



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

Fakulta dopravní  
Katedra letecké dopravy

**Délka spánkové inercie pro plánování spánkového režimu řídicích letového  
provozu**  
**Sleep Inertia Duration for Planning the Air Traffic Controllers' Sleep Schedule**

**Diplomová práce**

Studijní program: Provoz a řízení letecké dopravy

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

Ing. Terézia Pilmannová, MBA

---

**Bc. Lucie Nekvapilová**

Praha 2024



**K621.....Ústav letecké dopravy**

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE** (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Lucie Nekvapilová**

Studijní program (obor/specializace) studenta:

**navazující magisterský – PL – Provoz a řízení letecké dopravy**

Název tématu (česky): **Délka spánkové inercie pro plánování spánkového režimu řídicích letového provozu**

Název tématu (anglicky): Sleep Inertia Duration for Planning the Air Traffic Controllers' Sleep Schedule

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je určení délky spánkové inercie prostřednictvím sledování výkonnosti subjektů pro účely plánování spánkového režimu řídicích letového provozu.
- Proveďte analýzu současného stavu v oblasti spánkové inercie, výkonnostního testování a subjektivního hodnocení spánku/únavy.
- Na základě analýzy současného stavu navrhnete sadu výkonnostních testů a subjektivního hodnocení určených pro následná experimentální měření.
- Navrhnete a provedte experiment na obecné populaci s cílem určení délky spánkové inercie. Při návrhu experimentu uvažte současný spánkový režim řídicích letového provozu při noční službě.
- Navrhnete a provedte studii zasazenou do prostředí řízení letového provozu, která bude sloužit pro porovnání s výsledky studie na obecné populaci.
- Výsledky vyhodnotte a diskutujte. Formulujte závěry, doporučení a limitace práce.





- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Hilditch, C.J., McHill, A.W.: Sleep inertia: current insights. Nature and science of sleep (2019): 155-165.  
Signal, T.L., et al.: Duration of sleep inertia after napping during simulated night work and in extended operations. Chronobiology international 29.6 (2012): 769-779.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Lenka Hanáková, Ph.D.**  
**Ing. Terézia Pilmannová, MBA**

Datum zadání diplomové práce: **15. července 2023**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **15. května 2024**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

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



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

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Lucie Nekvapilová  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 15. července 2023



## Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá tematikou spánkové inercie v kontextu řízení letového provozu. V letectví je v současné době kladen důraz na problematiku únavy a její minimalizaci, nicméně spánková inercie zůstává opomíjená. Řídicí letového provozu nemají za povinnost dodržovat jakoukoli pauzu mezi řízeným odpočinkem (spánkem) a samotným řízením během svých nočních směn. Zároveň ale také není známá přesná doba trvání spánkové inercie, vždy záleží na velkém množství vstupujících faktorů. Tato práce se zabývá spánkovou inercií v konkrétních podmínkách řízení letového provozu. Navrženým a provedeným experimentem na reprezentativním vzorku obecné populace je zkoumán průběh spánkové inercie v první hodině po probuzení po tříhodinovém spánku během noci. Z dosažených výsledků je zřejmé, že spánková inercie nevýrazněji působí prvních 10 minut po probuzení, nicméně výkonnost jedince se dostává na vhodnou úroveň až po 20–30 minutách. Řídicí letového provozu by tak tuto pauzu měli dodržovat, aby minimalizovali riziko vzniku únavy, předcházeli možné degradaci výkonnosti a aby byla zachována vysoká úroveň bezpečnosti.

**Klíčová slova:** spánková inercie, řízení letového provozu, noční směny, únava



## Abstract

This diploma thesis deals with sleep inertia in the context of air traffic control. Nowadays, in aviation, we can see that the importance of the problematics of fatigue is being stressed. Nevertheless, sleep inertia stays neglected. Air traffic controllers are not obligated to take any kind of break between waking up and working. At the same time, the length of sleep inertia is not precisely known, and there are always too many factors influencing its duration. This thesis focuses on sleep inertia in the specific air traffic control environment. An experiment was designed and carried out on a representative sample of general population. It studies the development of sleep inertia in one hour immediately after waking up from a nap during the night. Achieved results show that the effect of sleep inertia is most noticeable during the first 10 minutes after waking up, but the performance reaches its usual level after 20–30 minutes. Air traffic controllers should take this pause to minimize the risk of fatigue, prevent degradation of performance, and maintain a high level of safety.

**Keywords:** sleep inertia, air traffic control, night shifts, fatigue



## **Poděkování**

Touto cestou bych chtěla především mnohokrát poděkovat všem, kteří se účastnili mého (nepříliš příjemného) experimentu, protože bez nich by tato práce vůbec nemohla vzniknout. Dále velmi děkuji svým vedoucím, Ing. Lence Hanákové, Ph.D., a Ing. Terézii Pilmannové, MBA, za jejich odborné vedení, rady a trpělivost. Velké díky patří Ing. Petru Koubovi, Ph.D., za přínosné rady a konzultace. V neposlední řadě děkuji také mé rodině a blízkým za neustálou podporu a vytvoření podmínek pro studium.



## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací a Rámcovými pravidly používání umělé inteligence na ČVUT pro studijní a pedagogické účely v Bc. a NM studiu.

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 15. května 2024

.....  


Podpis



## Obsah

<b>Úvod</b>	<b>12</b>
<b>1 Teoretické základy práce</b>	<b>13</b>
1.1 Spánek a spánková inercie obecně . . . . .	13
1.2 Spánek a spánková inercie v kontextu letecké dopravy . . . . .	18
1.3 Způsoby řízení spánku v letecké dopravě . . . . .	23
1.4 Přehled současného stavu . . . . .	26
1.5 Limitace současného stavu . . . . .	33
<b>2 Metody</b>	<b>35</b>
2.1 Účastníci . . . . .	35
2.2 Experiment . . . . .	36
2.2.1 Výkonnostní testy . . . . .	36
2.2.2 Dotazníky . . . . .	39
2.2.3 Harmonogram experimentu . . . . .	41
2.3 Analýza dat . . . . .	44
2.3.1 Předzpracování dat . . . . .	44
2.3.2 Zpracování dat . . . . .	44
2.3.3 Post-hoc analýza . . . . .	46
2.4 Validace výsledků v kontextu řízení letového provozu . . . . .	46
<b>3 Prezentace výsledků</b>	<b>49</b>
3.1 Výsledky obecných dotazníků . . . . .	49
3.2 První noc . . . . .	51
3.2.1 Vyhodnocení Karolinska Sleepiness Scale . . . . .	52
3.2.2 Vyhodnocení testu reakční doby . . . . .	53
3.2.3 Vyhodnocení testu krátkodobé paměti . . . . .	56
3.2.4 Vyhodnocení Serial Arithmetic Task . . . . .	58
3.3 Druhá noc . . . . .	62
3.3.1 Vyhodnocení Karolinska Sleepiness Scale . . . . .	63





3.3.2	Vyhodnocení testu reakční doby . . . . .	63
3.3.3	Vyhodnocení testu krátkodobé paměti . . . . .	65
3.3.4	Vyhodnocení Serial Arithmetic Task . . . . .	66
3.4	Výsledky validace . . . . .	67
3.5	Shrnutí výsledků . . . . .	69
<b>4</b>	<b>Diskuze výsledků</b>	<b>71</b>
	<b>Závěr</b>	<b>78</b>
	<b>Seznam použité literatury</b>	<b>80</b>



## Seznam obrázků

1.1	Schéma tří procesů ovlivňujících regulaci spánku . . . . .	17
1.2	Synchronizované cirkadiánní a homeostatické procesy . . . . .	22
1.3	Desynchronizované cirkadiánní a homeostatické procesy . . . . .	23
1.4	Vývojový diagram provedené PRISMA analýzy . . . . .	27
2.1	Základní schéma jednotlivých částí experimentu . . . . .	35
2.2	Rozvržení čtyřvýběrového reakčního testu . . . . .	39
3.1	Histogramy výsledků ranního dotazníku . . . . .	52
3.2	Výsledky Karolinska Sleepiness Scale v jednotlivých časech experimentu . . . . .	53
3.3	Vizualizace výsledků 4výběrového testu reakční doby v jednotlivých časech experimentu před provedením korekce správnosti . . . . .	54
3.4	Výsledky 4výběrového testu reakční doby v jednotlivých časech experimentu před provedením korekce správnosti a po ní . . . . .	55
3.5	Výsledky testu krátkodobé paměti v jednotlivých časech experimentu . . . . .	56
3.6	Výsledky testu krátkodobé paměti v jednotlivých časech experimentu ve formě boxplotů . . . . .	57
3.7	Vizualizace výsledků Serial Arithmetic Task v jednotlivých časech experimentu . . . . .	58
3.8	Výsledky Serial Arithmetic Task v jednotlivých časech experimentu před provedením korekce správnosti a po ní . . . . .	59
3.9	Porovnání výsledků Karolinska Sleepiness Scale v první a druhou noc experimentu . . . . .	63
3.10	Porovnání výsledků testu reakční doby v první a druhou noc experimentu . . . . .	64
3.11	Vizualizace výsledků testu krátkodobé paměti v první a druhou noc experimentu . . . . .	65
3.12	Porovnání výsledků testu krátkodobé paměti v první a druhou noc experimentu . . . . .	66
3.13	Porovnání výsledků Serial Arithmetic Task v první a druhou noc experimentu . . . . .	67
3.14	Počty letadel ve Flight Information Region Praha v průběhu jedné hodiny v době od 1:00–2:00 UTC po minutách (1–60) v týdnu od 5.–11. května 2024 . . . . .	68
3.15	Teplotní mapa signifikantních výsledků, první noc experimentu . . . . .	70



## Seznam tabulek

2.1	Harmonogram experimentu . . . . .	43
2.2	Rozdělení účastníků do skupin dle věku . . . . .	45
2.3	Identifikované úkoly (tasks) řídicího a čas potřebný na jejich vykonání . . . . .	47
2.4	Hraniční hodnoty pracovní zátěže řídicích letového provozu . . . . .	48
3.1	Obecné informace o účastnících . . . . .	49
3.2	Informace o spánkových návycích účastníků během měsíce před experimentem . . . . .	51
3.3	Informace o spánku a únavě účastníků během dne před provedením experimentu . . . . .	51
3.4	Chyby a správnost odpovědí ve 4výběrovém testu reakční doby . . . . .	55
3.5	Průměrný počet zapamatovaných číslic v testu krátkodobé paměti . . . . .	57
3.6	Chyby a správnost odpovědí v Serial Arithmetic Task . . . . .	59
3.7	Vnitroskupinové porovnání výsledků Serial Arithmetic Task . . . . .	61
3.8	Obecné informace o účastnících druhé noci experimentu . . . . .	62
3.9	Chyby a správnost odpovědí v testu reakční doby, porovnání první a druhé noci experimentu . . . . .	64
3.10	Průměrný počet zapamatovaných číslic v testu krátkodobé paměti, porovnání první a druhé noci experimentu . . . . .	66
3.11	Chyby a správnost odpovědí v Serial Arithmetic Task, porovnání první a druhé noci experimentu . . . . .	67
3.12	Pracovní zátěž ve Flight Information Region Praha v průběhu jedné hodiny v době mezi 1:00–2:00 UTC ve dnech 5.–8. května 2024 . . . . .	68
3.13	Shrnutí významných výsledků v první noci experimentu . . . . .	70



## Seznam použitých zkratk

ATS	Air Traffic Services	Letové provozní služby
EASA	European Union Safety Agency	Evropská agentura pro bezpečnost letectví
EEG	Electroencephalography	Elektroencefalografie
FIR	Flight Information Region	Letová informační služba
FRMS	Fatigue Risk Management System	Systém řízení rizik spojených s únavou
ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
ILS	Instrument Landing System	Systém přesných přibližovacích majáků
KSS	Karolinska Sleepiness Scale	Stupnice hodnocení ospalosti
MCTQ	Munich Chronotype Questionnaire	Dotazník ohledně spánkových návyků
N1	-	První noc experimentu
N2	-	Druhá noc experimentu
NON-REM	Non-rapid eye movement	Klidné oční pohyby
NTSB	National Transportation Safety Board	Národní úřad pro bezpečnost dopravy
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses	Systematická analýza a meta-analýza
PVT	Psychomotor Vigilance Task	Psychomotorický test bdělosti
RANOVA	Repeated Measures Analysis of Variance	Analýza rozptylu pro opakovaná měření
REM	Rapid eye movement	Rychlé oční pohyby
SAT	Serial Arithmetic Task	Test aritmetických výpočtů
SMS	Safety Management System	Systém řízení bezpečnosti
UTC	Coordinated Universal Time	Koordinovaný světový čas
VMC	Visual Meteorological Conditions	Meteorologické podmínky pro let za viditelnosti



## Úvod

Únava je v letecké dopravě důležité téma, kterému se věnuje kromě samotné legislativy například také systém řízení bezpečnosti. Vychází to z povahy letecké dopravy, která na noc nepřerušuje svou činnost, nýbrž funguje v režimu 24/7. Zaměstnanci v provozu, zejména pak piloti a řídicí letového provozu, se s únavou ve svých zaměstnáních musí potýkat běžně. V letectví, které si klade velmi vysoké nároky na bezpečnost, již existuje spousta způsobů, jak nakládat s únavou. Především je snaha jí samozřejmě předcházet, a to nastavením směn, dobou na odpočinek mezi směnami apod. Důležitá je také osvěta zaměstnanců, kteří jsou školeni, aby znali rizika a snažili se dodržovat jisté zásady a nechodili do práce unavení. Zaměstnavatelé totiž sice mohou například nastavit pravidla ohledně směn, ale ve výsledku vždy záleží na zaměstnancích, jak zodpovědně se postaví ke spánku, protože osobní život svých zaměstnanců mohou zaměstnavatelé těžko kontrolovat.

S touto zodpovědností v současné době souvisí také problematika spánkové inercie. Spánková inercie, která se vyznačuje sníženou výkonností, dezorientací či zvýšenou chybovostí v neurčité době bezprostředně po probuzení, může být pro zaměstnance v režimu 24/7 velkým rizikem. Momentálně neexistuje žádné pravidlo, které by řídicím nařizovalo po probuzení nějakou dobu počkat, aby byl minimalizován vliv spánkové inercie. Závisí to pouze na jejich vlastní zodpovědnosti a dobré vůli. Zároveň neexistuje jasně určená doba, po kterou spánková inercie působí. V závislosti na mnoha faktorech může spánková inercie dle nejnovějších studií této problematiky působit v rozmezí od několika minut do (v extrémních případech) až několika hodin. A právě tyto důvody jsou motivací pro napsání této diplomové práce. Práce si klade za cíl upřesnit údaj o délce trvání spánkové inercie, a to za konkrétních podmínek nočních směn řídicích letového provozu. Tohoto cíle se snaží dosáhnout navržením a provedením experimentu (sady výkonnostních testů) na obecné populaci a následným zasazením dosažených výsledků do prostředí řízení letového provozu.





## 1 Teoretické základy práce

První kapitola této diplomové práce nejprve popisuje základní poznatky ohledně spánku a spánkové inercie: druhy spánku, spánkový cyklus, faktory ovlivňující délku a kvalitu spánku i spánkové inercie a další. Další část kapitoly je věnována spánku a spánkové inerci v kontextu letecké dopravy. Jedná se zde například o tom, které faktory negativně ovlivňují únavu řídicích letového provozu a jak noční směny ovlivňují jejich spánkový cyklus. Dále jsou také zmíněny různé možnosti plánování směn a nakonec legislativa (na mezinárodní i národní úrovni) týkající se únavy zaměstnanců v letecké dopravě a způsoby řízení únavy. Poslední částí kapitoly je shrnutí současných poznatků týkajících se spánkové inercie. Je zde rozebráno celkem 12 studií souvisejících se spánkovou inercií a výkonností nalezených pomocí PRISMA analýzy.

### 1.1 Spánek a spánková inercie obecně

Únava je fyziologický stav, který zhoršuje mentální i fyzickou výkonnost. Prakticky se jedná o signál, který nám sděluje, že si potřebujeme odpočinout a naše schopnosti jsou zhoršené. Únava může být výsledkem nedostatku spánku, prodloužené doby bdělosti, cirkadiánní fáze či pracovní zátěže, v každém případě ale zhoršuje ostražitost jedince a jeho schopnost vykonávat určité činnosti. Mezi symptomy únavy se počítá například ztráta povědomí, snížené motorické dovednosti, zvýšená reakční doba, problémy s krátkodobou pamětí, zvýšení chybovosti, zhoršení nálady, snadné rozptýlení. Předcházet únavě, nebo se alespoň snažit zmírnit její vliv během provozu, je možné na základě znalostí o spánku. Pro účely zvládnutí únavy lze hovořit o 4 základních vědeckých principech: potřeba spánku, nedostatek spánku, cirkadiánní efekt a vliv pracovní zátěže [1, 2].

Spánek je pro člověka tolik potřebný, protože má několik velmi významných funkcí. Během spánku se tělo zotavuje z fyzické aktivity a zároveň "organizuje" své mentální procesy. Třídí se vzpomínky a celkově je spánek důležitý také pro paměť, učení, udržení pozornosti, výkonnosti, nálady a pro celkové zdraví jedince [1, 3].

Na základě mozkové aktivity, pohybu očí a napětí ve svalech je obvykle spánek dělen na NREM (non-rapid eye movement, klidné oční pohyby) a REM (rapid eye movement, rychlé oční pohyby). Během NREM spánku se postupně zpomaluje mozková aktivita, probíhá jakési obnovení těla (např. oprava poškozené tkáně) a lze ho rozdělit do 4 stadií neboli fází. Fáze 1 a 2 se souhrnně označují jako lehký spánek, během něhož není obtížné daného jedince vzbudit. Fáze



1 je přechodnou fází mezi spánkem a bdělostí a po probuzení z tohoto stadia jedinec často tvrdí, že ještě vůbec nespal. Fáze 2 předchází hlubokému spánku a obvykle v ní trávíme 50 % spánku. Hluboký spánek se souhrnně nazývají fáze 3 a 4. Mozkové vlny jsou široké a pomalé a mozek přestane zpracovávat informace z vnějšího světa, je proto obtížnější probudit člověka z hlubokého spánku. Oči jsou klidné, nekmítají a zároveň svaly jsou uvolněné. Právě zde dochází k oné obnově těla, a čím více namáhavé fyzické práce jedinec vykoná, tím více hlubokého spánku bude následně potřebovat. Hluboký spánek je dále velmi důležitý pro zmírnění únavy a zároveň pomáhá „vyčistit“ mozek a je tedy potřebný pro učení. REM spánek je často popisován jako „zaneprázdněný mozek a paralyzované tělo“. Mozková aktivita během REM spánku se totiž velmi podobá mozkové aktivitě bdělého člověka. Zároveň se u jedince může vyskytovat také vyšší tlak, nepravidelné dýchání nebo cukání svalů, oči se za očními víčky zběsile hýbají, ale může dojít také k svalové paralýze, aby se předešlo pohybu svalů na základě zběsilých, bizarních snů. REM spánek je důležitý pro opravu, obnovu mozku. Třídí se vzpomínky a informace z předchozího dne, tedy posiluje a organizuje se paměť. Pokud se jedinec naučil něco nového, během následujícího spánku se REM fáze pravděpodobně navýší. Dále má REM spánek vliv na emoční stabilitu či dobrou náladu, řešení problémů nebo kreativitu a celkově je důležitý pro mentální výkonnost. REM spánek obvykle tvoří 20–25 % z celkové doby spánku a je to fáze spánku, ze které je nejméně snadné být probuzen [1, 2, 3].

Výše zmíněné fáze spánku se postupně střídají a vytváří tak spánkový cyklus. Jeden takový cyklus trvá přibližně 90 minut a u průměrného dospělého člověka se každou noc zopakuje přibližně 5–6krát. Ke konci spánku zároveň ubývá hlubokého spánku a naopak množství REM spánku je vyšší. Aby tedy byl spánek kvalitní a v těle se událo vše, co je potřeba, je nutné, aby člověk prošel celým tímto cyklem bez přerušení [1, 2, 3].

Kromě nepřerušovaného spánkového cyklu může mít na kvalitu spánku vliv celá řada dalších faktorů. Jedním z nich může být věk, kdy se zvyšujícím se věkem klesá množství hlubokého spánku a celkově kvalita spánku klesá. Starší lidé jsou méně flexibilnější co se týče doby, během které spí a jejich spánek bývá kratší. Dalším faktorem jsou poruchy spánku, jako například narkolepsie, spánková apnoe či nespavost. Kvalitu spánku mohou narušit také kofein, nikotin (které působí jako stimulanty) nebo alkohol, který sice uspává, ale zároveň narušuje spánek, například tím, že se jedinci nedostává dostatek REM spánku. Narušitelem může být dále také



okolní prostředí, jmenovitě třeba jasné světlo, náhlý zvuk, vyšší teplota pokoje nebo nepohodlný povrch, na kterém člověk spí [1, 3].

