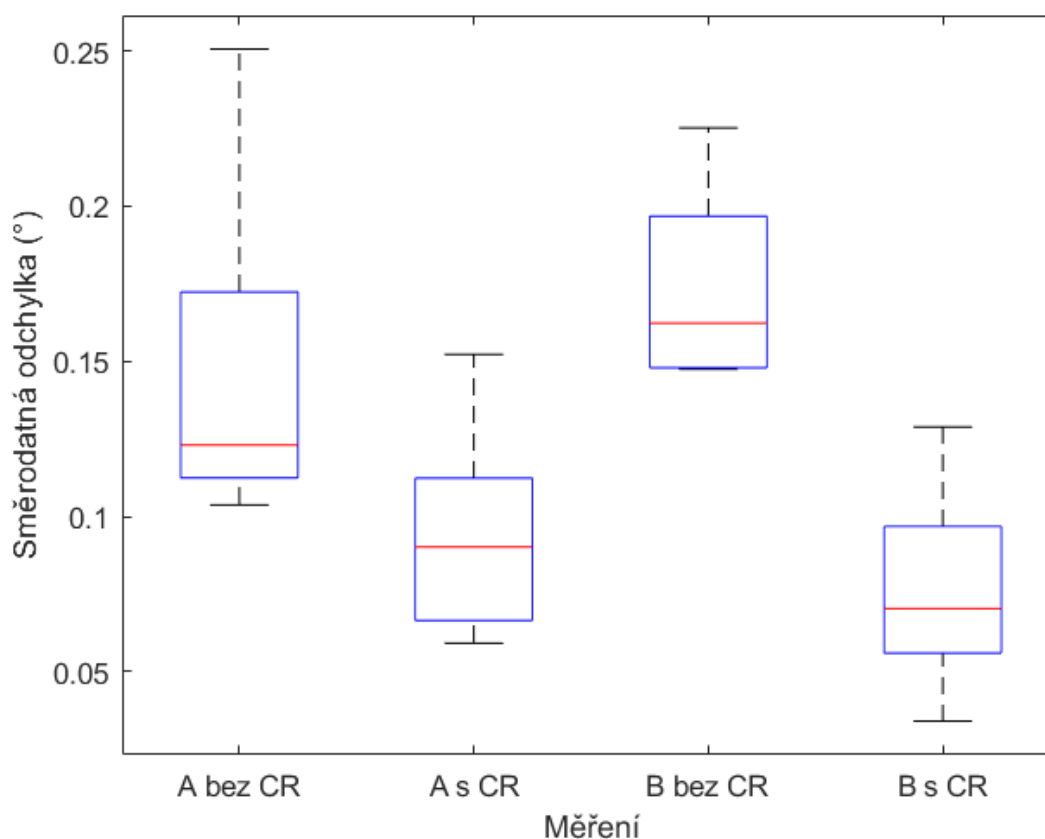
Grafické znázornění v podobě krabicových diagramů doplňuje statistickou analýzu. Jednotlivý boxplot od spodu znázorňuje minimum, první kvartil, medián, třetí kvartil a maximum. Na obrázku 18 lze vidět distribuci průměrů u horizontální roviny. Osa X zobrazuje měření, respektive skupinu, zda toto měření je s řízeným odpočinkem (s CR), nebo bez řízeného odpočinku (bez CR). Na ose Y lze pozorovat hodnotu průměru ve stupních. Při bližším pohledu na skupinu A je k vidění přibližně podobný rozptyl. Důležitým parametrem v krabicových diagramech je medián, který se významně liší u skupiny B, což odpovídá statistické analýze těchto měření. Pozorovat lze též trend snižování mediánu u letů s řízeným odpočinkem.



Obrázek 18 - Distribuce průměrů v horizontální rovině – přesnost

Skupina A, Skupina B, CR – Řízený odpočinek

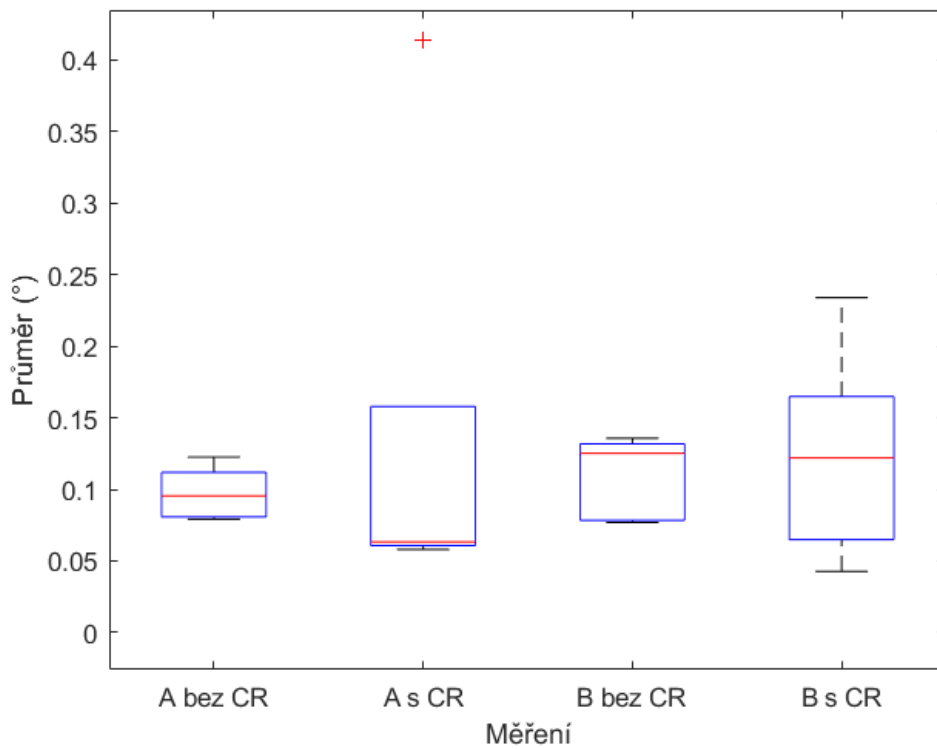
Podobné výsledky lze spatřit i na obrázku 19, který nabízí v podstatě shodný scénář. Opět osa X zobrazuje číslo měření, respektive skupinu a zda toto měření bylo uskutečněno s řízeným odpočinkem (s CR), nebo bez řízeného odpočinku (bez CR). U skupiny A je vidět mírný pokles mediánu, což by mohlo naznačovat velmi nízkou p-hodnotu u statistického testu. Nicméně tato hodnota byla 0,053, jež je velmi blízko zamítnutí stanovené hypotézy o odlišnosti středních hodnot. Při zhodnocení skupiny B, lze pozorovat signifikantní rozdíl mediánů. Dále jde vidět minimum u letu bez řízeného odpočinku, které má větší hodnotu než maximum u letu s řízeným odpočinkem, což potvrzuje i fakt p-hodnoty z post-hoc analýzy, která zamítla nulovou hypotézu o shodnosti středních hodnot u této skupiny. Co se týče trendu, tak i přes pouhé dvě měření, lze vidět zmenšení hodnoty mediánu u letu s řízením odpočinkem.



Obrázek 19 - Distribuce směrodatných odchylek v horizontální rovině – správnost

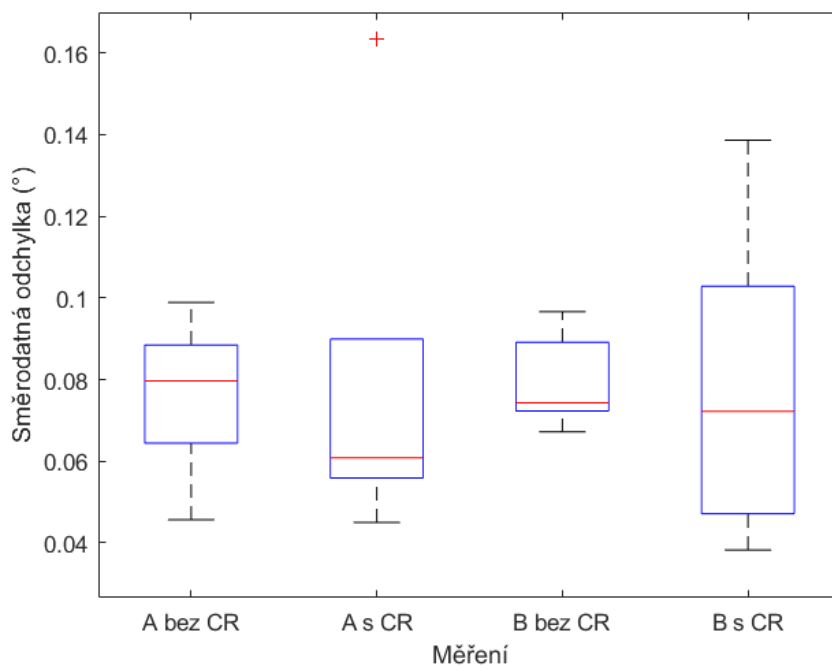
Skupina A, Skupina B, CR – Řízený odpočinek