Druhým základním vědeckým principem je nedostatek spánku. Snížení ať už kvality nebo množství spánku totiž může znatelně snížit výkonnost a navýšit únavu následující den. Pokud se nedostatek spánku akumuluje delší dobu, člověk se stává čím dál tím méně ostražitým a funkčním každým dalším dnem a vytvoří si tak tzv. spánkový dluh. Optimální délka spánku u zdravého dospělého člověka je mezi 7 a 9 hodinami a čím méně hodin jedinec spí každou noc po delší dobu, tím rychlejší je u něj degradace výkonnosti. Tyto znaky se mohou individuálně značně lišit, nicméně nedostatkem spánku jsou obecně nejvíce ovlivněné komplexní mentální úkoly (jako předvídání událostí, plánování, rozhodování), může se zhoršit krátkodobá paměť, častěji se vyskytuje mikrospánek, zhoršuje se situační povědomí. Zároveň lidé se spánkovým dluhem obecně mívají zhoršenou náladu a motivaci – nemají dostatek energie k dokončení rozdělané práce. Jedna australská studie dokonce ukázala, že 20hodinová spánková deprivace má na kognitivní výkonnost podobný efekt jako mít v těle koncentraci alkoholu 0,08 % [2]. Jistou mírou nebezpečí může představovat také to, že lidé nejsou schopni dostatečně přesně posoudit vlastní ostražitost a výkonnost po několika dnech nedostatku spánku. Prvních pár dnů si je každý vědom, že je čím dál tím více unavenější, ale po několika dnech si už na sobě jedinec nevšímá žádných rozdílů i přesto, že se jeho ostražitost a výkonnost nadále zhoršují. Dlouhodobý nedostatek spánku může mít vliv na zdraví jedince: lidé, kteří obvykle spí méně než 7 hodin denně mohou být náchylnější k obezitě, cukrovce typu 2 nebo kardiovaskulárním onemocněním. Obnova normálního spánkového režimu (NREM/REM cyklu) může být někdy zdlouhavá. Obvykle je zapotřebí alespoň dvou nocí neomezeného spánku; v případě spánkového dluhu táhnoucího se po více nocí to může být mnohem déle [1, 2].

Dva klíčové procesy regulující délku a kvalitu spánku jsou cirkadiánní a homeostatický proces. Cirkadiánní rytmus jsou takové biologické hodiny, které řídí fungování (nejen) lidského těla v rámci 24hodinového dne. Cirkadiánní rytmus kromě spánku řídí také například krevní tlak, srdeční tep nebo teplotu těla, to vše obvykle na základě zejména světla a tmy. Lidské tělo je díky tomuto rytmu nastaveno tak, aby bylo aktivní během dne a spalo v průběhu noci. Pro většinu lidí nastává tento největší útlum, a tedy ideální doba pro spánek, mezi 23:00 a 6:00. Ospalost postupně narůstá a svého vrcholu dosáhne mezi 3:00 a 5:00. Tato doba je charakterizována sníženou výkonností a bdělostí a teplota lidského těla je nejnižší. V době, kdy teplota těla klesá se cítíme ospale, naopak



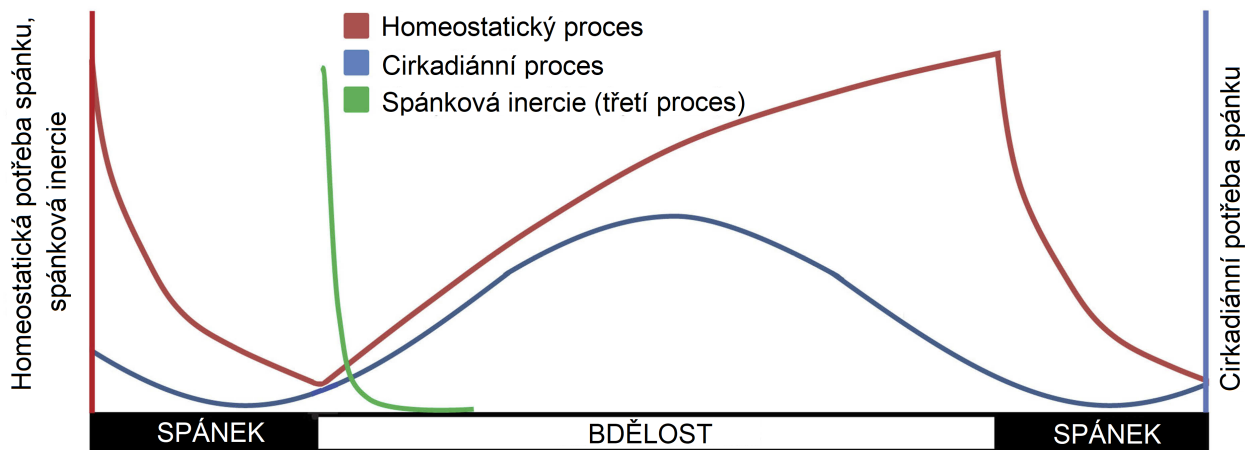
zcela bdělí jsme tehdy, kdy teplota stoupá. Ještě jeden podobný, i když mnohem méně výrazný, útlum se vyskytuje během brzkého odpoledne. Jak již bylo zmíněno, cirkadiánní rytmy se odvíjí od jistých ukazatelů (tzv. zeitgeberů), což jsou vnější podněty ovlivňující vnitřní biologické hodiny jedince. Konkrétně se jedná například o východ a západ slunce, světlo a tmu, vzrůst dopravního hluku, teplotu, vibrace. Nicméně i v případě naprosté izolace od těchto ukazatelů cirkadiánní rytmy přetrvávají. Z toho vyplývá, že tento spánkový cyklus není pouze ozvěnou na externí vlivy [1, 2, 3].

Druhým z výše zmíněných klíčových procesů je homeostatický proces. Ten by se dal shrnout jako potřeba spánku v závislosti na době, po kterou byl jedinec vzhůru. Čím déle zůstane vzhůru, tím větší vzniká tlak na spánek a tento tlak může být rozptýlen pouze spánkem [1, 2].

Posledním ze čtyř základních principů je vliv pracovní zátěže. Jedná se o mentální nebo fyzickou aktivitu, která je potenciální příčinou únavy. V tomto případě záleží na povaze a množství práce, která musí být provedena, na čase, jenž je pro tuto práci vymezen a na dalších faktorech ovlivňujících výkonnost jedince jako jsou například zkušenost, dovednost nebo aktuální cirkadiánní fáze. Problém s pracovní zátěží je ten, že pokud je nízká, vede k monotónnosti a nudě a může vést k ospalosti a horší výkonnosti. Vysoká pracovní zátěž naopak přesahuje kapacitu unaveného jedince a opět vede ke zhoršení výkonnosti [1].

Zároveň je důležité zmínit, že do jisté míry jsou všechny výše zmíněné principy ovlivněny individualitou, například každý jedinec jinak zvládá spánkovou deprivaci. Kromě věku může být důvodem třeba chronotyp, tedy jestli je jedinec spíše tzv. ranní ptáče nebo noční sova. Cirkadiánní rytmy ranních ptáčat a preferovaná doba spánku jsou spíše dříve než u průměru, u nočních sov naopak spíše později [1].

Spánková inercie je dočasný stav ospalosti, dezorientace a zhoršené kognitivní výkonnosti, který může nastat okamžitě po probuzení. Výše byly zmíněny 2 procesy regulující spánek: cirkadiánní a homeostatický. Vyšší bdělost je pocíťována po snížení homeostatického tlaku na spánek, který se často shoduje s cirkadiánním rytmem a tedy s obvyklým ranním probuzením. Nicméně právě v tomto čase okamžitě po probuzení není neobvyklé pocíťovat nižší bdělost a výkonnost. Je tak namístě zařadit ještě třetí proces, kterým je spánková inercie. Tyto 3 procesy jsou zobrazeny na obrázku 1.1. Spánková inercie (zelenou barvou) je okamžitě přítomna od momentu, kdy začne ustupovat spánek a krátce působí proti nízkému homeostatickému tlaku na spánek (červenou barvou) a stoupající bdělosti způsobené cirkadiánními procesy (modrou barvou) [4].



Obrázek 1.1: Schéma tří procesů ovlivňujících regulaci spánku [4] (upraveno)

Přesná funkce spánkové inercie stále není zcela jasná. Z evolučního hlediska by se mohlo zdát, že se spíše hodí velmi rychlé probuzení v případě například nenadálé potenciální hrozby. Nicméně toto postupné probouzení může poskytovat jistou ochranu během přechodu ze spánku do bdělého stavu. Spánková inercie tak může být jakýsi adaptivní mechanismus, který udrží tělo ve spánku v případě nežádoucího probuzení. Zároveň pokud se zrovna jedinec nachází v průběhu nočního spánku v bodě největšího cirkadiálního útlumu, homeostatická potřeba spánku již může být touto dobou relativně malá. V tomto případě tak spánková inercie může pomoci udržet spánek i po zbytek noci. Jedinou situací, kdy spánková inercie není k užitku, je tedy pokud se potřebujeme rychle probudit a ihned vykonávat určitou činnost [4].

Pro spánkovou inercií existuje také neurofyzilogický základ [4]. Například výsledky EEG (electroencephalography, česky elektroencefalografie; jedná se o metodu nahrávání elektrické aktivity mozku [3]) po probuzení zjednodušeně vykazovaly vyšší podobnost s EEG typickým pro hluboký spánek než pro bdělost v porovnání s EEG provedeným před spánkem. Dále bylo také zjištěno, že rychlost průtoku krve mozkiem je až 1,5 hodiny po probuzení nižší než před tímto spánkem, což odráží právě ono typické zhoršení kognitivních funkcí. Některým dalším částem mozku, které jsou zodpovědné za výkonnou funkci, také může trvat delší dobu, než se vrátí na obvyklou úroveň. Z těchto poznatků tedy vyplývá, že neurofyzilogická zhoršení pozorovaná po probuzení mohou být způsobena zpožděním několika různých na sobě nezávislých procesů při přechodu ze spánku do bdělého stavu, a že toto zpoždění je nejvíce zřejmé u procesů vyššího řádu, které jsou potřebné pro vykonávání kognitivních funkcí [4].





Závažnost a délka spánkové inercie jsou ovlivněny několika faktory. Zvýšení efektu spánkové inercie je podpořeno nedostatkem spánku a spánkovou deprivací – jednodenní či nashromážděnou po více dní. Spánková inercie má nejsilnější efekt při probuzení během biologické noci blízko cirkadiánního útlumu, kdy je teplota těla nejnižší. Dále inercií ovlivňuje doba, po kterou byl jedinec bdělý, než šel spát a také fáze spánku, ze které byl probuzen. Obecně se předpokládá, že spánková inercie je horší při probuzení z hlubokého spánku (fáze 3 a 4 NREM), i když, jak píše Hilditch et al. [4], některé novější studie na základě různých metodologií poukazují na fakt, že tato spojitost nemusí být tak silná. Doba trvání spánkové inercie závisí na délce spánku, v jaké části cirkadiánního rytmu byl spánek vykonán a na druhu činnosti, která je po probuzení vykonávána. Spánková inercie obvykle odezní v rozmezí 5–30 minut po probuzení, nicméně v některých případech může trvat až několik hodin [2]. Je ovšem potřeba také ještě jednou zmínit rozdíl mezi subjektivním a objektivním hodnocením únavy. Účastníci různých experimentů se často cítí bdělí mnohem dříve, než dojde ke skutečnému návratu jejich výkonnosti na běžnou úroveň. Proto je při zkoumání spánkové inercie vhodné provádět subjektivní i objektivní měření. Zajímavé je dále porovnání spánkové inercie a extrémní spánkové deprivace v kontextu výkonnosti. Výkonnost okamžitě po probuzení může být stejná nebo dokonce nižší než výkonnost naměřená po jedné probdělé noci. To znamená, že benefit zdřímnutí v průběhu noci může být do doby odeznění spánkové inercie zcela zamaskován a výkonnost tak bude podobná jako při až 40hodinové spánkové deprivaci. Efekt spánkové inercie může být pozorován na široké škále činností od jednoduchých testů na reakční dobu po komplexní kognitivní úkony [4].

## 1.2 Spánek a spánková inercie v kontextu letecké dopravy

Všechny výše zmíněné poznatky o spánku a spánkové inerci jsou významné pro leteckou dopravu. Letectví funguje 24/7, většina zaměstnanců pracujících v provozu se musí potýkat se směnným provozem, noční směny a nepravidelný pracovní rozvrh nejsou výjimkou. Proto je velmi důležité vědět, jak tyto podmínky působí na zaměstnance a na základě této znalosti vytvořit optimální pracovní prostředí.

Během posouzení vyšetřování provedených mezi lety 2001 a 2012 NTSB (National Transportation Safety Board, Národní úřad pro bezpečnost dopravy Spojených států amerických) zjistil, že z celkového počtu 61 vyšetřování byla únava jednou z pravděpodobných, přispívajících



příčin nebo rovnou příčinou u 14 vyšetřování [5]. Jednou takovou nehodou je nehoda Colgan Air z 12. února 2009. Piloti letounu letícího ve fázi ILS (Instrument Landing System) přiblížení za podmínek VMC (Visual Meteorological Conditions, meteorologické podmínky pro let za viditelnosti) v noci nad letadlem ztratili kontrolu a letoun se zřítíl do obydlené oblasti, kde začal hořet. O život zde přišli všichni cestující, posádka a 1 další člověk na zemi. Jedno ze zjištění nalezených během vyšetřování uvedlo, že výkonnost pilotů byla pravděpodobně zhoršena z důvodu únavy. Navíc na letovém zapisovači bylo možné slyšet oba piloty zívát a mluvit o tom, jak se těší, až budou moci spát [6].

Nehody a incidenty způsobené únavou přispěly k zaměření pozornosti na tuto problematiku. Pro posádku jsou problémy s únavou docela očividné: piloti i palubní personál se musí potýkat zejména se směnami v noci nebo velmi brzy ráno, long haul a short haul lety či jet lagem. Řídicí letového provozu se sice nepotýkají s cestováním mezi různými časovými pásmy, ale rizika jsou pro ně také vysoká. Jedním z faktorů, které jistým způsobem mohou ovlivňovat pracovní zátěž a únavu řídicích, je stanoviště, na kterém pracují. Jedná se o letištní, přiblížovací a oblastní službu řízení [7]. Stanoviště poskytující letištní službu řízení (také „věž“, anglicky tower control) se většinou nachází přímo na letišti, protože je zapotřebí vizuálního kontaktu s dráhou a pojezdovými drahami. Řídicí na tomto stanovišti zejména řídí provoz na letišti, vydává povolení pro spuštění motoru, zahájení pojíždění a vzlet letadla, předává letadla řídicím na přiblížovacím stanovišti a také je od nich přebírá [8]. Řídicí na přiblížovacím stanovišti (anglicky approach control) řídí letadla v počáteční fázi vzletu nebo přiblížení a řadí letadla za sebou co nejefektivněji a bezpečně. Toto stanoviště se již nemusí nacházet přímo na letišti. Hlavními úkoly řídicích na tomto stanovišti je nastavení sekvence přiletů a zajištění dostatečných rozstupů mezi letadly [7]. Tento úkol může být velmi náročný, a to kvůli velkému počtu letadel, náročnosti řazení letadel (různé výkonnosti, rychlosti na konečném přiblížení, čas potřebný k vyklizení dráhy, kategorie turbulencí atd.), počasí, terénu či počtu a pozici použitelných drah [7, 8]. I přesto, že právě kvůli této náročnosti může řídicí na přiblížovacím stanovišti současně řídit menší počet letadel než řídicí na oblasti, stále se jedná o mentálně náročnou činnost mající vliv na únavu. Posledním stanovištěm je oblastní služba řízení (anglicky area/en-route control). Oblastní řídicí řídí lety stoupající na svou cestovní hladinu, lety v cestovní hladině a lety během počáteční části sestupu [7]. Obvykle se jedná o ty části letu, kdy piloti vypínají upozornění, aby se cestující připoutali [8]. Řídicí na všech těchto stanovištích během výkonu své práce provádějí rozličné kognitivní úkoly [5]. Pozornost



a bdělost jsou zapotřebí pro monitorování letadel. Jakmile řídící zaznamená letadlo, na řadu nastupuje plánování a rozhodování, aby toto letadlo například prolétlo daným sektorem bezpečně a efektivně. K tomuto si řídící musí vzdušný prostor představovat ve trojrozměrné dimenzi, zároveň musí i předvídat budoucí události; je zapotřebí udržovat dostatečné situační povědomí.

Existuje velká řada dalších provozních faktorů, které mohou negativně ovlivnit únavu řídících. V následujících bodech jsou shrnuté některé z nich [9].

- Pracovní podmínky: kvalita míst pro odpočinek a podmínky jejich využívání, úroveň automatizace a odpovědnosti, teplota, hluk, dostupnost jídla a pití.
- Geografická poloha: topografie, odlehlost, počasí, doba dojíždění do zaměstnání.
- Pracovní zátěž: hustota dopravy, intenzita přidělených úkolů.
- Nepravidelnost: jak často bývá prodloužena pracovní doba z důvodu nějakého provozního rizika, jak často je narušen rozpis práce, jak často je řídící na standby a jak často je z něj opravdu zavolán do práce.
- Interakce s ostatními: komunikace s piloty často v jazyce, který není jejich mateřským, komunikace s letištními zaměstnanci.
- Úroveň zkušeností: podobné provozní požadavky mohou vyvolat jiné pracovní zatížení u zkušených a nezkušených řídících, zároveň zkušení řídící někdy mohou podporovat méně zkušené zaměstnance a dohlížet na ně, což zvyšuje jejich pracovní zátěž.
- Personální obsazení: schopnost rozvrhnout směny tak, aby byl zajištěn dostatečný čas na odpočinek, dostatečný počet zaměstnanců na pokrytí absencí nebo specifických provozních požadavků, kariérní stabilita.

V současné době je snahou některé tyto faktory nějakým způsobem ohodnotit a kvantifikovat. Příkladem může být například pracovní zátěž. Práci řídícího letového provozu je možné rozdělit do několika základních skupin úkolů, jak ve svém článku prezentují Welch et al. [10]. Jedná se o tyto 4 skupiny: background tasks – úkoly na pozadí (nezáleží na počtu letadel v sektoru; jsou to rutinní činnosti jako koordinace s vedoucími, konfigurace displejů, zkoumání předpovědi počasí), transition tasks – úkoly ohledně předání letadel (převzetí letadla, počáteční kontakt,



seznámení se s letovým plánem), recurring tasks – opakující se úkoly (vyhnutí se zakázaným prostorům či špatnému počasí, změny letového plánu, monitoring situace), conflict tasks – řešení konfliktů (v případě hrozícího konfliktu mezi dvěma letadly, detekce konfliktů a jejich vyřešení). Pracovní zátěž řídicího na jeden takový úkol se nazývá taskload. Welch et al. ve svém článku také popisují způsob pro výpočet taskload [10]. Tento způsob dále ve svém článku používají také Zohrevandi et al., kteří zde také navíc uvádějí typické délky trvání jednotlivých úkolů:

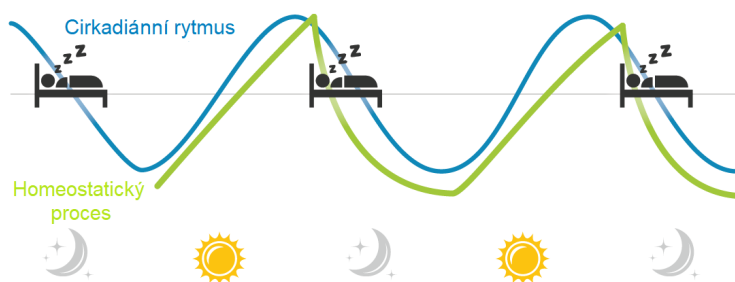
- typická délka trvání pro background task = 2 vteřiny,
- typická délka trvání pro transition task = 10 vteřin,
- typická délka trvání pro recurring task = 3 vteřiny,
- typická délka trvání pro conflict task = 50 vteřin [11].

Gerdes et al. ve své studii používají trochu jiný způsob určení taskloadu, prakticky se ale jedná spíše jen o jinou formu zápisu [12]. Podstata všech těchto výpočtů je vždy stejná a vychází z počtu úkolů nutných pro uřízení letadel v daném sektoru v čase a doby potřebné na tyto úkoly. Co je zajímavé v této studii jsou hlavně podrobněji rozepsané úkoly (tasks) a délky trvání [12].

I přes všechny současné zavedené předpisy a doporučení je únava stále aktuálním tématem v oblasti řízení letového provozu. Nedávno provedená studie pod záštitou EASA (European Union Safety Agency, Evropská agentura pro bezpečnost letectví) zhodnotila, že za posledních 10 let nenastala žádná nehoda nebo vážný incident související s únavou řídicích a zároveň mezi roky 2013–2022 bylo pouze 184 událostí s tímto souvisejících [13]. Nicméně důležitost této problematiky dokazují další zjištění této studie. Na základě analýzy rozpisů směn řídicích a subjektivních i objektivních sběrů dat mezi poskytovateli leteckých provozních služeb po celé Evropě byly ve studii porovnány různé faktory mající vliv na únavu s průměrnými maximálními hodnotami. Tedy například maximální počet po sobě jdoucích dnů v práci byl pro oblastní řídicí 5,9 a pro řídicí na věži 5,8 dní a každý další pracovní den navýší riziko kritické únavy o 27 %. Maximální doba poskytování letových provozních služeb bez přestávky je pro oblastní službu řízení 90 minut a to letištní službu řízení 154 minut a každá další hodina způsobí až 33% nárůst rizika. Při pohledu na minimální počet volných dní (tedy dní, kdy řídicí nepracuje) je tento údaj totožný pro oblast i věž, a to 3,7. Zároveň každý další den volna následující po směně, která zasahuje do noci, snižuje riziko kritické únavy až o 43 %. Další zajímavá zjištění se týkají nočních směn,

například to, že noční směny navyšují riziko kritické únavy o celých 253 %. Co se týče ostatních faktorů, riziko kritické únavy mohou nejvíce ovlivnit také složité situace týkající se počasí (o 192 %) a monotónní, jednotvárný, klidný provoz (o 120 %).

Z hlediska únavy jsou klíčovým problémem pro řídící letového provozu směny. Čím dál od optimální doby pro spánek určené cirkadiánním rytmem jedinec spí, tím horší tento spánek bude [1]. Kvůli směnám si navíc řídící často vytváří spánkový dluh. Celkově tak u nich může únava negativně ovlivnit výkonnost, náladu a zdraví. V normálních situacích, kdy člověk pracuje přes den a přes noc spí, jsou výše zmíněné cirkadiánní a homeostatické procesy synchronizované, viz obrázek 1.2. To napomáhá kvalitnímu spánku a vysoké bdělosti přes den.

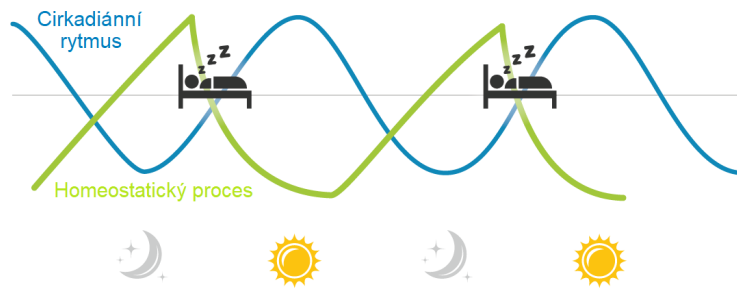


Obrázek 1.2: Synchronizované cirkadiánní a homeostatické procesy [2]  
(upraveno)

V případě nočních směn jsou ale tyto 2 procesy desynchronizovány, viz obrázek 1.3. V noci je pocíťován vysoký tlak na spánek a přes den je obtížné spát kvůli cirkadiánnímu rytmu. Přes noc je bdělost nízká a spánek po noční směně většinou nebývá kvalitní v porovnání se spánkem před denní nebo večerní směnou.

Problematika směn řídících letového provozu může být řešena čtyřmi způsoby: rotace směn může být pomalá nebo rychlá (podle rychlosti), anebo zpětná či dopředná (podle směru). Při rychlé rotaci směn se načasování jednotlivých směn rychle mění každý další den a cirkadiánní rytmus se tak nestihne adaptovat. Výhodou takto vytvořených směn je, že během volných dní nejsou biologické hodiny takového pracovníka nijak (nebo pouze minimálně) narušeny. Zřejmou nevýhodou je potřeba pracovat i v dobu, ve kterou bude jedinec zrovna v cirkadiánním útlumu. Pomalá rotace směn může sestávat kupříkladu z jednoho týdne pouze ranních směn. Tělo si tak stihne zvyknout na určitý posun cirkadiánního rytmu. Nevýhodou se pak naopak stává potřeba





Obrázek 1.3: Desynchronizované cirkadiánní a homeostatické procesy [2]  
(upraveno)

dalšího posunu biologických rytmů během volných dní. Dopředná rotace směn znamená, že každá následující směna začíná později než ta předchozí, tedy například ranní směna, poté odpolední a nakonec noční směna v tomto pořadí za sebou. Při zpětné rotaci každá směna začíná dříve než ta předchozí, takže třeba odpolední, poté denní směna následovaná ranní a nakonec noční směnou. Množství spánku a výkonnost jedinců je přibližně stejná pro dopřednou i zpětnou rotaci. Poslední důležité poznatky jsou ty, že před brzkou ranní směnou obvykle pracovníci spí nejkratší dobu a na konci noční směny bývá únava nejvyšší a výkonnost nejnižší bez ohledu na směr rotace směn [1].

Řídicí letového provozu mají během svých (nejen) nočních směn možnost spánku. V žádných předpisech však zatím není stanoveno, jak dlouho po probuzení by ještě neměli vykonávat svou práci, aby se předešlo spánkové inerci. Zatím existuje pouze doporučení v poradním manuálu pro poskytovatele letových provozních služeb [9], aby řídicí 10–15 minut po probuzení z plánovaného spánku nepracovali. Měli by tento čas využít k rozpohybování se, protažení, obecně k fyzické aktivitě nebo hovoru, aby byla spánková inercie rozptýlena co nejrychleji [9]. Nicméně, jak bylo zmíněno výše, těchto 15 minut stačit nemusí, spánková inercie velmi často působí až 30 minut po probuzení (někdy i mnohem déle), a to zejména při probuzení v noci během cirkadiánního útlumu.

### 1.3 Způsoby řízení spánku v letecké dopravě

ICAO (International Civil Aviation Organization, Mezinárodní organizace pro civilní letectví) určuje závazné předpisy týkající se únavy zaměstnanců v letectví. Leteckých společností se týká Annex 6,



Part I a provozovatelů letových provozních služeb Annex 11. Každý z těchto předpisů má také svůj poradní manuál, pro provozovatele letových provozních služeb je to Fatigue Management Guide for Air Traffic Service Providers [9]. Všechny tyto manuály ještě zastřešuje The Manual for the Oversight of Fatigue Management Approaches, nebo také Doc. 9966 [1].

Česká republika přijala Annex 11 jako letecký předpis L11. Tímto Stát předepisuje omezení plánování služeb a umožňuje zřídit FRMS (Fatigue Risk Management System, systém řízení rizik spojených s únavou). Zároveň je dále závazné prováděcí nařízení Komise (EU) 2017/373. Předpisy například stanovují, že maximální délka směny řídicího letového provozu nesmí přesáhnout 12 hodin, minimální doba mezi koncem jedné a začátkem druhé směny musí být alespoň 11 hodin, nebo že řídicí musí mít v týdnu nepřetržitý odpočinek v trvání alespoň 35 hodin. Každý poskytovatel si dále samozřejmě může vytvořit vlastní směrnice, které mohou být přísnější než národní předpisy a nařízení, pokud s nimi nebudou v rozporu [14, 15].

FRMS je specializovaný systém, který využívá principy SMS (Safety Management System, systém řízení bezpečnosti) [1]. Dle ICAO je definice FRMS následující [14]: *„Na údajích založené prostředky průběžného sledování a řízení bezpečnostních rizik spojených s únavou na základě vědeckých principů, znalostí a provozních zkušeností, které směřují k zajištění toho, že příslušný personál vykonává své úkoly s odpovídající úrovní bdělosti.“*

Normativní přístup, který utvářejí předpisy, nemusí být dostačující. Data ohledně únavy totiž nejsou systematicky a aktivně sbírána dokud se neobjeví nějaký problém. FRMS ale navíc identifikuje a posuzuje i potenciální rizika spojená s únavou a zároveň je proaktivně vyhledává během provozu. Jednou z důležitých součástí dobře fungujícího FRMS je mimo jiné určitá osvěta: zaměstnavatel nemůže mít pod kontrolou veškerý spánkový režim svých zaměstnanců, a proto je důležité, aby byli zaměstnanci dostatečně informováni. V rámci různých školení jsou jim předávány informace ohledně rizik spojených s únavou, jak jim předcházet, jak vypadá správná spánková hygiena a mnoho dalšího. Ve výsledku je zodpovědností zaměstnance, aby do práce chodil odpočínutý, nicméně FRMS se mu v tomto snaží být co nejvíce nápomocen [1].

FRMS obsahuje 4 prvky neboli komponenty, z nichž 2 jsou provozně a 2 organizačně zaměřené [1]:

1. Politika a dokumentace FRMS
2. Procesy řízení rizika spojeného s únavou



### 3. FRMS procesy zajištění bezpečnosti

### 4. Procesy podpory FRMS [14]

Procesy řízení rizika spojeného s únavou a FRMS procesy zajištění bezpečnosti jsou právě ony provozně zaměřené prvky, které se řídí a jsou podporovány zbylými dvěma organizačními komponentami.

Politikou FRMS organizace jasně specifikuje svůj závazek a přístup k řízení únavy a rizik z ní plynoucích. Tato politika je unikátní pro každou jednotlivou organizaci, protože jednoznačně reflektuje konkrétní organizační kontext a provozní potřeby [1]. Politika FRMS musí mimo jiné například definovat rozsah činností FRMS a jasně stanovovat cíle, deklarovat závazek vedení k poskytnutí dostatečných zdrojů pro FRMS a jeho průběžnému zlepšování či vyžadovat pravidelná vyhodnocování [14]. Dokumentace FRMS popisuje všechny součásti FRMS a zaznamenává všechny FRMS aktivity a případné změny a je nezbytná pro interní i externí audity [1]. Tato dokumentace obsahuje například politiku, cíle, procesy a postupy FRMS, odpovědnosti a pravomoce, programy výcviku FRMS nebo doby služby [14].

Procesy řízení a rizika spojeného s únavou jsou součástí každodenního provozu FRMS. Zahrnují neustálé monitorování únavy, identifikaci situací, ve kterých může únava představovat nebezpečí, posouzení rizika a návrhy na jeho zmírnění, pokud je třeba [1]. Pro monitorování únavy a identifikaci nebezpečí spojených s únavou je potřeba dostatek dat. Existují 3 základní a dokumentované procesy, díky kterým je možné tato data nasbírat: prediktivní, proaktivní a reaktivní [1, 14]. *Prediktivní* proces identifikuje nebezpečí spojená s únavou kontrolami plánování služeb řídicích letového provozu a uvážením známých faktorů, které ovlivňují spánek a únavu a jejich vlivů na výkonnost. Tato data je možné získat z předchozí zkušenosti, metody plánování založené na důkazech nebo biologicko-matematických modelů. *Proaktivní* proces určuje únavu v rámci běžného provozu. Tedy například pokud řídicí sám na sebe podá hlášení ohledně rizik spojených s únavou, pomocí průzkumů únavy, výkonnostních dat řídicích, databází bezpečnosti, vědeckých studií nebo sledování a rozborů odchylek plánované a skutečně odpracované doby. Nakonec *reaktivní* proces určuje z již podaných hlášení a z událostí jakým způsobem přispěla únava. Tyto informace jsou získávány z hlášení souvisejících s únavou, zpráv z auditu či z vyšetřování incidentů. Organizace dále musí všechna získaná data a informace vyhodnotit



a určit, která rizika vyžadují zmírnění, a to také následně provést. Kromě zavedení samotné strategie zmírnění je zapotřebí poté nadále sledovat její účinnost.

FRMS procesy zajištění bezpečnosti kontinuálně zajišťují monitorování toho, jak celý FRMS funguje [1, 14]. Prvním ze tří pilířů tohoto prvku FRMS je sledování výkonnosti FRMS pomocí hlášení nebezpečí a vyšetřování, auditů, průzkumů a rozborů a studií souvisejících s únavou. Druhou částí je sledování změn v provozním prostředí a v organizaci, které by mohly ovlivnit riziko únavy. S tím se pojí případné využití dostupných nástrojů k udržení nebo zlepšení výkonnosti FRMS před zavedením změn. Třetím pilířem je průběžné zlepšování FRMS pomocí například hodnocení provozních postupů, vybavení nebo dokumentace či určení potřeby zavedení nových procesů a postupů.

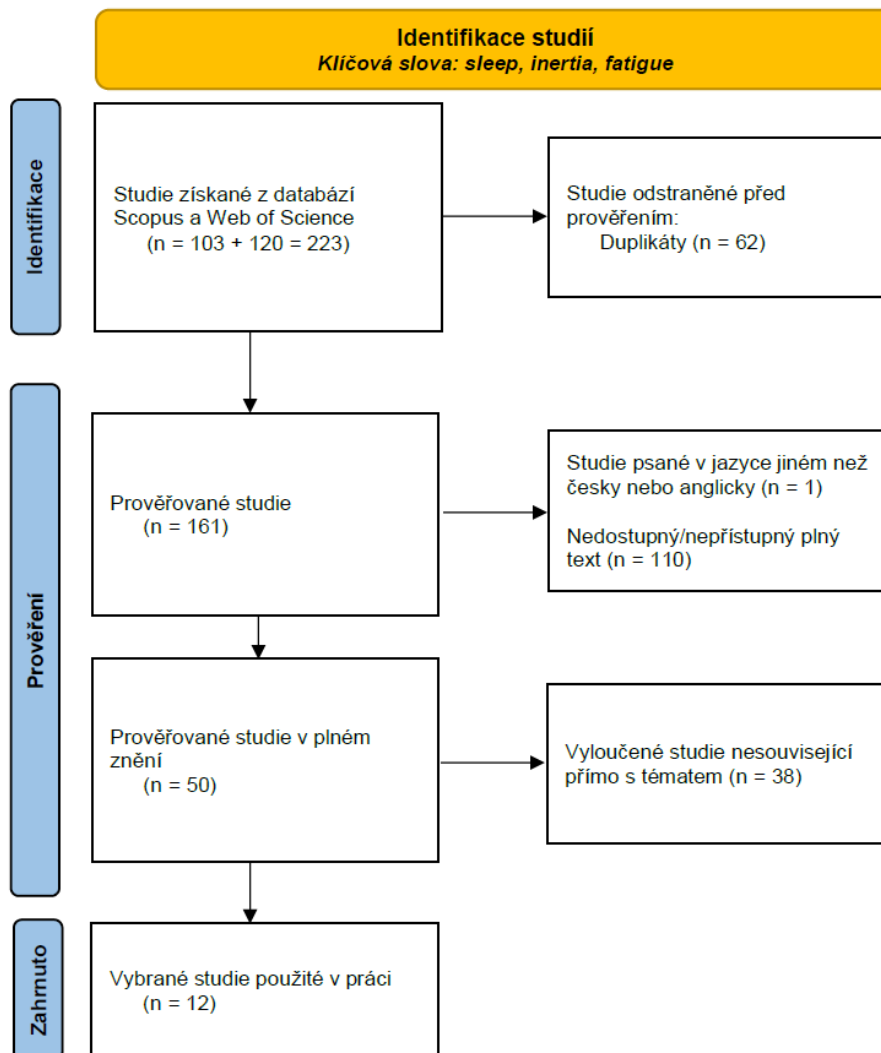
Procesy podpory FRMS jsou jeho nezbytnou součástí, protože FRMS se spoléhá na efektivní komunikaci v rámci celé organizace. Je zapotřebí pravidelné komunikace ohledně aktivit a bezpečnostní výkonnosti FRMS mezi všemi zúčastněnými stranami. Klíčové je tím pádem zavedení programů výcviku zajišťující odbornou způsobilost všech zúčastněných stran a dále účinný komunikační plán. V něm musí být vysvětlena politika FRMS, postupy a odpovědnosti a dále určeny komunikační kanály pro sběr dat a šíření informací souvisejících s FRMS [1, 14].

Již zmiňovaná studie provedená pod záštitou EASA určila celkem 6 provozních praktik, které se jeví jako nejúčinnější v předcházení únavy řídicích letového provozu [13]. První z nich je právě zavedení FRMS. Další identifikovaná opatření jsou ložnice poblíž provozního sálu a tiché okolí, vzdělávací programy, podpora zdřímnutí před směnou a jako poslední podpora zdřímnutí během přestávek v průběhu směn.

#### **1.4 Přehled současného stavu**

Před každým experimentem je zapotřebí provést analýzu současného stavu řešení daného problému, a v případě experimentu prováděného v rámci této diplomové práce tomu nebylo jinak. Pro tuto počáteční analýzu byla vybrána PRISMA analýza, tedy Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses [16]. Vývojový diagram provedené Prisma analýzy zobrazuje obrázek 1.4.

Spánková inercie již byla několikrát zkoumána různými autory, kteří se na tento jev dívali z různých úhlů pohledu. Zajímavé (a aktuální) je zajisté zkoumání spánkové inercie v souvislosti



Obrázek 1.4: Vývojový diagram provedené PRISMA analýzy

s automatizovaným řízením vozidel. Celkem 4 nalezené články [17, 18, 19, 20] se zabývají právě touto tematikou. Od určitého stupně automatizace bude možné, aby řidič během jízdy v autě spal, nicméně v určitý okamžik může být vyžadováno opětovné převzetí řízení řidičem. Právě tento přechod z automatizovaného do manuálního řízení může být problémový, protože řidiče může v době krátce po probuzení ovlivňovat spánková inercie. První z výše zmíněných studií z roku 2020 se zúčastnilo celkem 44 účastníků (z toho 24 mužů a 20 žen) [17]. Dostatek řidičských zkušeností byl zajištěn podmínkou, že každý z nich musel mít za poslední rok najeto alespoň 5 000 kilometrů. Účastníci byli rozděleni do 4 skupin: první skupina přebírala řízení 1 minutu po probuzení, druhá



skupina po 7 minutách, třetí skupina po uplynutí doby 15 minut a nakonec kontrolní skupina, která nespala vůbec a řízení musela převzít 15 vteřin po zaznění akustického signálu. Experiment probíhal na řídicím simulátoru a pomocí chytrých hodinek a telefonů bylo zajištěno, že účastníci v prvních třech skupinách spali 15–20 minut. Následovala série několika úkolů, které účastníci plnili, jednalo se například o přejetí z dvoupruhové silnice na jednoproudovou z důvodu stavby, jízda rychlostí přesně 60 km/h, nouzové brzdění a další. Z pohledu výkonu, bezpečnosti a mentální zátěže nebyla mezi jednotlivými skupinami významná odchylka, tím pádem zde žádná spánková inercie naměřena nebyla. Nicméně, jak sami autoři zdůrazňují, toto nutně neznamená, že neexistují žádné relevantní efekty s inercií spojené. Převzetí kontroly dle výsledků této studie je ideální v rozmezí 1–7 minut. Převzít kontrolu po 15 minutách může totiž u některých řidičů opět vyvolat únavu; jedná se o příliš dlouhou dobu, kterou řidič tráví monotónní činností. Poněkud jiné výsledky, co se týče spánkové inercie, byly získány z jiné studie také z roku 2020 [18]. Tohoto výzkumu se účastnilo 25 zkušených řidičů (14 mužů a 11 žen), z nichž každý jel 2 jízdy na řídicím simulátoru. První jízda se odehrávala ve dne a účastníci během ní nespali; druhá jízda se konala brzy ráno po noci, během které žádný z účastníků nespal déle než 4 hodiny. V rámci této druhé jízdy byli účastníci instruováni, aby se snažili usnout; následně byli probouzeni když se ocitli v NREM spánku ve fázi 2. Během obou těchto jízd na řídicí čekaly 2 podobné scénáře: úhybný manévr před stavbou na silnici do volného pruhu a sjezd exitem ze silnice. Obě jízdy byly řízeny automaticky, řidiči museli převzít kontrolu až kvůli scénářům zmíněným výše. Na převzetí kontroly měli všichni – ať už během jízdy bez spánku nebo s ním – 60 sekund. Výsledkem je jednoznačné zhoršení výkonu řidičů po spánku oproti jízdě, během které byli po celou dobu bdělí. Reakční doba řidičů po probuzení byla přibližně o 3 sekundy delší. Dále výsledky tohoto experimentu naznačují, že čas 60 sekund pro převzetí kontroly nad jízdou je dostatečný. Autoři následující rok navázali studii, ve které zkoumali výkonnost řidičů ne pouze okamžitě po probuzení, ale v delším časovém období po probuzení [19]. Experiment upravili, tentokrát se 31 subjektů účastnilo celkem 6 jízd na simulátoru délky 30–90 minut, doba převzetí kontroly se snížila na 15 sekund. Výkonnost po převzetí kontroly po probuzení byla opět zřetelně horší; probuzení řidiči dělali více chyb než řidiči, kteří byli po celou dobu bdělí. Držení se v jízdním pruhu bylo první 3 minuty po probuzení dramaticky zhoršené, deviace byla až 0,25 m. Dále řidiči po probuzení jezdili pomaleji a udržení rychlosti bylo nestálé po dobu přibližně 10 minut. Totožní autoři se dále podíleli i na posledním dostupném článku na toto téma [20]. Tato studie probíhala velmi podobně jako ta předchozí,



ale navíc jedna z 6 jízd na simulátoru byla provedena po noci částečné spánkové deprivace. Tohoto experimentu se účastnilo dohromady 61 účastníků. Navíc byl měřen i tzv. PERCLOS, což je doba, po kterou měl subjekt zavřené oči. Výsledky odpovídají výsledkům předchozí studie: po probuzení se výkonnost účastníků znatelně zhoršila, dále řidiči zavírali oči (mrkali) mnohem častěji, než když byli plně bdělí. Řízení po probuzení bylo také charakterizováno celkově nižšími rychlostmi. Řidiči tímto způsobem kompenzovali zhoršení výkonnosti z důvodu spánkové inercie. Z podstaty věci podobné reakce nejsou u řídicích letového provozu možné. Nicméně řídicí se s obdobným problémem setkávají zcela běžně každou svou noční směnu, a proto je právě u nich zapotřebí tuto problematiku nějakým způsobem řešit.