Na obrázku 20 lze spatřit distribuci průměrů skrze všechna měření ve vertikální rovině. Osa X zobrazuje číslo měření, respektive skupinu a zda toto měření bylo uskutečněno s řízeným odpočinkem (s CR), nebo bez řízeného odpočinku (bez CR). Na ose Y lze pozorovat hodnotu průměru ve stupních. Opětovné porovnání mediánů nabídne celkem uniformní hodnoty, které se nemění v závislosti na použití řízeného odpočinku nebo času letu. Opět při nahlédnutí na p-hodnotu těchto měření lze vidět souvislost. Statistický test potvrdil nulovou hypotézu, že střední hodnoty se v daných měřeních neliší. Nicméně i tak lze pozorovat částečný trend zmenšení mediánu, nicméně ne tak výrazný jako u horizontální roviny. Podobnou situaci nabídne i zobrazení směrodatných odchylek ve vertikální rovině na obrázku 21, které vykazují podobné chování jako předchozí průměry. Znovu lze spatřit trend snižujících se mediánů, nicméně je velmi nepatrný.



Obrázek 20 - Distribuce průměrů ve vertikální rovině – přesnost

Skupina A, Skupina B, CR – Řízený odpočinek



Obrázek 21 - Distribuce směrodatných odchylek ve vertikální rovině – správnost

Skupina A, Skupina B, CR – Řízený odpočinek



4. Diskuze

Pro vyhodnocení vlivu řízeného odpočinku byly vybrány dvě proměnné, a to průměr a směrodatná odchylka od požadované hodnoty, jež byly získány z vytvořeného programu a získaných dat ze simulátoru.

Prvotní zpracování dat v programu MATLAB a následná vizualizace naznačovala, že střední hodnota všech souborů nebude stejná a že bude zajímavé zkoumat tyto odlišnosti. Následné užití statistického testu rANOVA jasně ukázalo, že řízený odpočinek má signifikantní vliv na řízení letounu v horizontální rovině při vystavení spánkové deprivaci. Toto bylo prokázáno jak v reprezentaci průměrů, tak směrodatných odchylek. Vliv řízeného odpočinku se projevil v požadované přesnosti i správnosti v horizontální rovině.

Poměrně zajímavým výsledkem je fakt, že při studiu odchylek vertikální roviny se prodělaný odpočinek neprojevil, což potvrdili i statistické testy. Toto může být zapříčiněno mnoha faktory, které měly vliv na přesnost a správnost zaletěné trajektorie a překryl možný účinek řízeného odpočinku.

Pro doplnění zhodnocení výsledků této práce poslouží krabicové diagramy, které poskytují přehled nad všemi měřeními. Při prezentaci výsledků bylo zajímavé sledovat medián výběru prvního letu a porovnávat jej s výběrem druhým u řízeného odpočinku. Ve všech případech se medián po použití řízeného odpočinku snížil, ač v jednotlivých měřeních různou mírou. Zpřesnění pilotáže lze taktéž částečně pozorovat na minimálních a maximálních hodnotách jednotlivých letů, jež je patrné na obrázku 19. Dalo by se tedy předpokládat, že pilotáž nebyla subjekty po absolvování odpočinku tak náročná a byly schopni lépe zvládat korekce k zpřesnění letu.