Dalším tématem, kterým se kromě několika vědeckých článků zabývá i literatura či (nejen) letecké předpisy, je jak zabránit spánkové inerci, nebo alespoň snížit její vliv. Jedním z těchto způsobů je cvičení. Cílem článku z roku 2019 bylo zjistit, jestli aerobní, posilovací nebo žádné cvičení před spaním má vliv na spánkovou inerci [21]. Druhotným cílem bylo posoudit, zda-li hluboký spánek ovlivňuje spánkovou inerci. Experimentu se zúčastnilo celkem 12 mužů a trval 5 dní. Měření v laboratoři probíhalo dohromady 3 dny (jeden den pro aerobní cvičení, další pro posilovací atd.), mezi nimiž byl vždy 1 volný den bez testování. Cvičení vždy probíhalo 90 minut před spaním a trvalo 30 minut. Ve dnech testování účastníci mohli spát v době od 23:00 do 8:00, ihned po probuzení následovalo testování (testy na reakční dobu apod.). Toto se opakovalo vždy po 15 minutách celkem pětkrát. Výsledkem provedeného experimentu je to, že 30minutové cvičení 90 minut před spánkem nemá významný vliv na spánkovou inerci; obdobně ji neovlivnilo ani množství hlubokého spánku. Důvodem žádných významných změn ve spánkové inerci mezi jednotlivými testy je pravděpodobně stejné množství a struktura spánku ve všech třech testovacích dnech, stejně jako totožný čas probuzení. Podobně probíhal i výzkum z roku 2021, který se ale zaměřoval na cvičení po probuzení [22]. Účastnilo se ho 15 lidí (9 mužů a 6 žen). Experiment probíhal v laboratoři po dobu 3 dnů, mezi nimiž měli účastníci vždy 4 dny volno. V den experimentu šli spát ve 24:00, probuzeni byli o 2 hodiny později a ihned následovalo subjektivní hodnocení ospalosti a poskytnutí vzorku slin pro zjištění hladiny kortizolu po probuzení. Následoval jeden z následujících scénářů (účastníci si postupně prošli všemi scénáři): cvičení vysoké intenzity, cvičení nízké intenzity a žádné cvičení. Cvičení vždy trvalo 30 sekund a po něm následovalo testování (test na reakční dobu, prostorovou představivost atd.). Testování se opakovalo dohromady osmkrát, aby bylo zajištěno sledování výkonnosti až do 2 hodin





po probuzení. Díky tomuto experimentu bylo zjištěno, že cvičení vysoké intenzity významně snížilo pocity ospalosti u účastníků, nicméně zde nebylo pozorováno skutečné zlepšení jejich výkonnosti. Scénáře s cvičeními o vysoké intenzitě dále měly za následek vyšší množství kortizolu u účastníků než scénáře, kdy nebylo prováděno žádné cvičení. Prudký nárůst kortizolu je jeden z fyziologických procesů, které se v těle dějí po probuzení, proto může být považován za jeden z možných opatření proti spánkové inerci.

Na spánkovou inerci může mít vliv také vystavení se modrému světlu před spaním. Jedná se zejména o modré světlo obrazovek telefonů, televizí či počítačů. První nalezená studie zkoumala kvalitu spánku v souvislosti s modrým světlem pomocí online dotazníku na celkem 697 účastnících [23]. Dotazník obsahoval například Morningness-Eveningness Questionnaire nebo Fatigue Severity Scale. Výsledky ukázaly, že vystavení se umělému světlu 90 minut před spánkem je spojováno se zvýšenou spánkovou inercií následující ráno a také s tendencí spoléhat se na budík, spíše než aby se člověk probudil přirozeně sám od sebe. Nicméně nabízí se zde využít modré světlo až po probuzení jako protiopatření proti spánkové inerci [24]. Tohoto experimentu se účastnilo 6 mužů a 6 žen. Jejich úkolem bylo nejprve dodržet potřebný spánkový režim: jednalo se o 5 nocí spánku délky 8,5 hodiny následovaných jednou nocí spánku o délce 5 hodin. Následovala noc ve spánkové laboratoři. Účastníci byli během spánku monitorováni pomocí EEG a probouzení během hlubokého spánku. Následovalo samotné testování (test na reakční dobu, subjektivní hodnocení únavy apod.), které subjekty prováděly buď za osvětlení tlumeným červeným světlem nebo modrým světlem. Testování se opakovalo celkem čtyřikrát v 15minutových intervalech. Následně účastníci pokračovali ve spánku, ze kterého byli opět během hlubokého spánku probuzeni a zopakovali celé testování v prostředí osvětleném modrým nebo červeným světlem (jejich pořadí bylo vybíráno náhodně). V porovnání s tlumeným červeným světlem měli účastníci vystavení modrému světlu méně výpadků pozornosti, cítili se více bdělí a méně letargičtí. Tato studie tak poukazuje na to, že vystavení jedince krátkovlnnému modrému světlu po probuzení z hlubokého spánku může pomoci zlepšit jeho pozornost a náladu.

Poslední úhel pohledu, kterým lze nahlížet na spánkovou inerci, poskytují články zkoumající výkonnost člověka ovlivněného spánkovou inercií v závislosti na délce předchozího spánku, ať už se jedná o spánek během noci či krátké zdřímnutí. Autoři článku z roku 2019 založili experiment na základě faktu, že miliony lidí pravidelně spí méně než 6 hodin za noc během pracovního týdne [25]. Tímto způsobem tak mají chronický nedostatek spánku, což může



ovlivnit jejich výkonnost a mít vliv na spánkovou inercii po probuzení. Experimentu se zúčastnilo 26 účastníků (14 žen a 12 mužů). Byli rozděleni do dvou skupin, z nichž pro každou v laboratoři platil jiný spánkový režim. Byly zde použity rozdílné délky „dnů“ - pro jednu skupinu byl po dobu experimentu v laboratorních podmínkách den dlouhý 20 hodin, pro druhou 42,85 hodin. Během naplánovaných probuzení byli účastníci kontinuálně polysomnograficky monitorováni; po plánovaném probuzení vždy dělali test přiřazování symbolů k číslům (The Digit Symbol Substitution Task) a subjektivní zhodnocení únavy opakovaně každých 10 minut až do doby 1,5 hodiny po probuzení. Účastníci ve skupině s 20hodinovým dnem byli náhodně rozděleni do kontrolní skupiny a do skupiny s omezením spánku. Ostatní účastníci s 42,85hodinovým dnem měli všichni omezenou dobu pro spánek. Subjektům v kontrolní skupině byl poskytnut ekvivalent k 8 hodinám spánku za 24hodinového dne, ostatní měli k dispozici pouze ekvivalent 5,6 hodiny. Výsledky výzkumu jsou následující. Účastníci ve skupině s omezením spánku v průměru nedosáhli na základní úroveň výkonnosti po dobu přibližně 70 minut po probuzení, což je doba sedmkrát delší, než kterou k dosažení této úrovně potřebovaly subjekty z kontrolní skupiny; těm tedy stačilo přibližně pouhých 10 minut. Výzkum se dále zabýval rozdílem mezi akutním a chronickým omezením spánku. Bylo zjištěno, že horší výkonnost během spánkové inercie způsobuje právě chronické omezení spánku spíše než omezený bezprostřední předchozí spánek či doba bdělosti. Zároveň, při kombinaci spánkové inercie s chronickým nedostatkem spánku vykazuje člověk podobně zhoršenou výkonnost, jako je snížená neurobehaviorální výkonnost způsobená požitím alkoholu. Výkon v době 2 minuty po probuzení byl pro účastníky s omezeným spánkem přibližně o 10 % horší než pro kontrolní skupinu a zůstal zhoršený až do rozptýlení spánkové inercie. Nakonec výkonnost během testování, které bylo prováděno během cirkadiánní noci, byla mnohem horší v porovnání s výkonností, které účastníci dosahovali během dne. Jak zmiňují autoři, toto je důležitý poznatek zejména pro pracovníky, kteří pracují během noci, mají povoleno během směny spát a mohou tedy být ze spánku probuzeni (jedná se například také o zaměstnance ve zdravotnictví nebo právě v letectví).

Spánkovou inercii je možné, kromě dostatečného spánku během noci, zmírnit také krátkým spánkem. Nicméně existuje rozdíl mezi takovým zdřímnutím během odpoledne a během noci. První studie zabývající se výkonností po probuzení z krátkého spánku v noci je z roku 2016 a zkoumaná zdřímnutí byla dlouhá 10 a 30 minut [26]. 31 účastníků (18 žen a 13 mužů) bylo rozděleno do 3 skupin a během simulované noční směny buď nespali vůbec, spali 10 minut



nebo spali 30 minut. První sadu 8minutových výkonnostních testů účastníci prováděli před spánkem, zbytek po probuzení ve 4:00. Po probuzení se sada testů opakovala v 15minutových intervalech celkem čtyřikrát. Autoři tímto experimentem zjistili, že 10minutový spánek ve 4:00 způsobuje minimální spánkovou inercii a může tak zmírnit krátkodobé zhoršení výkonnosti během nočních směn. Je však důležité zmínit, že i s 10minutovým zdřímnutím byli účastníci schopni udržet pouze takové úrovně výkonnosti, kterých dosahovali před spánkem. 10minutové zdřímnutí je tak autory považováno za hodnotné, i když je jejich účinnost nižší v porovnání se stejně dlouhým spánkem provedeným během odpoledne. To zejména kvůli cirkadiánním rytům člověka a tím pádem vyšší potřebě spánku během noci. Naproti tomu 30minutový spánek měl za následek výraznou spánkovou inercii; jednou z příčin může být pravděpodobně i to, že se většina účastníků experimentu po 30 minutách probouzela již z hlubokého spánku. Posledním zajímavým výsledkem této studie je to, že účastníci si nebyli vědomi svých výkonnostních nedostatků a přecenili svůj výkon; jinými slovy, subjektivní hodnocení únavy neodpovídalo objektivnímu výkonu.

Posledním nalezeným článkem věnujícím se délce spánku a následné spánkové inercii je článek japonských autorů z roku 2018 [27]. Tato studie se zabývala výkonností v profesích se směnným provozem, zejména zdravotních sester. Ty v Japonsku mohou běžně mít až 16hodinové noční směny, a proto je pro ně otázka únavy klíčová. Tyto směny obvykle začínají v 16:00 a končí v 9:00; zdravotní sestry mohou běžně spát v době mezi 22:00 a 6:00. Na základě těchto informací byl sestaven experiment, kterým se autoři snažili najít nejvhodnější nastavení dvou po sobě následujících kratších spánků o délce 90 a 30 minut. Experimentu se zúčastnilo 12 žen, a to celkem tři noci, zároveň interval mezi jednotlivými měřeními byl 3–4 týdny. Účastníci byli testováni výkonnostními testy každou hodinu mezi 16:00 a 9:00 kromě dob spánku, které byly pro každé jednotlivé měření rozdílné. V prvním měření probíhal spánek nejprve od 22:30 do 00:00 a následně od 2:30 do 3:00, ve druhém měření subjekty spaly mezi 00:30–2:00 a 4:30–5:00, poslední měření bylo kompletně bez spánku. Spánková inercie byla u účastníků zpozorována ihned po probuzení z 90minutového i 30minutového spánku. Nicméně jako lepší byla vyhodnocena varianta, ve které subjekty spaly poprvé od 00:30. Bylo dosaženo vyšší bdělosti a lepší výkonnosti. Autoři tedy vyhodnotili, že 2 spánky během noční směny by mohly zmírnit únavu a udržet výkonnost; zároveň je možné vybírat časy těchto spánků podle toho, kdy se očekává vyšší potřeba pozornosti. Například pokud je v dané profesi nejrušnější doba, kdy jsou potřeba rychlé reakce



a obecně zajištění vysoké míry bezpečnosti, mezi 3:00 a 6:00, jako efektivnější se jeví použít variantu spánku od 22:30 do 00:00 a od 2:30 do 3:00.

Nalezené odborné články zkoumají spánkovou inercií z několika různých úhlů pohledu. Společným znakem velké části těchto studií je snaha zjistit, jak je možné tomuto stavu předejít, nebo ho alespoň minimalizovat. Tento problém je společný pro celou řadu oborů jako jsou medicína či doprava. Letecká doprava se otázkou únavy zabývá důkladně. Jedná se o odvětví, ve kterém je bezpečnost na velmi vysoké úrovni; zároveň jsou zde ale také běžné noční směny a nepravidelný režim. Proto se zde pro snížení únavy hojně využívají řízené odpočinky např. u pilotů. Tomuto tématu se věnovali autoři článku ohledně řízených odpočinků u dálkových letů jedné letecké společnosti [28]. 40 pilotů, kteří souhlasili s účastí v experimentu, nosili po dobu přibližně 2 týdnů hodinky, jež měřily jejich spánkové návyky. Tímto způsobem autoři získali záznamy z 239 letů. Bylo zjištěno, že řízeného odpočinku bylo využito ve 46 % ze všech letů. Nicméně pomocí Prisma analýzy nebyl nalezen žádný článek věnující se výkonosti řídicích ve spojitosti se spánkovou inercií během nočních směn.

## 1.5 Limitace současného stavu

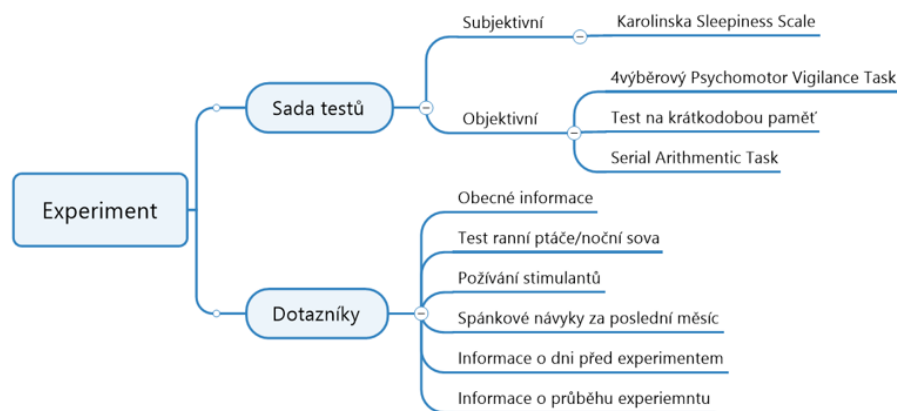
Spánek, únava a spánková inercie jsou i přes veškerá doposud nastavená pravidla, legislativu a doporučení stále aktuální témata v kontextu řízení letového provozu. Spánková inercie nastává okamžitě po probuzení a projevuje se zhoršenou reakční dobou, vyšší chybovostí či dezorientací jedince. Během nočních směn, které pro řídicí letového provozu nejsou nic neobvyklého, může být nebezpečná a může negativně ovlivnit jejich výkonnost. Na téma spánkové inercie bylo již provedeno několik studií. Tyto studie se týkají kupříkladu automatizovaného řízení automobilu a následného opětovného převzetí kontroly řidičem poté, co řidič v autě spal. Zkoumán byl také vliv cvičení či působení modrého světla na spánkovou inercií. Nicméně žádná studie věnující se problematice spánkové inercie v souvislosti s výkonností řídicích letového provozu během nočních směn nalezena nebyla. Zároveň neexistuje žádné jednotné pravidlo či názor na to, jak dlouho po probuzení spánková inercie působí. Obvykle převažuje názor, že inercie působí od 10 do 30 minut po probuzení, avšak dle některých studií se tato doba může protáhnout až na několik hodin. Každá z těchto studií zkoumala spánkovou inercií za jiným účelem, za jiných podmínek. Proto jejich výsledky nelze dost dobře použít pro řídicí



letového provozu. Cíl této diplomové práce je tedy zřejmý: co nejpřesněji určit délku spánkové inercie v konkrétních podmínkách řízení letového provozu. Jednou z dalších motivací (kromě nedostačujících provedených studií a nejasné délky spánkové inercie) je také legislativa – spánková inercie není legislativně nijak ošetřena. Zatím bylo pouze vydáno několik doporučení týkajících se inercie, nicméně momentálně řídícím nic kromě jejich vlastního uvážení nebrání jít pracovat ihned po probuzení.

## 2 Metody

Klíčovou částí této diplomové práce je navržení a provedení experimentu na obecné populaci s cílem určení délky spánkové inercie. Tato kapitola nejprve podrobně popisuje získané základní údaje o účastnících, a dále podrobnosti o tvorbě jednotlivých částí experimentu, pro stručný přehled viz obrázek 2.1, průběh experimentu, zpracování dat a nakonec způsob validace výsledků.



Obrázek 2.1: Základní schéma jednotlivých částí experimentu

### 2.1 Účastníci

Vhodný počet účastníků experimentu je alespoň 20. Účastníci byli hledáni různými způsoby: byla oslovena rodina, kamarádi a známí autorky, ti experiment často rozeslali dále i svým známým. Také byli osloveni spolužáci a někteří vyučující na Katedře letecké dopravy Fakulty dopravní ČVUT, příspěvek ohledně hledání dobrovolníků byl sdílen na sociálních sítích. Ochota účastnit se experimentu nebyla moc vysoká, pravděpodobně kvůli narušení spánkového režimu a nepohodlí účastníků. Nicméně nakonec se experimentu zúčastnilo celkem 19 účastníků ve věku 17–54 let, z toho 9 žen a 10 mužů. Průměrný věk celé skupiny je  $31,42 \pm 12,49$  let.

Účast v experimentu byla dobrovolná, účastníci byli informováni o jeho průběhu a důvodech provádění. Experiment byl proveden se souhlasem Komise pro etiku ve výzkumu Vědecké rady ČVUT v Praze pod jednacím číslem 0000-09/23/51903/EKČVUT. Všichni účastníci poskytli písemný souhlas se zpracováním osobních údajů účastníka projektu, jehož vzor



jim byl distribuován elektronicky společně s ostatními podklady k experimentu. Veškerá data byla anonymizovaná.

Žádný z účastníků nebyl z jakéhokoliv důvodu vyřazen z experimentu. Vzhledem k tomu, že experiment nebyl prováděn v laboratorních podmínkách, ale jeho provedení záviselo na ochotě a zodpovědnosti každého z účastníků, nebylo možné dosáhnout dokonalých podmínek. Účastníci ale relativně dobře zastupují obecnou populaci a různé typy lidí, ať už věkem, chronotypem, spánkovými návyky nebo přísunem stimulantů. Žádný z účastníků se neprojevil výraznou abnormalitou v jakékoli ze zjišťovaných oblastí, proto byli všichni shledáni vhodnými pro experiment.

## 2.2 Experiment

Experiment se skládal ze sady výkonnostních testů a několika dotazníků. Veškeré potřebné podklady k experimentu byly účastníkům rozesílány elektronicky. V této kapitole je popsán způsob výběru jednotlivých testů, otázek do dotazníků a dále harmonogram celého experimentu.

### 2.2.1 Výkonnostní testy

Sada výkonnostních testů se skládá ze čtyř dílčích subjektivních a objektivních testů. Typickými subjektivními pomůckami pro měření únavy jsou například retrospektivní průzkumy či hodnotící stupnice jako Karolinska Sleepiness Scale (KSS) nebo Visual Analogue Scale [1]. Výhody takových způsobů sběru dat jsou zřejmé: jedná se o jednoduché, levné metody, které umožňují sběr velkého množství dat. Nevýhodou je právě ona subjektivita, možná zaujatost nebo ovlivnění nastavenou kulturou vyplňování takovýchto dotazníků. Použití objektivních metod, jako je například EEG, není pro tento experiment proveditelné. Zařízení EEG není jednoduše dostupné, tento způsob měření je drahý a časově náročný, pro účastníky může být poněkud obtěžující, zároveň by účastníci pravděpodobně museli někam docházet a ochota k tomuto nebývá příliš velká. Proto bylo pro účely tohoto experimentu vybíráno pouze mezi subjektivními metodami měření únavy. Na základě vyhodnocení analyzovaných studií v předchozí kapitole byla vybrána KSS. KSS je jednoduchá stupnice s hodnotami od 1 do 10, kdy 1 vyjadřuje naprostou pozornost, subjekt testování je zcela probuzený a ve střehu, a 10 značí extrémní ospalost, subjekt nedokáže zůstat vzhůru [29].





Cirkadiánní rytmus, respektive v jaké spánkové fázi se dobrovolník zrovna nachází, je možné měřit pouze objektivně (tělní teplota, melatonin) [1]. Proto z obdobných důvodů jako u EEG nebyla pro tento experiment cirkadiánní fáze zjišťována. Zároveň nebyla subjektivně ani objektivně zjišťována pracovní zátěž, protože experiment nebyl prováděn v pracovním prostředí a tedy žádná taková zátěž na účastníky nepůsobila.

Klíčovou částí sady testů je výkonnostní test. Výkonnost lze subjektivně zjišťovat jedinečně retrospektivním průzkumem [1], což ale vůbec nemusí být vypovídající a hlavně se může velmi lišit od objektivně naměřených hodnot. Proto byl použit objektivní způsob měření. Ten byl u velké části výše analyzovaných studií prováděn pomocí Psychomotor Vigilance Task (PVT). Jedná se obecně o test, ve kterém má subjekt testování za úkol stisknout určitou klávesu nebo tlačítko, jakmile se na obrazovce objeví vizuální podnět. Pro účely tohoto experimentu byla použita trochu komplikovanější verze PVT, a to čtyřvýběrový PVT. V tomto případě na subjekt působí 4 různé podněty (ne pouze 1) a on tak musí vhodně zareagovat na každý z nich [30]. Sledovanými veličinami jsou reakční doba a správnost odpovědí.

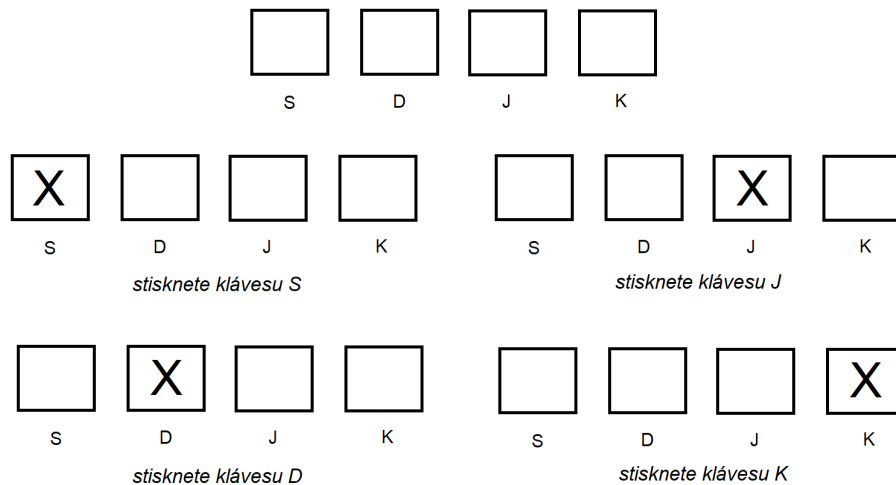
Zbylé testy byly vybrány na základě těchto předpokladů: celková doba trvání jedné sady testů by měla být přibližně 5 minut a zároveň by měly být zjištěny další faktory, které mohou ovlivnit výkonnost řídících po probuzení. Z testů využitých ve výše zmíněných studiích tak byly vybrány dva, které splňovaly tyto předpoklady: test na krátkodobou paměť a tzv. pracovní paměť. Krátkodobá paměť je testována zapamatováním si čísla, které se na obrazovce objeví jen na krátkou dobu. Pracovní paměť je zjišťována pomocí Serial Arithmetic Task (SAT), ve kterém je potřeba vypočítat jednoduchý příklad na sčítání či odečítání a zároveň si zapamatovat druhého sčítance nebo menšitele a použít ho v dalším příkladu [31]. Je zajímavé, a v případě řídících letového provozu také nanejvýš užitečné, zjišťovat pracovní paměť (anglicky známá jako working memory). Není příliš odlišná od krátkodobé paměti a označuje paměť, která se používá například k plánování. Pracovní paměť využíváme například při řešení aritmetického příkladu bez toho, aniž bychom si ho vypočítali na papíře nebo abychom při pečení nepoužili jednu ingredienci dvakrát [32].

Sada testů byla vytvořena jako samostatná aplikace v programu Matlab. Po spuštění se uživateli jako první zobrazí KSS, kde pouze zaklikne, jak se v danou chvíli cítí. Každému dalšímu testu nejprve předchází instrukce, jak daný test probíhá. Po prvních instrukcích tedy začne čtyřvýběrový PVT. Tento test byl v Matlabu vytvořen na základě kódu pro jednovýběrový PVT



David Hilla [33]. Na obrazovce se zobrazí 4 bílé čtverečky, kdy každý z nich odpovídá jednomu písmenu (S, D, J nebo K). Uživatel by si měl před zahájením testu připravit prsty na tyto klávesy, aby byly jeho reakce zaznamenány co nejrychleji a nejpřesněji. V bílých čtvercích se v náhodných intervalech začne zobrazovat písmeno X, viz obrázek 2.2, a úkolem uživatele je co nejrychleji stisknout odpovídající klávesu, zároveň nebude nikdy dopředu vědět, ve kterém čtverečku se písmeno objeví. Pokud uživatel nestiskne žádnou klávesu, písmeno X se bude zobrazovat po dobu 10 sekund, poté zmizí a test bude pokračovat, jako kdyby uživatel klávesu stiskl. Čtyřvýběrový PVT trvá 90 vteřin a zaznamenává se rychlost a správnost reakce. Následuje test na krátkodobou paměť. Po dobu 5 sekund se na obrazovce zobrazí sada náhodně generovaných čísel. Nejprve to jsou 2 číslice, postupně se jejich počet po dvou navyšuje až do celkového počtu 16. Číslo je uživateli umožněno napsat do kolonky až poté, co zmizí. V tomto úkolu není měřen reakční čas, ale pouze správnost. Jako poslední přichází na řadu SAT. Zde se uživateli ukáže příklad na sčítání či odčítání, ve kterém výsledkem může být pouze číslo od 1 do 9 (to proto, aby bylo možné výsledek zapsat zmáčknutím jediné klávesy). První příklad se ukáže celý (zobrazí se tedy oba sčítance nebo menšence i menšitel) a uživatel by měl co nejrychleji zapsat výsledek. Číslo je možné zapsat jakkoli, na každé klávesnici. Kromě zapsání výsledku je zapotřebí zapamatovat si druhého sčítance, případně menšitele. Toto číslo je následně použito namísto prvního sčítance/menšence v dalším příkladu. Příklady jsou generovány náhodně, jejich celkem 26 a v případě zapsání chybného výsledku se vypíše celý nový příklad. Správné výsledky se vypisují zeleně, nesprávné červeně a kromě správnosti je zaznamenávána také rychlost výpočtu. Po dokončení SAT se vypíše hláška o dokončení sady testů. Během jedné sady testů se vytvoří 4 soubory s příponou .xlsx s uloženými výsledky (1 soubor pro každý test zvlášť).

Účastníkům experimentu byla sada testů rozesílána současně s instrukcemi. Instrukce kromě informací popisujících průběh celého experimentu obsahovaly také popis jednotlivých částí sady testů a limitace vytvořené aplikace, které by mohly účastníkovi testování způsobit nějaké problémy. Ve třetí části sady, tedy během testu na krátkodobou paměť, je pro zapsání zapamatovaného čísla nejprve potřeba kliknout do kolonky a smazat nulu. K vytvoření této kolonky bylo využito Edit Field (numeric), které neumožňuje nechat kolonku prázdnou. Nicméně náhodně generované číslice nabývají pouze hodnot od 1 do 9, tím pádem i kdyby uživatel číslo 0 nesmazal, bude toto zřejmé a 0 bude před zpracováním dat odstraněna. Zároveň v této úloze není měřena reakční doba, uživatele tak smazání číslice nijak nezdržuje. Instrukce dále účastníka upozorňují



Obrázek 2.2: Rozvržení čtyřvýběrového reakčního testu a všechny možnosti, které během něj mohou nastat

na to, aby si zapnul NumLock či na to, že v případě SAT se občas stává, že aplikace nereaguje na zmáčknutí klávesy a nelze tak zapsat výsledek. Je totiž nejdřív nutné kliknout kamkoliv do okna aplikace. Z důvodu tohoto možného zdržení tak není první příklad SAT zahrnut do zpracování dat (tzn. zpracovávají se data pouze z 25 příkladů). Za poslední limitaci aplikace může být považována prodleva při načítání jednotlivých testů, nicméně se zde jedná o prodlevu v řádu maximálně jednotek sekund. Účastníci jsou na tento fakt v instrukcích upozorněni, ale žádný vliv na plynulý průběh experimentu či výsledky toto nemá.

### 2.2.2 Dotazníky

Kromě samotného výkonnostního testování bylo dále zapotřebí zjistit údaje o spánku a spánkových návycích účastníků. Objektivní metody pro zjištění spánku jedince jsou aktigrafie a polysomnografie [1]. Obě tyto metody jsou docela invazivní, zatěžují účastníka a zároveň je nutné sledovat spánek jedince po delší časové období. Navíc zařízení umožňující tyto druhy měření mohou být docela drahá a pro účely tohoto experimentu nebyla dostupná. Proto bylo v případě měření spánku vybíráno mezi subjektivními metodami. Řadí se mezi ně spánkové deníky a retrospektivní průzkumy. Spánkové deníky jsou sice jednoduché, nákladově efektivní a často používané v letectví [1], nicméně mají i své nevýhody. Opět jsou vystavené subjektivitě



a případnému zaujetí účastníka, v kontextu tohoto experimentu se ale jako největší nevýhoda jevila zátěž na účastníka. Spánkový deník by totiž bylo zapotřebí vyplňovat po dobu několika dní, což by mohlo výrazně snížit ochotu k účasti v experimentu. Z tohoto důvodu se jako jediná vhodná metoda jeví retrospektivní průzkumy. Na platformě Google Forms tak byly vytvořeny celkem 4 dotazníky doplňující sadu testů. Snahou bylo navrhnout dotazníky takovým způsobem, aby byla minimalizována možnost chybného vyplnění. V naprosté většině otázek mohou účastníci pouze zvolit jednu z nabízených možností, nemusí nic vepisovat a zároveň jsou téměř všechny otázky povinné a není tak možné nějakou přeskočit a omylem na ní poté zapomenout apod. Několik málo otázek, které si vyžadují vepsat odpovědi účastníkem, mají omezený formát zadávání odpovědí, například délka trvání, čas nebo krátký text.

První z dotazníků, dotazník 1, je jediný, který lze vyplnit kdykoli (do doby skončení experimentu), není pevně vázaný na samotné testování. Takto odděleně byl vytvořen proto, aby si účastník mohl vyplňování časově rozložit. Pokud nemá den před provedením experimentu dostatek času, může tento dotazník vyplnit jindy. Zároveň díky tomu došlo k oddělení různých druhů informací. Dotazník 1 se totiž zabývá zejména obecnými informacemi. V prvních 2 sekcích účastník vyplňuje informace o svém zaměstnání či škole a o volném čase zejména v kontextu spánku, například zdali za poslední 2 roky pracoval/a ve směnném provozu, v kolik hodin obvykle začíná jeho/její pracovní či školní rozvrh nebo jestli za poslední 3 měsíce cestoval/a přes více než 3 časová pásma. Tato část byla vytvořena na základě Munich ChronoType Questionnaire (MCTQ) [34]. Následuje sekce, která se věnuje tématu chronotypu. Vyhodnocením této sekce lze získat informaci o tom, jestli je daný účastník ranní ptáče, noční sova nebo něco mezi tím. Tato část byla převzata z Morningness Eveningness Questionnaire [2]. Poslední sekce se věnuje stimulantům a jejich průměrnému týdenní užití. Mezi tyto stimulanty ovlivňující spánek patří mimo jiné cigarety, alkohol, káva nebo černý čaj. Otázky byly opět převzaty z MCTQ [34]. Vyplnit dotazník 1 by mělo zabrat přibližně 15 minut.

Dotazník 2 je vázán přímo na experiment a je zapotřebí vyplnit ho večer před experimentem. Obsahuje otázky týkající se například spánkových návyků účastníka za poslední měsíc nebo spánku v den před experimentem, proto není možné vyplňovat ho kdykoli. První sekce dotazníku 2 byla sestavena na základě Pittsburgh Sleep Quality Index, který zjišťuje právě spánkové návyky za poslední měsíc [35]. Dotazuje se například na to, kdy za poslední měsíc chodil subjekt testování obvykle spát, kdy se probouzel, jestli má nějaké problémy se spánkem,



zda bere nějaké léky na spaní apod. Následující sekci dotazníku tvoří Fatigue Severity Scale, tedy metoda, která hodnotí vliv únavy na jedince, a to za poslední týden [36]. Poslední část dotazníku 2 se věnuje spánku v den před experimentem, tedy jak dlouhý tento spánek byl nebo zdali se účastník v průběhu noci probudil. Dále jsou zde sbírány některé informace o průběhu dne: jestli si subjekt přes den zdříml, zda se lišil příjem stimulantů od běžné denní spotřeby nebo jestli byl vystaven neobvykle vyššímu stresu. Vyplnění dotazníku 2 by mělo trvat přibližně 10 minut.

Dotazník 3, nebo také ranní dotazník, je opět přímo vázán na experiment a měly by být vyplněny ráno po probuzení po proběhlém testování. Jedná se o krátký dotazník na přibližně 5 minut. Jsou zde otázky ohledně průběhu experimentu, v kolik hodin účastník vstával, jak by ohodnotil spánek apod.

Pro ty účastníky, kteří se účastnili experimentu dvě noci po sobě byl přichystán ještě dotazník 4. Jedná se o totožný dotazník jako je dotazník 2, ale jsou v něm vynechány sekce s Pittsburgh Sleep Quality Index a Fatigue Severity Scale, protože není nutné tyto informace vyplňovat podruhé. Spánkové návyky za poslední měsíc či únava za předcházející týden se za jednu noc nemohou tak výrazně změnit. Dotazník 4 tak obsahuje pouze otázky ohledně průběhu dne: zda si účastník během dne zdříml nebo jak se lišila jeho spotřeba stimulantů. Tito účastníci byli v instrukcích také vyzváni, aby ranní dotazník (dotazník 3) vyplnili ještě jednou i po druhé noci experimentu.

### **2.2.3 Harmonogram experimentu**

Pro správný průběh experimentu a získání validních dat bylo zapotřebí provést tento experiment dle určitého harmonogramu. Účastníci byli požádáni, aby alespoň den před experimentem nedělali nic neobvyklého, co by mohlo ovlivnit jejich únavu, tzn. pokud možno žádná extrémní fyzická aktivita, běžný přísun stimulantů, na který jsou zvyklí a podobně. Večer před experimentem byl všemi subjekty testování vyplněn dotazník 2 (většina z nich rovnou vyplnila také dotazník 1, který bylo možné vyplnit kdykoliv, jak je popsáno výše). Zároveň si na svůj vlastní počítač nainstalovali samotnou testovací aplikaci a ověřili její funkčnost. Následně šli spát v 0:00 a probudili se ve 3:00, což mělo simulovat nejkratší možnou přestávku na spánek, kterou mohou běžně mít řídicí letového provozu během svých nočních směn. Na základě konzultací s experty z oboru bylo zjištěno, že délka tohoto odpočinku jsou totiž minimálně 3 hodiny. Tato přestávka byla zároveň zvolena takovým způsobem, aby se účastníci vzbudili přibližně v čase nejvyššího cirkadiálního



útlumu, kdy je pravděpodobné, že spánková inercie bude mít vyšší vliv. Byla tak zkoumána teoreticky nejhorší možná situace pro spánkovou inercií: vzbuzení z pouze 3hodinového spánku (tedy s vysokou pravděpodobností toho, že se člověk již může nacházet v hlubokém spánku) a v době vysokého cirkadiánního útlumu.

Co nejrychleji po probuzení ve 3:00 účastníci spustili aplikaci a začali vyplňovat sadu testů. Jednotlivé testy šly po sobě v pořadí KSS, čtyřvýběrový PVT, test na krátkodobou paměť a SAT. Jedno spuštění trvalo přibližně 5 minut a celý experiment bylo zapotřebí opakovat každých 10 minut po dobu jedné hodiny. Poslední spuštění experimentu tak proběhlo vždy ve 3:50 a sada testů byla spuštěna celkem šestkrát. Následně mohli jít účastníci opět spát, a to na jakkoli dlouhou dobu, nebyli již nijak omezeni. Ráno po probuzení vyplnili Dotazník 3.

Protože řídicí letového provozu mohou mít pouze omezený počet nočních směn po sobě (obvykle jen 2), jak vyplynulo z konzultací s experty z oboru, je vhodné zkoumat spánkovou inercií i během simulované druhé noční směny. Tato druhá část experimentu byla ponechána zcela na dobrovolnosti účastníků a účastnilo se jí pouze několik z nich. Tato „druhá noční směna“ spočívala ve zopakování experimentu i následující noc, vyplnění dotazníku 4 a opětovném vyplnění ranního dotazníku 3. Stručný harmonogram celého experimentu pro 1 i 2 noci je znázorněn v tabulce 2.1.

Ti, kdo souhlasili s účastí na experimentu obdrželi elektronicky soubor s veškerými podklady potřebnými pro správné provedení experimentu. Kromě samotného instalačního balíčku aplikace se sadou testů se jednalo také o soubor s názvem Instrukce k experimentu. Tento soubor poskytoval jakýsi návod k experimentu: obsahoval stručné informace o důvodu provádění experimentu, popisy dotazníků společně s odkazy na ně, informace k instalaci aplikace, harmonogram experimentu popsany slovně i v podobě tabulky (stejně jako je tabulka 2.1) a kontakt na autorku pro odeslání výsledků a případné otázky. Posledním souborem byl Souhlas se zpracováním osobních údajů účastníka projektu, kterým účastníci udělili souhlas ČVUT se zpracováním svých osobních údajů za účelem sběru, zpracování a vyhodnocení dat v rámci této diplomové práce a dále za účelem evidence a archivace těchto dat. Bez tohoto souhlasu by nebylo možné posbíraná data použít. Souhlas podepsali všichni účastníci experimentu.

Experiment bylo možné provést v období od přibližně poloviny ledna 2024, kdy začali být oslovováni první potenciální účastníci experimentu, až do 14. dubna 2024. Původním termínem byl konec února 2024, nicméně kvůli malému počtu účastníků musel být prodloužen. Zároveň



Tabulka 2.1: Harmonogram experimentu; řádky šedou barvou jsou pouze pro ty, kteří test prováděli dvě noci po sobě

kdykoli	Dotazník 1
večer před experimentem	Dotazník 2 Zkouška aplikace
0:00–3:00	Spánek
3:00	Sada testů (spuštění celkem 6x)
3:10	
3:20	
3:30	
3:40	
3:50	
4:00–libovolně	Spánek
ráno po experimentu	Dotazník 3 Odeslání výsledků Odeslání Souhlasu
večer před experimentem	Dotazník 4
0:00–3:00	Spánek
3:00	Sada testů (spuštění celkem 6x)
3:10	
3:20	
3:30	
3:40	
3:50	
4:00–libovolně	Spánek
ráno po experimentu	Dotazník 3 Odeslání výsledků

se ukázalo jako vhodné dát účastníkům opravdu dostatek času na naplánování provedení experimentu kvůli narušení jejich spánkového režimu a celkové časové náročnosti experimentu. Dobrovolníci si potřebovali naplánovat experiment na pro ně ideální dobu, tedy například o víkendu, kdy druhý den nemuseli do práce apod.