U vertikální roviny je lze spatřit určitou nekonzistenci. Na obrázku 20 u skupiny A, která měla za úkol přistávat po 2. hodině ranní, lze u letu bez řízeného odpočinku sledovat výrazně menší minimální a maximální hodnoty než u letu s řízeným odpočinkem, kde bylo očekáváno zlepšení. Podobný výsledek je k vidění na obrázku 21, kde jsou vyobrazeny směrodatné odchylky. Zajímavý pohled je na skupinu B, kde u letu s řízeným odpočinkem výrazně vzrostlo rozpětí mezi prvním a třetím kvantilem. Totéž lze pozorovat u minimálních a maximálních hodnot, které narostly i přes očekávané zlepšení po odpočinku. Tyto výsledky zhoršení byly potvrzeny i post-hoc analýzou, která zamítla možnost odlišnosti středních hodnot. Je nutno vzít v úvahu i fakt existence okna cirkadiálního útlumu mezi 2. a 6. hodinou ranní, což mohlo



mít podstatný vliv na přistání okolo 7. hodiny ranní. Vliv tohoto okna na výkonnost při řízení letounu stojí za další studium.

Doporučení a využití řízeného odpočinku od organizace ICAO společně s dalšími organizace je očividné a vycházející z jeho hodnocení díky dotazníkovým subjektivním metodám. Tomuto doporučení se věnuje i americké letectvo, které ho popisuje jako prostředek ke zvýšení bdělosti v kokpitu [2]. Popis řízeného odpočinku jako protipatření možné únavy na palubě je popsáno ve studii [23], kde jsou popsány pozitivní vlivy na výkonnost jedince. V této práci se tento pozitivní vliv potvrdil pouze u popisu odchylek v horizontální rovině. K bezpečnému přistání je potřeba komplexního výkonu. Čím blíže je pilot přistávací dráze, tím se kladou větší požadavky na přesnost letu zejména ve vertikální rovině s ohledem na překážky.

Výsledky, kde se zlepšení řízení letounu nepotvrdily, mohou být zkresleny z důvodu malého počtu letů na tomto simulátoru za účelem poznání a zvyknutí si na něj. Subjekty strávili ručním řízením letounu jen malou část letu, což neusnadnilo jejich adaptaci na potřebné výchylky kormidel k řízení letounu po přesně definované trajektorii.

U subjektivního, respektive slovního hodnocení subjektů, které nicméně nebylo předmětem zkoumání, převažovalo pozitivní hodnocení malého odpočinku, který jim dopřál lehkou regeneraci a obecně lepší pocit. Nicméně část uznala, že na řízení si nezvykly ani po skončení experimentu.



Závěr

Účelem této práce bylo zjistit vliv řízeného odpočinku na průběh letu, který by se projevil na řízení letounu. Pro toto zhodnocení byla provedena analýza, která objasňovala současný stav a jeho nedostatky. Tomuto problému se věnuje jen velmi málo studií, které by objektivně zhodnotili tento vliv na řízení letounu, jenž má pilot ve svých rukou a v mnoha případech, je jediná možnost, jak dostat letoun zpět na zem v případě nouze, selhání automatizace či jiných okolností. Z tohoto důvodu byl v rámci této práce proveden experiment, který se této problematice věnuje. Skládal se ze dvou nočních měření, která měla simulovat rutinní práci pilotů a jejich vystavení spánkové deprivaci. Celkově se ho zúčastnilo 10 subjektů rozdělených na dvě skupiny, které byly právě vystaveny různě dlouhé spánkové deprivaci. Z rešerše byl aplikován postup pro vhodnou analýzu tohoto problému. Dále byl vytvořen program, který prozkoumal fázi konečného přiblížení od výšky středního přiblížení do 200 stop nad letiště. Tato fáze byla vybrána z části i kvůli tomu, že se jedná o nejtěžší část letu, kde statisticky dochází k nejvíce nehodám. Zároveň dochází k největšímu napětí a stresu, čemuž únava dále vůbec nepomůže. Do tohoto hodnocení patřila analýza odchylek od horizontální a vertikální roviny, kterou pilot má vyobrazenou na palubním přístroji.

Následně byla data prezentující přesnost a správnost vyhodnocena vhodnými testy a graficky znázorněna v krabicových diagramech. Výsledky byly diskutovány s ohledem na všechna doporučení a výzkumy, které se tomuto problému věnují.