## 2.3 Analýza dat

Data získaná od účastníků experimentu byla zpracována v programu Matlab. Nejprve bylo provedeno předzpracování dat. Dále proběhlo zpracování dat, tedy zjištění, zda data pochází z normálního rozdělení nebo ne a následně provedení odpovídajících statistických testů. Nakonec následovala post-hoc analýza, která umožnila zjistit rozdíly mezi skupinami výběrů. Výsledky analýzy dat se nachází v kapitole 3.

### 2.3.1 Předzpracování dat

Jak je psáno výše, výsledky testů se ukládaly do souborů s příponou .xlsx, a to výsledky každého jednotlivého testu do zvláštního souboru. Po dokončení celé sady testů bylo účastníky zasláno celkem 24 takových souborů (v případě testování 2 noci po sobě to bylo 48). Proto bylo zapotřebí si před samotnou analýzou data seskupit a uspořádat do podoby použitelné pro další zpracování. I přesto, že program byl před distribucí testován a data z něj neobsahovala žádné chyby, nesmyslné hodnoty ani nebyla ve špatném formátu, bylo toto raději znovu zkontrolováno i u výsledných dat.

Předzpracování dat také zahrnovalo otestování hypotézy, že data pochází z normálního rozdělení. K tomuto účelu byl pro data z každého testu jednotlivě použit Jarque-Bera test. Pro většinu dat byla tato hypotéza zamítnuta, tedy většina dat nepochází z normálního rozdělení.

Aby byla některá data použitelná v následujících statistických testech, musela být před samotným zpracováním ještě upravena. Toto se týká výsledků z testů PVT a SAT, kde bylo zapotřebí provést korekci správnosti. Reakční dobu a správnost reakce je nutné zkombinovat a hodnotit společně. Pokud je například účastník opatrnější, bude mít pravděpodobně méně chyb na úkor zvýšené průměrné reakční doby. Korekce správnosti tak byla provedena tím způsobem, že průměrná reakční doba účastníka v daný čas byla podělena procentuální správností jeho odpovědí v tento čas [37]. Zároveň kvůli funkčnosti aplikace se sadou testů popsané výše byl u SAT ještě před provedením korekce správnosti odstraněn první vypočítaný příklad. Tím pádem tak bylo dále počítáno s výsledky z 25 příkladů.

### 2.3.2 Zpracování dat

Experimentem (respektive provedením sady testů) byla získána následující data: subjektivní hodnocení ospalosti v jednotlivých časech měření pomocí KSS, reakční doba a správnost



odpovědí PVT a SAT a správnost zapamatovaných čísel v testu krátkodobé paměti. Pro zpracování veškerých dat byl použit test RANOVA (repeated measures analysis of variance, analýza rozptylu pro opakovaná měření), i přestože většina dat nepocházela z normálního rozdělení. Důvodem byl fakt, že RANOVA se nejlépe hodí v případech, kdy jsou ta samá měření několikrát opakována v různých časech a zároveň je sledováno více faktorů. V případě RANOVA je p–hodnota přesná v případě, kdy data pochází z normálního rozdělení. RANOVA však poskytuje také 3 další p–hodnoty, přičemž každá z nich je opravena pomocí jiného korekčního faktoru [38]. Aby mohla být RANOVA spolehlivě použita i pro data, která nepochází z normálního rozdělení, za rozhodující byla považována „nejpřísnější“ p–hodnota, s tzv. lower bound adjustment. Ve všech případech, kdy je tedy dále v této práci zmiňována p–hodnota v souvislosti s testem RANOVA, se tak jedná o tuto opravenou p–hodnotu, pokud není výslovně psáno jinak. Hladina významnosti ve všech testech je 5 %.

Kromě zjišťování signifikantních rozdílů mezi výkonnostmi v jednotlivých časech (měřeních) pomocí testu RANOVA byl tento test dále použit pro zjištění vlivu několika různých faktorů během první noci experimentu (N1). Konkrétně bylo zjišťováno, zda neměl na výsledky vliv chronotyp, pohlaví, noční směna v posledních dvou letech před experimentem či věk. Jedná se pouze o doplňková data, která pro tuto práci nejsou klíčová. Pro účely porovnání věku byli účastníci rozděleni do několika skupin podle věku, viz tabulku 2.2.

Tabulka 2.2: Rozdělení účastníků do skupin dle věku

Označení skupiny	Věkový interval	Počet účastníků ve skupině
1	$\leq 19$	3
2	(20;25)	7
3	(25;30)	2
4	(30;35)	0
5	(35;40)	2
6	(40;45)	0
7	(45;50)	3
8	$\geq 50$	2

První a zároveň druhé noci experimentu se účastnil velmi nízký počet účastníků, konkrétně 5. Vzhledem k tomu, že účastníci v této skupině si jsou ve spoustě faktorů velmi podobní, a zároveň



je jich velmi malý počet, nebyly zkoumány všechny faktory jako v N1. Pro druhou noc experimentu (N2) tak byly porovnávány pouze výkonnosti v jednotlivých časech mezi sebou a také rozdíly mezi N1 a N2. Faktor věku porovnáván nebyl, protože tato skupina obsahovala účastníky pouze ze dvou věkových skupin (byli zde pouze účastníci ve věku 23–27 let). Co se týče chronotypu, 4 z těchto subjektů nejsou ani ranní ptáče, ani noční sova a pouze 1 z nich je spíše noční sova, tedy chronotyp je pro všechny z nich téměř stejný, nebo přinejmenším velmi podobný, proto rozdíly mezi chronotypy nebyly porovnávány. Noční směnu za poslední 2 roky měl pouze 1 z účastníků, proto rovněž nemělo smysl toto testovat. Největší smysl by dávalo porovnat pohlaví mezi sebou (jednalo se o 2 ženy a 3 muže). Nicméně porovnání takto nízkého počtu účastníků by s velkou pravděpodobností nepřineslo validní výsledky, proto nebyla testována ani pohlaví.

### 2.3.3 Post-hoc analýza

Finálním krokem zpracování dat byla post-hoc analýza, tedy multiple comparison test. Obvykle se takovéto srovnávací analýzy provádí v případech, kdy předchozí statistický test prokáže významné rozdíly mezi nějakými skupinami. Post-hoc analýza určí, mezi kterými z nich. A tak tomu bylo i v případě této práce: post-hoc analýza byla provedena ve všech případech, kdy p–hodnota RANOVA vyšla  $p < 0,05$ .

## 2.4 Validace výsledků v kontextu řízení letového provozu

Poslední částí této diplomové práce je validace výsledků provedeného experimentu v kontextu řízení letového provozu. Pro účely tohoto úkolu bylo díky konzultacím s experty z oboru získáno množství informací ohledně (zejména nočních) směn řídicích letového provozu. Posledním nezbytným neznámým prvkem pro tuto validaci tak zůstal provoz. Je důležité zjistit, jaká je pracovní zátěž řídicího během jeho noční směny, a to je možné provést právě na základě analýzy provozu. Pokud bude totiž provoz nízký, řídicí bude mít méně úkolů na práci, práce bude jednotvárná a monotónní, a to může vést k únavě. Opakem je přetížení a vysoce stresové situace, které ale jedince taktéž vysoce vyčerpávají. Jak je vidět, i při optimálně nastaveném rozdělovníku směn může dobře odpočinutý řídicí brzy pociťovat únavu v důsledku síly provozu. Proto je tak důležité do validace zahrnout i provoz.



V současné době lze pracovní zátěž řídicích hodnotit několika různými způsoby. Bylo tak zapotřebí zvolit vhodný způsob v závislosti na získaných datech. Pro účely této validace byla získána následující data: údaje o pohybech ve FIR (Flight Information Region, letová informační oblast) Praha v době 1:00–2:00 UTC (Coordinated Universal Time, koordinovaný světový čas) ve dnech 5.–11. 5. 2024 získaná z Flightradar24, a na doplnění také nahrávka části komunikace na frekvenci FIR Praha v čase mezi 22:34–23:52 UTC dne 6. 5. 2024. Jak již bylo zmíněno, všechna získaná data jsou za celý FIR Praha; nebylo totiž možné získat informace o počtu aktivních sektorů či jejich aktuálním rozvržení.

Ohodnocení jednotlivých úkolů (tasks) proběhlo na základě několika studií. Základem byl článek Welch et al., kteří v něm rozdělili činnosti řídicích do několika skupin [10]. Podrobně rozepsané úkoly a jejich délky trvání byly čerpány ze studie Gerdes et al. [12]. Bohužel se zde nachází pouze krátká ukázka těchto hodnot a ne jejich kompletní výčet (ten obsahuje celkem 55 možných tasks a 129 subtasks). Ve validaci výsledků v této diplomové práci jsou tím pádem použity dostupné podrobnější hodnoty ze studie Gerdes et al. [12] a tam, kde jsou potřeba údaje pro úkoly, které v ukázce v této studii nejsou, byly doplněny obecnější hodnoty ze studie Zohrevandi et al. [11]. Úkoly identifikované v získaných datech a k nim přiřazené výsledné délky trvání jsou uvedeny v tabulce 2.3.

Tabulka 2.3: Identifikované úkoly (tasks) řídicího a čas potřebný na jejich vykonání [11, 12]

Úkol (task)	Doba pro vykonání úkolu (s)
Vstup do sektoru	15
Výstup ze sektoru	10
Průběžné monitorování	5 (každých 120 s)
Přistání/vzlet	10
Ostatní koordinace	10

Na základě hodnot uvedených v tabulce 2.3 a získaných dat bylo možné určit, jaký byl taskload řídicích. Z toho bylo dále možné zjistit celkovou pracovní zátěž řídicích za sledovanou dobu ve FIR Praha. Tento poslední přepočítání závisel na počtu minut z jedné hodiny, který řídicí strávil vykonáváním úkolů, respektive na procentuálním zatížení řídicího [39]. Hodnoty pro určení pracovní zátěže zobrazuje tabulka 2.4.



Tabulka 2.4: Hraniční hodnoty pracovní zátěže řídicích letového provozu, do českého jazyka přeloženo autorem ze zdroje [39]

Hranice	Interpretace	Zaznamenaná pracovní zátěž za 1 h
70 % a více	Přetížení	42 minut
54 %–69 %	Vysoké zatížení	32–41 minut
30 %–53 %	Střední zatížení	18–31 minut
18 %–29 %	Nízké zatížení	11–17 minut
0 %–17 %	Velmi nízké zatížení	0–10 minut

Nakonec byla analyzována nahrávka komunikace na frekvenci FIR Praha. Nahrávka sloužila jako doplnění informací o provozu; díky ní bylo možné konkrétněji určit, jaké úkony vykonává řídicí v souvislosti s jednotlivými pohyby v jeho geografické odpovědnosti.



### 3 Prezentace výsledků

V této kapitole jsou prezentovány dosažené výsledky po zpracování veškerých dat, jak bylo popsáno v kapitole 2. Jedná se o výsledky z dotazníků, jednotlivých nocí experimentu a validace.

#### 3.1 Výsledky obecných dotazníků

Díky dotazníkům bylo o účastnících zjištěno velké množství informací. Pomocí dotazníku 1 byly o účastnících zjištěny obecné informace, které mohou ovlivňovat spánek či experiment, viz tabulku 3.1. Dále bylo zjištěno, že v posledních 2 letech 5 z účastníků mělo noční směnu, z toho 4 pracovali ve směnném provozu. Do práce se 16 účastníků dopravuje vozidlem (auto, autobus, metro...), 2 účastníci jinak než vozidlem (pěšky, na kole...) a 1 pracuje z domova. Celkem 4 účastníci popsali svůj pracovní/školní rozvrh jako velmi flexibilní, 7 jako docela flexibilní, 4 jako trochu flexibilní a 4 ho nepovažují za flexibilní. Pouze 1 z účastníků za poslední 3 měsíce před experimentem cestoval přes více než 3 časová pásma.

Tabulka 3.1: Obecné informace o účastnících zjištěné pomocí dotazníku 1

Otázky z dotazníku 1	Průměr	Směrodatná odchylka	Rozsah
Začátek pracovního/školního rozvrhu	7:54	1 h 14 min	5:00–9:45
Konec pracovního/školního rozvrhu	15:55	3 h 59 min	7:00–22:30
Čas na dopravu do/z práce/školy	29 min	17 min	5 min–1 h
Čas strávený venku, pracovní dny	1 h 39 min	1 h 08 min	0,5–4 h
Čas strávený venku, dny volna	2 h 49 min	1 h 44 min	0,5–7 h
Chronotyp	49,32	10,34	34–70
Počet cigaret týdně	0,26	1,12	0–5
Počet sklenic piva týdně	1,37	4,43	0–20
Počet sklenic vína týdně	0,44	0,14	0–3
Počet sklenic tvrdého alkoholu týdně	0,58	1,14	0–4
Počet šálků kávy týdně	4,89	6,77	0–21
Počet hrnků černého čaje týdně	1,53	2,74	0–10
Počet litrů jiných nápojů obsahujících kofein	0,45	0,79	0–3

Tabulka 3.1 dále zobrazuje výsledky testu na chronotyp. V tomto testu bylo možné z 19 otázek získat v rozmezí od 16 do 86 bodů. Rozřazení na jednotlivé typy je po vyhodnocení následující:



rozhodně noční sova (16–30 bodů), spíše noční sova než ranní ptáče (31–41 bodů), ani jeden typ (42–58 bodů), spíše ranní ptáče než noční sova (59–69 bodů) a rozhodně ranní ptáče (70–86 bodů) [2]. Celkem 10 účastníků bylo přesně na pomezí a nedalo se určit, který chronotyp přesně jsou. 4 účastníci byli na základě testu zařazeni do skupiny spíše noční sova než ranní ptáče, další 4 jsou spíše ranní ptáče než noční sova a pouze 1 z účastníků experimentu je rozhodně ranní ptáče.

Dalším dotazníkem byly zjišťovány spánkové návyky účastníků za měsíc předcházející experimentu. Kromě informací uvedených v tabulce 3.2 bylo také zjištěno, že žádný z účastníků za poslední měsíc nepoužil léky na spaní (ani na předpis, ani volně dostupné). V tabulce 3.2 je dále možné nalézt vyhodnocení The Pittsburgh Sleep Quality Index. Tato část dotazníku obsahuje celkem 19 subjektivně hodnocených otázek. Otázky jsou při vyhodnocení seskupeny do 7 tzv. komponent, jejichž bodové hodnocení se následně sečte v jedno globální skóre. Těmito komponentami jsou subjektivní kvalita spánku, latence spánku, délka spánku, obvyklá účinnost spánku, narušení spánku, používání léků na spaní a denní dysfunkce [35]. Globální skóre může nabývat hodnot od 0 do 21, kdy 0 značí žádné potíže a 21 indikuje vážné problémy ve všech oblastech (komponentách) [35]. Všichni účastníci experimentu měli nízké bodové ohodnocení jak ve všech jednotlivých komponentách, tak i v celkovém součtu. Dalo by se tedy říci, že kvalita spánku všech účastníků je docela dobrá.

Poslední částí tabulky 3.2 je vyhodnocení Fatigue Severity Scale, tedy vlivu únavy za týden předcházející experimentu. Fatigue Severity Scale se skládá z 9 tvrzení, které účastník hodnotí od 1 do 7 bodů podle toho, jak s nimi souhlasí nebo ne. Je tedy možné získat 9–63 bodů a čím více bodů účastník má, tím vážnější únavou může trpět [36]. Nicméně i v případě vysokého počtu bodů se nejedná o lékařskou diagnózu, tato stupnice je pouze informativní, může být velmi ovlivněna subjektivitou. Z celkového počtu 19 účastníků mělo 6 z nich více než 36 bodů (tedy více než polovinu), je tedy možné, že na tyto účastníky může někdy působit vyšší únava.

Jako poslední byly zjišťovány informace o průběhu dne před experimentem v kontextu spánku a únavy, viz tabulku 3.3. Hodnoty jako čas usnutí nebo probuzení jsou pouze subjektivním odhadem, tyto hodnoty nebyly objektivně měřeny. Kromě hodnot v tabulce 3.3 bylo dále dotazníkem 2 zjištěno, že 6 účastníků se během noci před experimentem jednou probudilo, 3 účastníci se probudili dvakrát či vícekrát, ostatní (10) ani jednou. 2 účastníci si zdírnili během dne, a to jeden z nich na dobu 2 hodiny a druhý na 10 minut. Spotřeba stimulantů se u většiny





Tabulka 3.2: Informace o spánkových návycích účastníků během měsíce před experimentem zjištěné pomocí dotazníku 2

Otázky z dotazníku 2	Průměr	Směrodatná odchylka	Rozsah
Čas, ve který chodili spát	23:07	1 h 08 min	21:30–2:00
Doba, kterou potřebovali na usnutí	14 min	12 min	0–45 min
Čas, ve který vstávali	6:52	1 h 22 min	4:45–10:10
Doba skutečného spánku za noc	7 h 4 min	1 h 20 min	3,5–8,5 h
The Pittsburgh Sleep Quality Index	4,21	1,47	2–10
Fatigue Severity Scale	29,63	12,12	14–54

účastníků nelišila oproti obvyklé denní spotřebě kromě následujících: 1 z účastníků měl vyšší spotřebu cigaret než obvykle, 2 účastníci měli vyšší spotřebu piva než obvykle, 1 účastník měl méně tvrdého alkoholu a 2 účastníci méně kávy. Dále 2 z účastníků uvedli, že byli během dne vystaveni vyšší fyzické zátěži, než je pro ně běžné a 2 účastníci byli ten den vystaveni vyššímu stresu, než je pro ně běžné.

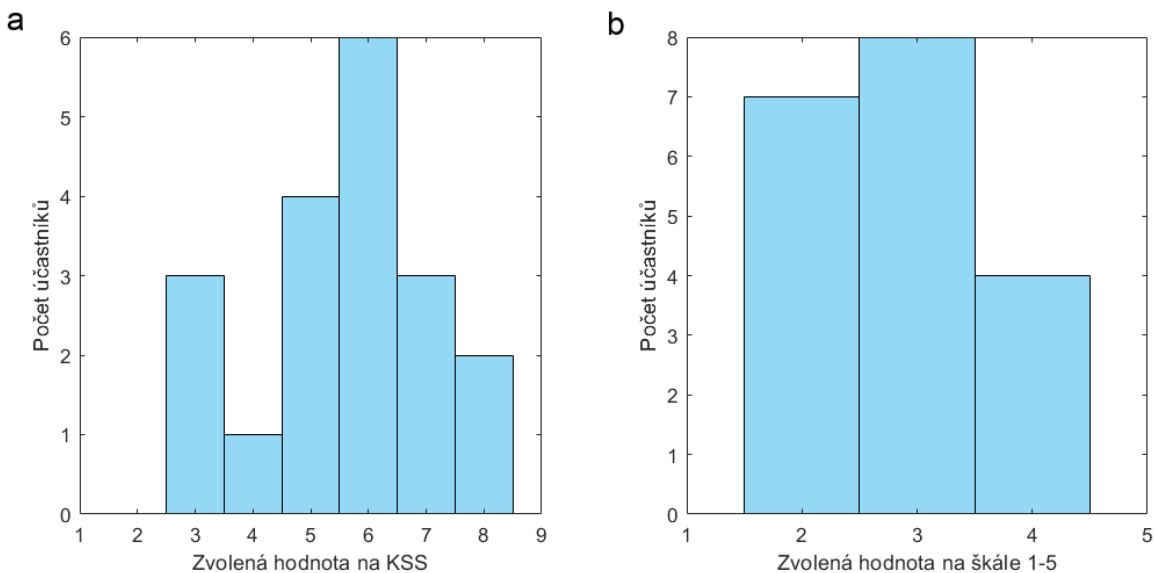
Tabulka 3.3: Informace o spánku a únavě účastníků během dne před provedením experimentu zjištěné pomocí dotazníku 2

Otázky z dotazníku 2	Průměr	Směrodatná odchylka	Rozsah
Čas, ve který šli spát den před experimentem	23:26	1 h 24 min	21:45–2:30
Čas, ve který přibližně usnuli	23:38	1 h 29 min	21:55–2:45
Čas probuzení	7:28	2 h 20 min	1:00–11:00
Hodnocení spánku, škála 1-5 (1 = nejlepší)	2,00	0,79	1–4
Podrážděnost, škála 1-5 (1 = žádné podráždění)	1,79	1,10	1–5

### 3.2 První noc

První noci experimentu se účastnilo všech 19 subjektů testování. U jednoho z účastníků se během experimentu vyskytl technický problém: selhal počítač a nebylo možné na něm experiment provést. Kvůli těmto technickým komplikacím došlo k posunutí testů tohoto účastníka přibližně o 5 minut oproti ostatním subjektům. Nicméně toto zpoždění je zanedbatelné a výsledky mohly být použity v analýze dat.

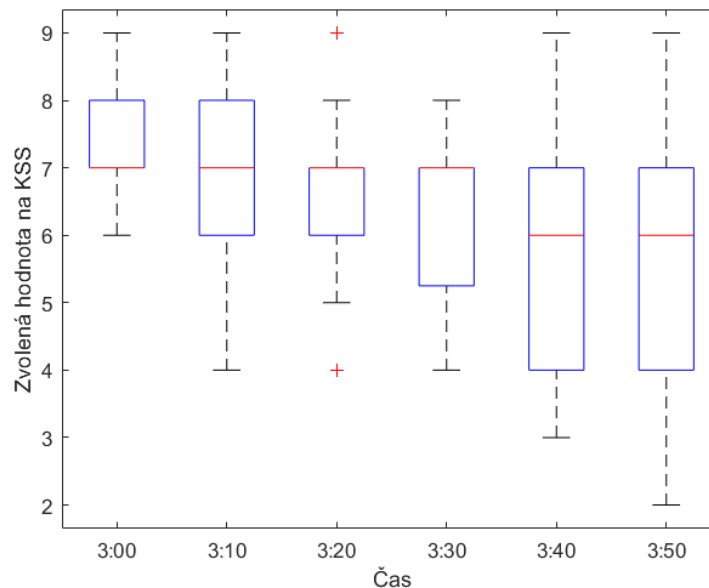
Základní informace o průběhu experimentu byly zjištěny dotazníkem 3. Všem subjektům se před experimentem, tedy v době mezi 0:00 a 3:00, podařilo usnout. Po provedení sady testů se subjektům podařilo usnout v průměru za  $32 \pm 25$  min (rozsah od 7 min do 1 h 45 min). Kromě probuzení kvůli experimentu se 4 účastníci někdy v průběhu noci jedenkrát probudili, 4 účastníci se probudili dvakrát či vícekrát, ostatní (11) se neprobudili. Ráno se účastníci probudili průměrně v  $8:52 \pm 1$  h 34 min (rozsah 5:20–12:00), 4 z nich ráno vstávali na budík a zbylých 15 vstávalo v libovolnou dobu. Součástí dotazníku 3 byla také KSS, respektive subjektivní hodnocení toho, jak se účastníci cítili v první půlhodině po probuzení. Průměrně zvolili  $5,58 \pm 1,50$  (rozsah 3–8). Na škále 1–5, kdy 1 je nejlepší a 5 nejhorší, nakonec hodnotili spánek v tuto noc, a to průměrně hodnotou  $2,92 \pm 0,76$  (rozsah 2–4), viz obrázek 3.1.



Obrázek 3.1: Histogramy výsledků ranního dotazníku vyplněného všemi účastníky. (a) Zvolená hodnota na Karolinska Sleepiness Scale (KSS) v první půlhodině po probuzení ráno po noci experimentu. (b) Hodnocení kvality spánku účastníky ráno po noci experimentu na škále 1–5, kde 1 znamená nejlepší, 5 znamená nejhorší.

### 3.2.1 Vyhodnocení Karolinska Sleepiness Scale

Data získaná z experimentu z KSS pochází z normálního rozdělení. Pro jejich základní vizualizaci ve formě boxplotů viz obrázek 3.2.



Obrázek 3.2: Výsledky Karolinska Sleepiness Scale v jednotlivých časech experimentu; všichni účastníci.

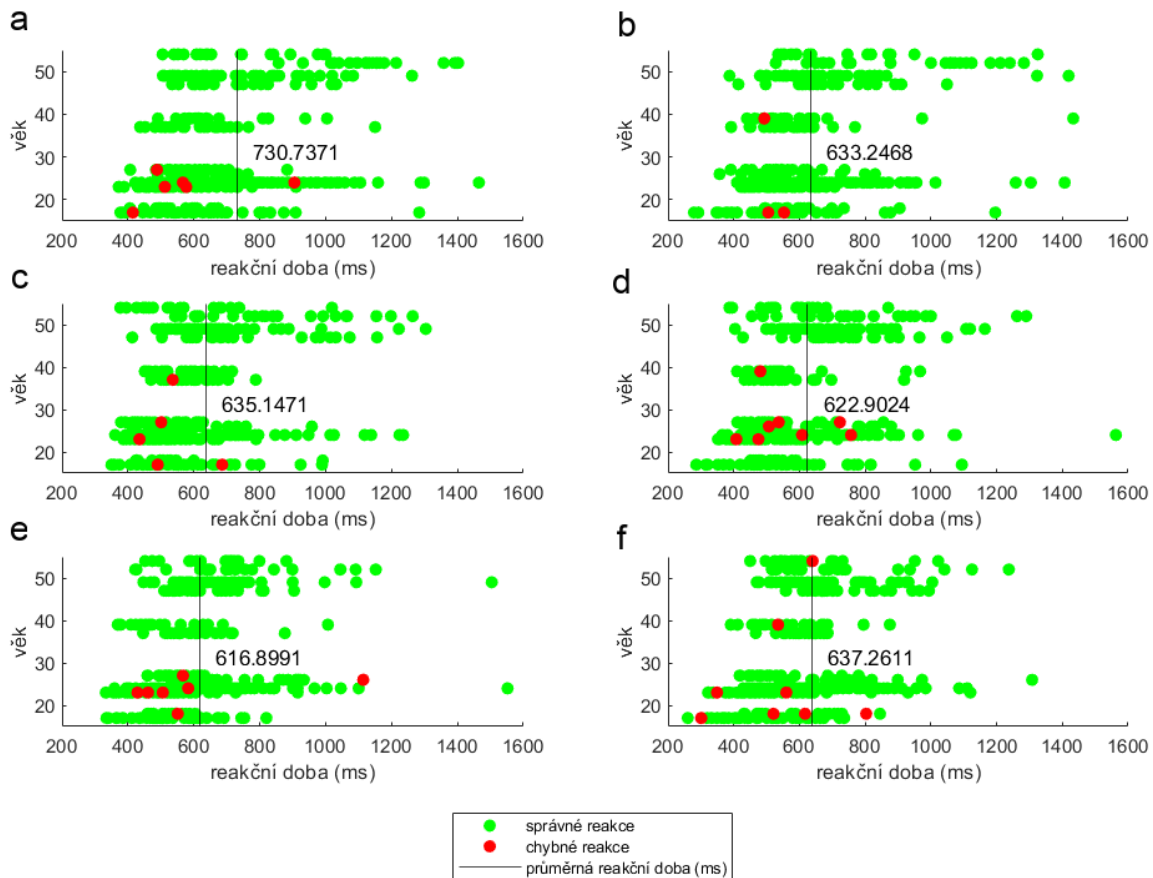
Jako první bylo s použitím RANOVA porováno, jestli se vyskytují nějaké rozdíly mezi výkonnostmi v jednotlivých časech, přičemž p-hodnota rovnající se 0,0444 potvrdila výskyt statistických rozdílů. Následná post-hoc analýza ukázala, že rozdíly se vyskytují mezi těmito časy: 3:00 a 3:20 ( $p = 0,0122$ ; CI = (0,1807;1,8193)), 3:00 a 3:30 ( $p = 0,0047$ ; CI = (0,3250;2,0961)), 3:00 a 3:40 ( $p = 0,0117$ ; CI = (0,3108;3,0576)), 3:00 a 3:50 ( $p = 0,0124$ ; CI = (0,3292;3,3550)).

Následně proběhlo testování se započítáním různorodých faktorů. Prvním z nich byl věk. Data byla rozdělena podle věku účastníků, nicméně mezi těmito věkovými skupinami nebyl nalezen signifikantní rozdíl ( $p = 0,3453$ ). Dále byli účastníci seskupeni podle chronotypu ( $p = 0,7114$ ), opět žádný rozdíl. Následovalo porovnání účastníků, kteří za poslední 2 roky měli noční směnu a těch, kteří ji neměli ( $p = 0,6054$ ) a porovnání pohlaví ( $p = 0,4784$ ).

### 3.2.2 Vyhodnocení testu reakční doby

Před samotným vyhodnocením výsledků 4výběrového PVT byla data nejprve vizualizována, a to ještě před korekcí správnosti. Tato vizualizace se nachází na obrázku 3.3. Obrázek zobrazuje výsledky pro každý čas provedení experimentu jednotlivě a barevně jsou v něm rozlišeny správné

a chybné reakce. Data PVT obsahovala odlehlá pozorování, která dosahovala hodnot až kolem 8 000 ms, nicméně pro lepší přehlednost obrázku jsou zobrazeny pouze reakce do doby maximálně 1 600 ms a odlehlé hodnoty zobrazeny nejsou.



Obrázek 3.3: Vizualizace výsledků 4výběrového testu reakční doby bez odlehlých pozorování pro všechny účastníky před provedením korekce správnosti, a to v časech (a) 3:00, (b) 3:10, (c) 3:20, (d) 3:30, (e) 3:40, (f) 3:50.

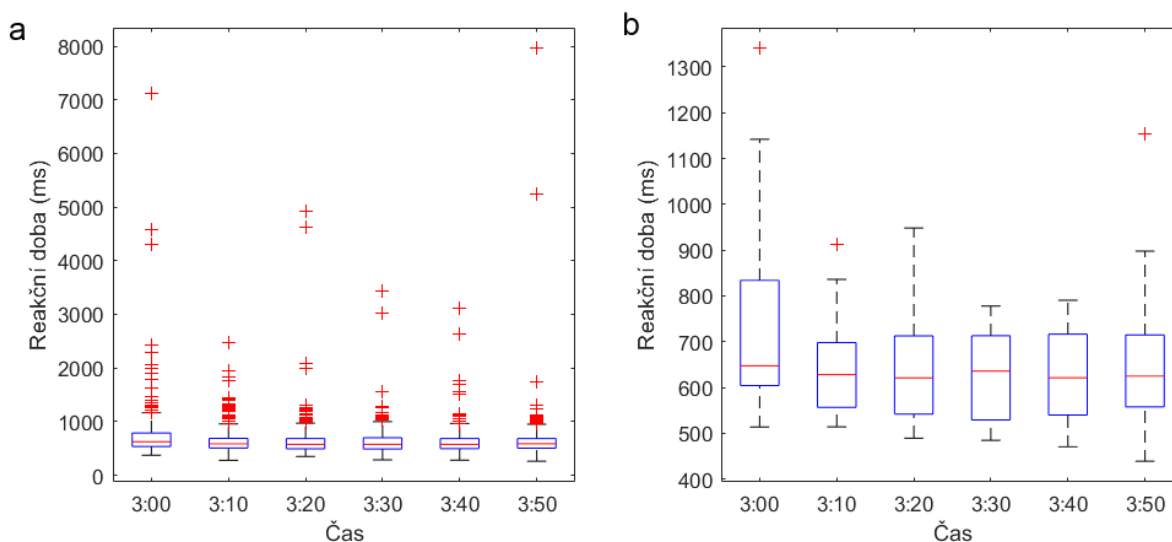
Chybovost byla v tomto testu docela nízká, jak lze vidět v tabulce 3.4. Vzhledem k faktu, že PVT trval fixní dobu (a to 90 s) a doba mezi jednotlivými stimuly byla náhodně dlouhá, každý z účastníků měl v každém čase jiný počet výsledků. Toto je tedy důvodem, proč může být procentuální správnost například ve dvou časech různá, i když počet chyb je v oba tyto časy totožný.

Následně byla provedena korekce správnosti, díky které byly průměrné hodnoty reakcí každého účastníka v každém jednotlivém čase opraveny na základě jeho či její chybovosti. Tímto způsobem

Tabulka 3.4: Chyby a procentuální správnost odpovědí všech účastníků ve 4výběrovém testu reakční doby

	3:00	3:10	3:20	3:30	3:40	3:50	Celkem
Počet chyb	6	3	5	8	7	8	37
Správnost odpovědí (%)	98,6517	99,3506	98,8688	98,2262	98,4649	98,2301	98,6337

– díky následné práci pouze s opravenými průměrnými hodnotami – se podstatně snížil počet odlehlých pozorování, jak lze vidět na obrázku 3.4.



Obrázek 3.4: Výsledky 4výběrového testu reakční doby v jednotlivých časech experimentu (a) před provedením korekce správnosti, (b) po provedení korekce správnosti.

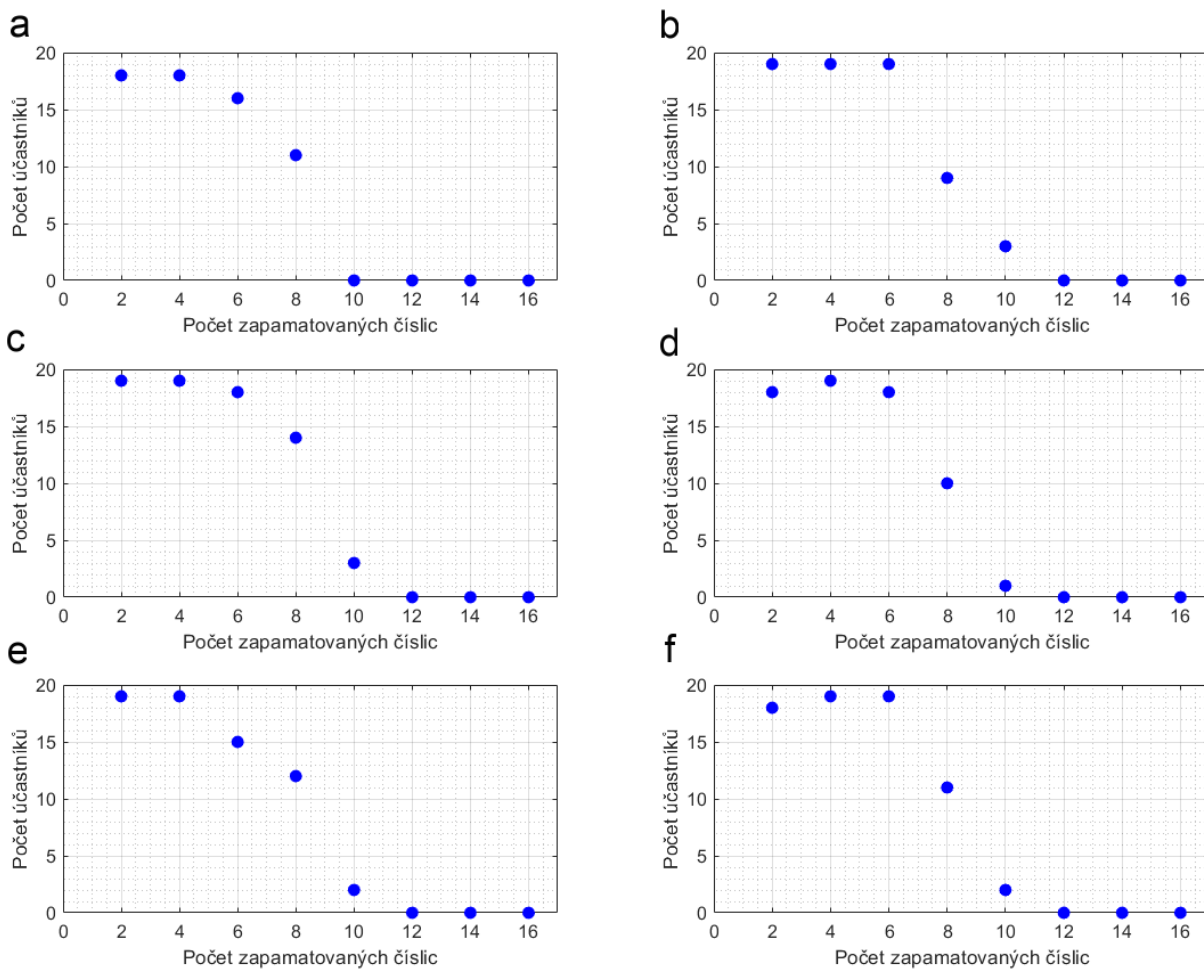
Data opravená o správnost byla testována na normalitu; nulová hypotéza, která předpokládala normální rozdělení, byla zamítnuta. Dále byly testovány obdobné hypotézy jako u KSS. První a nejvýznamnější test se týkal rozdílů mezi výkonnostmi v jednotlivých časech, přičemž  $p$ -hodnota vyšla 0,0749, což neprokazuje žádné signifikantní rozdíly.

Jako poslední byl opět testován vliv různých faktorů. Testem RANOVA bylo zjištěno, že v případě 4výběrového PVT věk nehrál roli ( $p = 0,0806$ ). Obdobné výsledky přinesl i faktor chronotyp ( $p = 0,1650$ ), noční směny ( $p = 0,4033$ ) a pohlaví ( $p = 0,8039$ ).



### 3.2.3 Vyhodnocení testu krátkodobé paměti

Během testu krátkodobé paměti si účastníci měli zapamatovat až 8 čísel s narůstající délkou od 2 do 16 číslic. Počet úspěšně zapamatovaných a zapsaných číslic v jednotlivých časech zobrazuje obrázek 3.5. Jak lze vidět na tomto obrázku, ne každý ze všech 19 účastníků si v každý čas zapamatoval 2 číslice, zároveň maximální zapamatovaný počet číslic byl 10. Poslední 3 čísla o délce 12, 14 a 16 číslic si nezapamatoval nikdo. Průměrný počet zapamatovaných číslic za všechny účastníky je v tabulce 3.5.

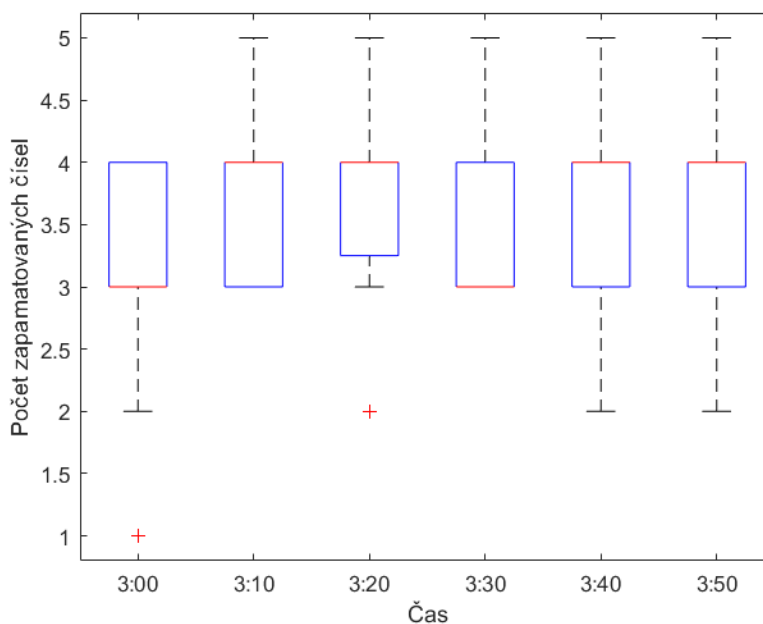


Obrázek 3.5: Výsledky testu krátkodobé paměti všech 19 účastníků v jednotlivých časech experimentu: (a) 3:00, (b) 3:10, (c) 3:20, (d) 3:30, (e) 3:40, (f) 3:50

Tabulka 3.5: Průměrný počet zapamatovaných číslic za všechny účastníky v jednotlivých časech experimentu. V každý čas experimentu měl každý z 19 účastníků možnost zapamatovat si 0–8 čísel o narůstající délce 2–16 číslic.

	3:00	3:10	3:20	3:30	3:40	3:50
Průměrný počet zapamatovaných číslic	4,6349	4,7826	4,9863	4,6970	4,7761	4,8406

Data byla v následně provedených statistických testech používána v takovém formátu, kde byl pro každého účastníka v každém čase spočítán počet celých čísel (nikoliv číslic), která si zapamatovali, tzn. 0–8 čísel. Na základě těchto dat byly také sestaveny boxploty, viz obrázek 3.6.