K jedné z limitací této práce rozhodně patří malý počet subjektů. Ve fázi plánování byl stanoven ideální počet na 20, což se z časových důvodů, zapříčiněné rekonstrukcí simulátoru nepodařilo splnit. I tak se dá považovat toto číslo za obstojné s uvážením časové náročnosti tohoto experimentu. Mezi další limitaci patří pouze jedno přistání v rámci jednoho měření. Více měření by zajistilo větší vzorek dat k hodnocení, nicméně by enormně narostla časová náročnost a nebylo by možné zkoumat další parametry v rámci této práce.

S uvážením výsledků byl vyvozen závěr, že řízený odpočinek by mohl mít vliv na řízení letounu, což se projevilo v horizontální rovině, s ohledem na fakt uniformních podmínek. Přesnost i správnost letu se signifikantně zvýšila u jedné z měřené skupiny. Rozdíl mezi dvěma skupinami, které byly definovány různými časy přistání se nepotvrdil. Vliv řízeného odpočinku se nepotvrdil při průzkumu vertikální roviny.



Tyto výsledky mohou být základem pro další studie, které by pomohly ke komplexnímu pochopení problému nebo podkladem pro navazující výzkum, který by hodnotil více přistání či subjektů, což doporučuji pro mnohem přesnější výsledky. Dalším doporučením je zapojení pilotů z více odvětví, kteří by do výzkumu přinesli další pohled a pozitiva.

Únavu na palubě letounu je potřeba brát zodpovědně a přistupovat k ní s respektem. Proto je důležité prozkoumat veškeré prostředky, které by pomohly únavu snížit, což by vedlo k dalšímu přispění k bezpečnosti. V letectví se klade velký důraz na bezpečnost. Tento proaktivní přístup ve všech oblastech letectví v poslední desítkách let, zajistil letecké přepravě místo nejbezpečnějšího druhu přepravy.



Seznam použité literatury

- [1] *Letecký předpis L6: Provoz letadel, část I.* [online]. Česká Republika: Ministerstvo dopravy, 2012 [cit. 2022-07-20]. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-6/L-6i/index.htm>
- [2] CALDWELL, John A., Melissa M. MALLIS, J. Lynn CALDWELL, Michel A. PAUL, James C. MILLER a David F. NERI. Fatigue Countermeasures in Aviation. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* [online]. 2009, **80**(1), 29-59 [cit. 2022-07-27]. ISSN 00956562. Dostupné z: doi:10.3357/ASEM.2435.2009
- [3] CALDWELL, John A. Fatigue in aviation. *Travel Medicine and Infectious Disease* [online]. 2005, **3**(2), 85-96 [cit. 2022-07-22]. ISSN 14778939. Dostupné z: doi:10.1016/j.tmaid.2004.07.008
- [4] *Human performance and limitations: ATPL GROUND TRAINING SERIES.* Oxford Aviation Academy. Oxford, 2014.
- [5] HOFSTRA, Wytske a AI DE WEERD. *How to assess circadian rhythm in humans: A review of literature* [online]. 2008, **13**(3), 438-444 [cit. 2022-07-20]. ISSN 15255050. Dostupné z: doi:10.1016/j.yebeh.2008.06.002
- [6] *Fatigue Management Guide for Airline Operators* [online]. Montréal: ICAO, IATA, IFALPA, 2015 [cit. 2022-07-20]. Dostupné z: https://www.iata.org/contentassets/39bb2b7d6d5b40c6abf88c11111fcd12/fatigue-management-guide_airline20operators.pdf
- [7] *Doc. 9966: Manual for the Oversight of Fatigue Management Approaches* [online]. Montréal: International Civil Aviation Organisation, 2016 [cit. 2022-07-20]. Dostupné z: <https://www.icao.int/safety/fatiguemanagement/FRMS%20Tools/Doc%209966.FRMS.2016%20Edition.en.pdf>
- [8] WALKER, William, James WALTON, A. DEVRIES a Randy NELSON. Circadian rhythm disruption and mental health. *Translational Psychiatry* [online]. 2020, **10**(1) [cit. 2022-07-23]. ISSN 2158-3188. Dostupné z: doi:10.1038/s41398-020-0694-0



-
- [9] ROSEKIND, Mark, Philippa GANDER, Donna MILLER et al. Fatigue in Operational Settings: Examples from the Aviation Environment. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* [online]. 1994, **36**(2), 327-338 [cit. 2022-07-22]. ISSN 0018-7208. Dostupné z: doi:10.1177/001872089403600212
- [10] EUROPEAN AVIATION SAFETY AGENCY. *Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Annex IV – Part-CAT* [online]. [cit. 2022-07-20]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/document-library/acceptable-means-of-compliance-and-guidance-materials/group/part-cat---commercial-air-transport-operations#group-table>
- [11] FATIGUE COUNTERMEASURES WORKING GROUP. *Controlled Rest on the Flight Deck: A resource for operators*. United States of America, 2018.
- [12] *STATISTICAL SUMMARY OF COMMERCIAL JET AIRPLANE ACCIDENTS: Worldwide Operations, 1959 – 2020*. Seattle, 2021. Dostupné také z: https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/company/about_bca/pdf/statsum.pdf
- [13] IATA. *2021 Safety Report*. Edition 58. Montréal, 2022. Dostupné také z: https://www.iata.org/contentassets/bd3288d6f2394d9ca3b8fa23548cb8bf/iata_safety_report_2021.pdf
- [14] CALDWELL, John A. Crew Schedules, Sleep Deprivation, and Aviation Performance. *Current Directions in Psychological Science* [online]. 2012, **21**(2), 85-89 [cit. 2022-07-22]. ISSN 0963-7214. Dostupné z: doi:10.1177/0963721411435842
- [15] SMRZ, V., J. BORIL, I. VUDARCIK a M. BAUER. Utilization of Recorded Flight Simulator Data to Evaluate Piloting Accuracy and Quality. *2019 New Trends in Aviation Development (NTAD)* [online]. IEEE, 2019, 164-169 [cit. 2022-07-25]. ISBN 978-1-7281-4079-7. Dostupné z: doi:10.1109/NTAD.2019.8875570
- [16] *Radio Navigation: ATPL GROUND TRAINING SERIES*. Oxford Aviation Academy. Oxford, 2014.



-
- [17] *Letecký předpis L8168/I: Provoz letadel - letové postupy* [online]. Česká Republika: Ministerstvo dopavy, 2019 [cit. 2022-07-25]. Dostupné z: https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-8168i/data/print/L-8168-I_cely.pdf
- [18] HASLBECK, Andreas, Paul KIRCHNER, Ekkehart SCHUBERT a Klaus BENGLER. A Flight Simulator Study to Evaluate Manual Flying Skills of Airline Pilots. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* [online]. 2014, **58**(1), 11-15 [cit. 2022-08-02]. ISSN 2169-5067. Dostupné z: doi:10.1177/1541931214581003
- [19] WEISS, Jan. *Vliv únavy na vykonání přístrojového přiblížení*. Praha, 2020, 67 s. Ing. Lenka Hanáková.
- [20] STREINER, David a Geoffrey NORMAN. "Precision" and "Accuracy": Two Terms That Are Neither. *Journal of Clinical Epidemiology* [online]. 2006, **59**(4), 327-330 [cit. 2022-07-27]. ISSN 08954356. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclinepi.2005.09.005
- [21] *Accuracy vs. Precision* [online]. India: MSG Management Study Guide, 2008 [cit. 2022-07-27]. Dostupné z: <https://www.managementstudyguide.com/accuracy-vs-precision.htm>
- [22] PARK, Eunsik, Meehye CHO a Chang-Seok KI. Correct Use of Repeated Measures Analysis of Variance. *Annals of Laboratory Medicine* [online]. 2009, **29**(1), 1-9 [cit. 2022-08-08]. ISSN 2234-3806. Dostupné z: doi:10.3343/kjlm.2009.29.1.1
- [23] HILDITCH, Cassie J, Lucia ARSINTESCU, Kevin B GREGORY a Erin E FLYNN-EVANS. Mitigating fatigue on the flight deck: how is controlled rest used in practice?. *Chronobiology International* [online]. 2020, **37**(9-10), 1483-1491 [cit. 2022-07-20]. ISSN 0742-0528. Dostupné z: doi:10.1080/07420528.2020.1803898