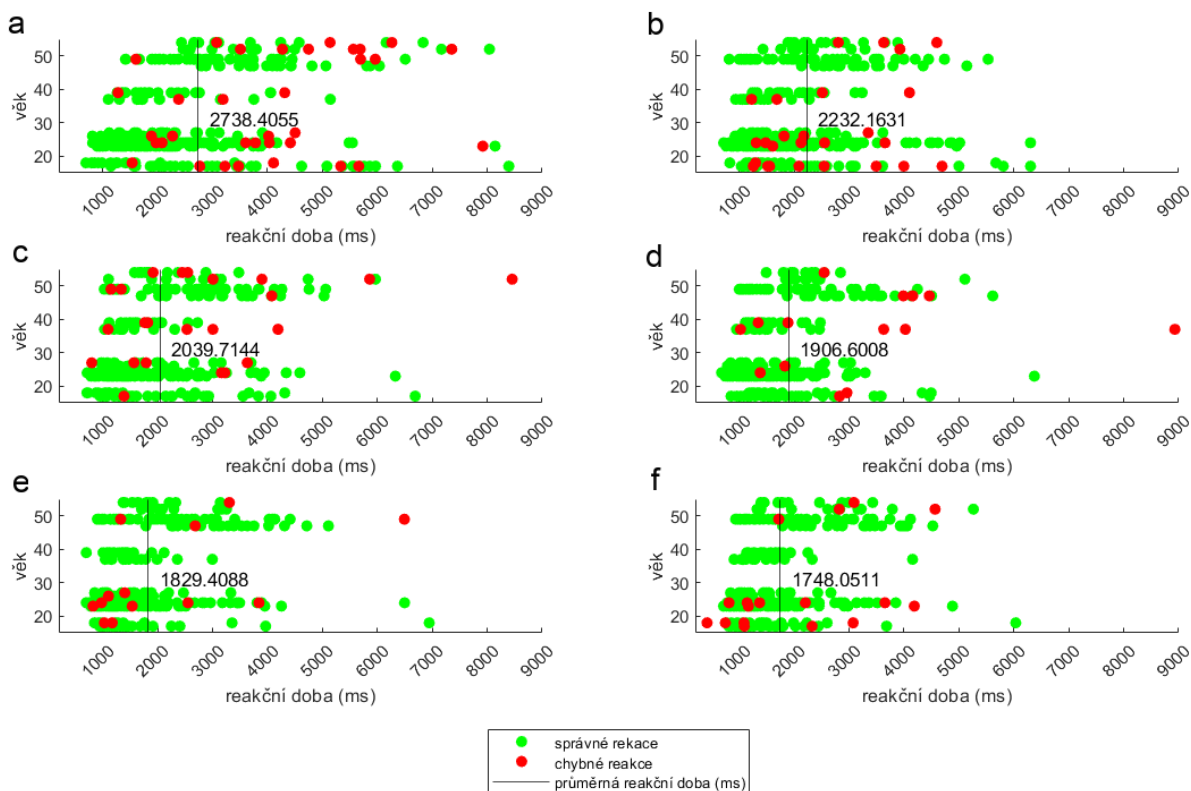


Obrázek 3.6: Výsledky testu krátkodobé paměti všech účastníků v jednotlivých časech experimentu ve formě boxplotů; rozsah počtu zapamatovaných čísel je 0–8 (o délce 2–16 číslic)

Bylo zjištěno, že data nepochází z normálního rozdělení. Při porovnání výkonnosti v jednotlivých časech mezi sebou nebyl nalezen signifikantní rozdíl ( $p = 0,2578$ ). Totéž nastalo také při porovnání věkových skupin ( $p = 0,4946$ ), chronotypu ( $p = 0,4319$ ), nočních směn ( $p = 0,4006$ ) a pohlaví ( $p = 0,3963$ ).

### 3.2.4 Vyhodnocení Serial Arithmetic Task

Posledním ze čtyř testů experimentu byl SAT. I zde, stejně jako u PVT, byla data nejprve vizualizována, viz obrázek 3.7. Také zde se nacházelo větší množství odlehklých pozorování, a to až k hodnotě blízko 12 000 ms. Z důvodu lepší přehlednosti jsou na obrázku zobrazeny hodnoty maximálně do 9 000 ms bez odlehklých pozorování.



Obrázek 3.7: Vizualizace výsledků Serial Arithmetic Task bez odlehklých pozorování pro všechny účastníky před provedením korekce správnosti, a to v časech (a) 3:00, (b) 3:10, (c) 3:20, (d) 3:30, (e) 3:40, (f) 3:50.

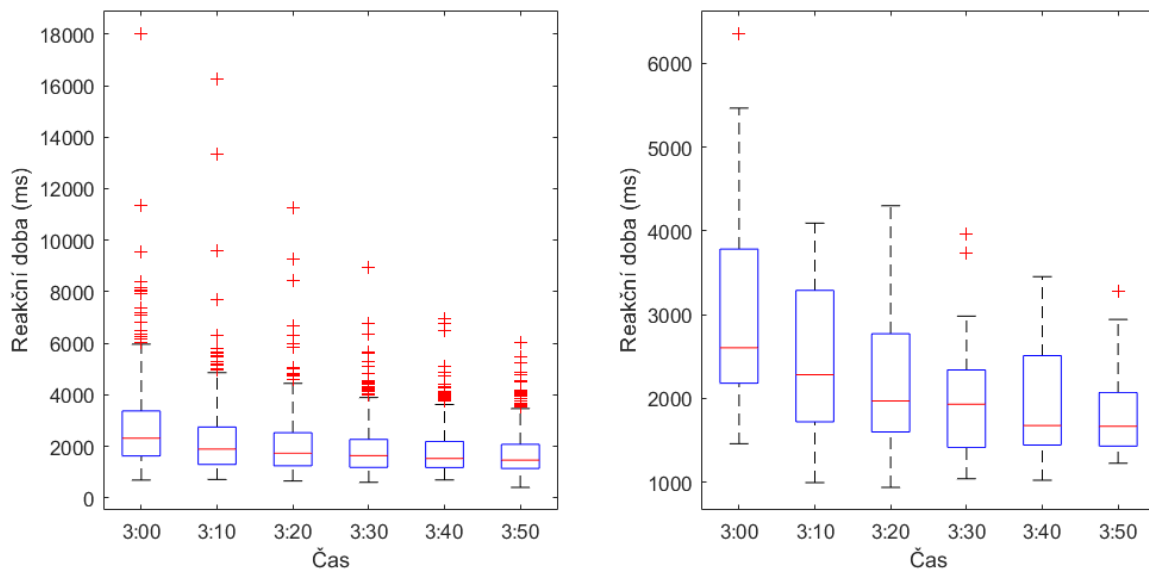
V porovnání s PVT, kde byl v každém čase trochu jiný počet výsledků, u SAT každý z účastníků vždy počítal 25 příkladů. Pro počty chyb v každém jednotlivém čase společně s procentuální správností odpovědí viz tabulku 3.6.



Tabulka 3.6: Chyby a procentuální správnost odpovědí všech účastníků v Serial Arithmetic Task

	3:00	3:10	3:20	3:30	3:40	3:50	Celkem
Počet chyb	36	30	30	21	21	22	160
Správnost odpovědí (%)	92,4211	93,6842	93,6842	95,5789	95,5789	95,3684	94,3860

Stejně jako u PVT, i v případě SAT bylo zapotřebí provést korekci správnosti. Test normality i testy RANOVA tak byly následně prováděny na těchto opravených průměrných hodnotách reakční doby. Výsledky jsou opět shrnuty v boxplotech na obrázku 3.8.



Obrázek 3.8: Výsledky Serial Arithmetic Task v jednotlivých časech experimentu  
(a) před provedením korekce správnosti, (b) po provedení korekce správnosti.

Data opravená o správnost nepocházejí z normálního rozdělení. Test RANOVA provedený pro nalezení významných rozdílů mezi výkonnostmi v jednotlivých časech žádný takový rozdíl nenašel ( $p = 0,0927$ ).

Významné rozdíly se tentokrát objevily mezi věkovými skupinami ( $p = 0,0451$ ). Při podrobné post-hoc analýze byly nalezeny signifikantní rozdíly v rámci prvního měření (v čase 3:00), a to mezi skupinou 8 a všemi ostatními skupinami, tedy 8 a 1 ( $p = 0,0145$ ;  $CI = (-4,8251; -4,6324)$ ), 8 a 2 ( $p = 0,0003$ ;  $CI = (-5,5305; -1,6994)$ ), 8 a 3 ( $p = 0,0022$ ;  $CI = (-6,0735; -1,2953)$ ), 8 a 5



( $p = 0,0036$ ; CI = (-5,8592;-1,0810)), 8 a 7 ( $p = 0,0238$ ; CI = (-4,64011;-2,7821)). V ostatních časech experimentu významné rozdíly mezi jednotlivými věkovými skupinami nebyly.

Chronotyp také přinesl několik významných rozdílů ( $p = 0,0048$ ). V čase 3:00 se od sebe lišily skupiny „spíše ranní ptáče“ a „ani noční sova, ani ranní ptáče“ ( $p = 0,0101$ ; CI = (488,8645;3907,1984)), v čase 3:30 to byly skupiny „rozhodně ranní ptáče“ a „ani noční sova, ani ranní ptáče“ ( $p = 0,0449$ ; CI = (42,4448;4287,2300)). Mezi skupinami, které měly a neměly noční službu nebyly v jednotlivých měřeních nalezeny významné rozdíly ( $p = 0,2366$ ) stejně jako u pohlaví ( $p = 0,5543$ ). Všechny vnitroskupinové signifikantní rozdíly pro všechny faktory, kterých se to týká, zobrazuje tabulka 3.7.



Tabulka 3.7: Vnitroskupinové porovnání výsledků Serial Arithmetic Task. V tabulce jsou uvedeny pouze signifikantní rozdíly na hladině významnosti 5 %. Ve sloupci „Časy“ je uvedeno, ve kterých časech byly nalezeny rozdíly mezi výkonnostmi. CI Lower a CI Upper jsou dolní a horní meze konfidenčního intervalu.

Skupina	Časy	p-hodnota	CI Lower	CI Upper
věková skupina 1	3:00 a 3:20	0,0155	191,3685	2100,6896
věková skupina 1	3:00 a 3:40	0,0055	445,6315	2798,0143
věková skupina 1	3:00 a 3:50	0,0226	176,0638	2760,4589
věková skupina 5	3:30 a 3:40	0,0217	155,4401	1324,9500
věková skupina 5	3:30 a 3:50	0,0376	56,2084	2331,9429
věková skupina 8	3:00 a 3:10	0,0004	1021,1189	3437,1573
věková skupina 8	3:00 a 3:20	0,0001	1311,4180	3649,8492
věková skupina 8	3:00 a 3:30	0,0005	1437,8086	5045,2152
věková skupina 8	3:00 a 3:40	< 0,0001	1791,8718	4672,9405
věková skupina 8	3:00 a 3:50	< 0,0001	1830,1867	4995,4114
rozhodně ranní ptáče	3:10 a 3:20	0,0275	-2107,4559	-98,69223
rozhodně ranní ptáče	3:10 a 3:30	0,0001	-3322,3453	-1115,9957
rozhodně ranní ptáče	3:30 a 3:40	< 0,0001	1190,3009	3150,7756
rozhodně ranní ptáče	3:30 a 3:50	< 0,0001	1496,6635	3004,2566
spíše noční sova	3:00 a 3:20	0,02388	120,3355	2106,3459
spíše noční sova	3:00 a 3:30	0,0077	240,3359	2578,5332
spíše noční sova	3:00 a 3:40	0,0172	228,4695	2845,7400
spíše noční sova	3:00 a 3:50	0,0070	396,6868	2895,1600
spíše noční sova	3:10 a 3:20	0,0058	1748,4204	1179,2238
spíše noční sova	3:10 a 3:30	0,0003	471,5394	1574,7142
spíše noční sova	3:10 a 3:40	0,0007	447,9290	1753,6645
spíše noční sova	3:10 a 3:50	0,0007	497,0308	1922,2000
spíše ranní ptáče	3:00 a 3:10	0,0032	455,1704	2501,5993
spíše ranní ptáče	3:00 a 3:20	0,0010	625,1131	2611,1234
spíše ranní ptáče	3:00 a 3:30	0,0001	1170,7397	3408,9371
spíše ranní ptáče	3:00 a 3:40	0,0012	785,9819	3403,2520
spíše ranní ptáče	3:00 a 3:50	0,0003	1055,2511	3553,7238
spíše ranní ptáče	3:10 a 3:30	0,0027	259,8661	1363,0409
spíše ranní ptáče	3:10 a 3:50	0,0189	113,5180	1538,6873
spíše ranní ptáče	3:20 a 3:30	0,0168	101,5589	1241,8814
spíše ranní ptáče	3:20 a 3:50	0,0364	34,1666	1338,5718



### 3.3 Druhá noc

Obě dvě noci experimentu provedlo pouze 5 účastníků. Jednalo se o 2 ženy a 3 muže. Základní informace o této skupině zobrazuje tabulka 3.8.

Tabulka 3.8: Obecné informace o účastnících druhé noci experimentu zjištěné dotazníky. Délka skutečného spánku je průměrná hodnota za měsíc před provedením experimentu; podrážděnost byla volena na škále 1–5, kde 1 značila žádné podráždění; hodnocení spánku na škále 1–5, kde 1 je nejlepší; N1 znamená první noc experimentu, N2 je druhá noc experimentu.

	Průměr	Směrodatná odchylka	Rozsah
Věk	24,80	1,47	23–27
Chronotyp	47,20	5,71	37–52
The Pittsburgh Sleep Quality Index	4,20	0,75	3–5
Fatigue Severity Scale	25,00	5,40	21–33
Délka skutečného spánku/noc	7 h 46 min	30 min	7–8 h 30 min
Doba usnutí po experimentu N1	24 min	5 min	20–30 min
Doba usnutí po experimentu N2	32 min	25 min	10–45 min
Čas probuzení ráno N1	9:09	1 h 3 min	7:30–10:30
Čas probuzení ráno N2	8:52	1 h 34 min	7:30–10:00
Podrážděnost před N1	1,40	0,49	1–2
Podrážděnost před N2	1,20	0,40	1–2
KSS v půlhodině po probuzení N1	4,60	1,62	3–7
KSS v půlhodině po probuzení N2	4,80	1,94	2–7
Hodnocení spánku N1	3,00	0,89	2–4
Hodnocení spánku N2	2,92	0,76	2–4

Tato skupina účastníků byla relativně homogenní. Pouze 1 z těchto subjektů měl za poslední 2 roky před experimentem noční směnu, zároveň žádný z nich ve 3 měsících předcházejících experimentu necestoval přes více než 3 světová pásma. Užívání jakýchkoli stimulantů je velmi nízké napříč celou touto skupinou, například ani jeden z účastníků není kuřák a obecně požití alkoholu je pouze v jednotkách skleniček týdně. Zároveň v obou dnech před experimentem se tato spotřeba stimulantů nijak nelišila od běžného přísunu. Stejně jako fyzická a psychická zátěž, které rovněž nevybočovaly z normálních hodnot.

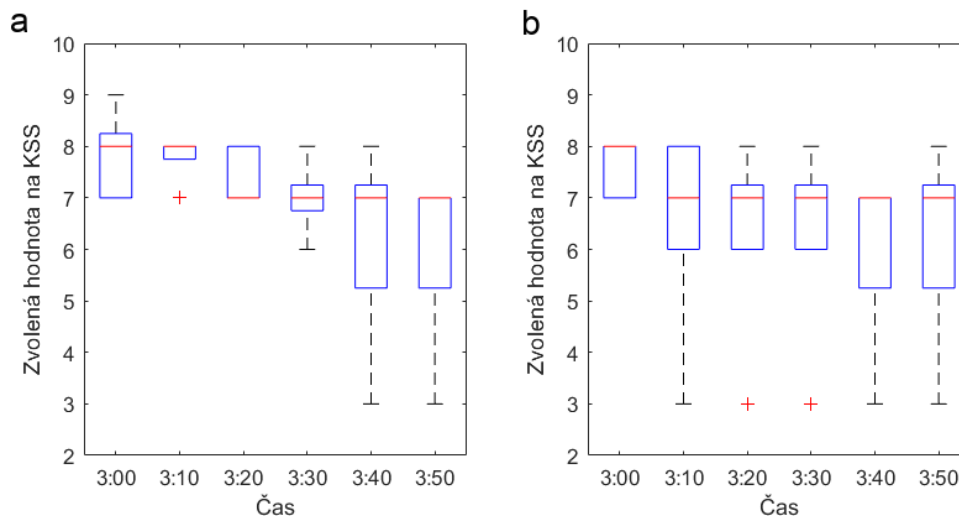
Všem účastníkům z této malé skupiny se podařilo usnout mezi v době mezi 0:00–3:00 v obou nocích experimentu. Během první noci se celkem 3 účastníci jedenkrát probudili někdy v průběhu



noci (kromě probuzení kvůli experimentu), ostatní 2 ani jednou. Během druhé noci se jednou probudil pouze 1 účastník, zbytek (4) se neprobudil. Ráno po N1 jeden z účastníků vstával na budík, 4 vstávali v libovolnou dobu. Ráno po N2 se k němu přidali další 2 a na budík tedy vstávali celkem 3 účastníci, zbytek (2) opět v libovolnou dobu.

### 3.3.1 Vyhodnocení Karolinska Sleepiness Scale

Data získaná subjektivním hodnocením ospalosti nepochází z normálního rozdělení. Při porovnání výkonnosti v jednotlivých časech experimentu mezi sebou nebyl nalezen ani jeden významný rozdíl ( $p = 0,2628$ ). Dále byly u této skupiny účastníků porovnány výsledky z N1 a N2. Vizualizaci těchto výsledků ukazuje obrázek 3.9. Provedená RANOVA a post-hoc analýza však nenalezly signifikantní rozdíly ( $p = 0,3586$ ) ani mezi jednotlivými skupinami v rámci jednoho času, ani mezi jednotlivými časy v rámci jedné skupiny, ani mezi skupinami samotnými.



Obrázek 3.9: Porovnání výsledků Karolinska Sleepiness Scale pěti účastníků v (a) první a (b) druhou noc experimentu

### 3.3.2 Vyhodnocení testu reakční doby

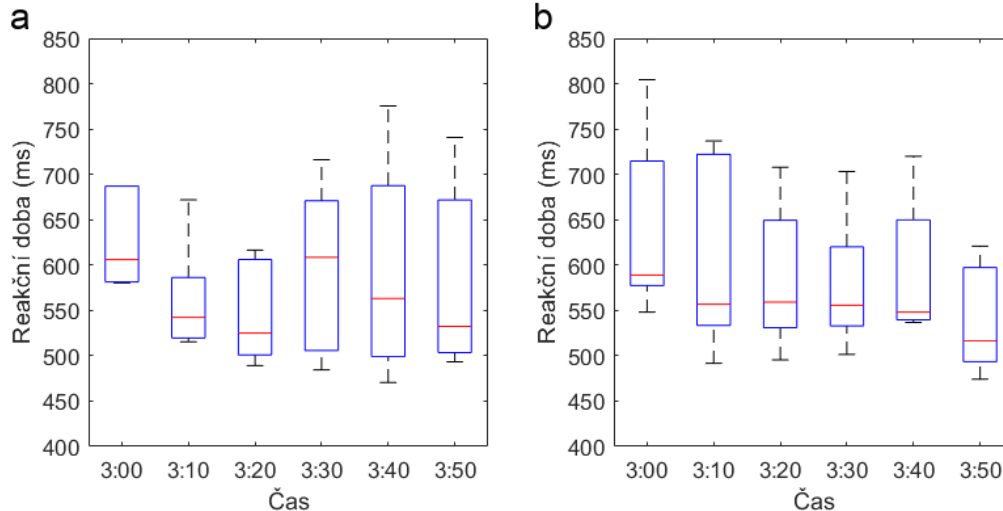
Data pochází z normálního rozdělení. Pro provedení statistických testů bylo zapotřebí nejprve provést korekci správnosti. Nejprve byl spočítán počet chyb a procentuální správnost odpovědí těchto pěti účastníků, a to pro obě noci experimentu, jak je možné vidět v tabulce 3.9. Následovala

samotná korekce správnosti, ve které došlo k přepočtu průměrných reakčních dob účastníků v jednotlivých časech o chybovost, respektive správnost jejich odpovědí. S takto upravenými daty byla provedena RANOVA. Porovnání výkonností v jednotlivých časech mezi sebou neodhalilo žádné signifikantní rozdíly ( $p = 0,4800$ ).

Tabulka 3.9: Chyby a správnost odpovědí všech 5 účastníků v testu reakční doby, porovnání první (N1) a druhé (N2) noci experimentu

		3:00	3:10	3:20	3:30	3:40	3:50	Celkem
N1	Počet chyb	4	0	2	5	4	2	17
	Správnost (%)	96,6387	100,0000	98,3193	95,9350	96,8254	98,3471	97,6808
N2	Počet chyb	3	1	4	6	5	1	20
	Správnost (%)	97,5410	99,1935	96,6387	95,1613	96,2406	99,1597	97,3009

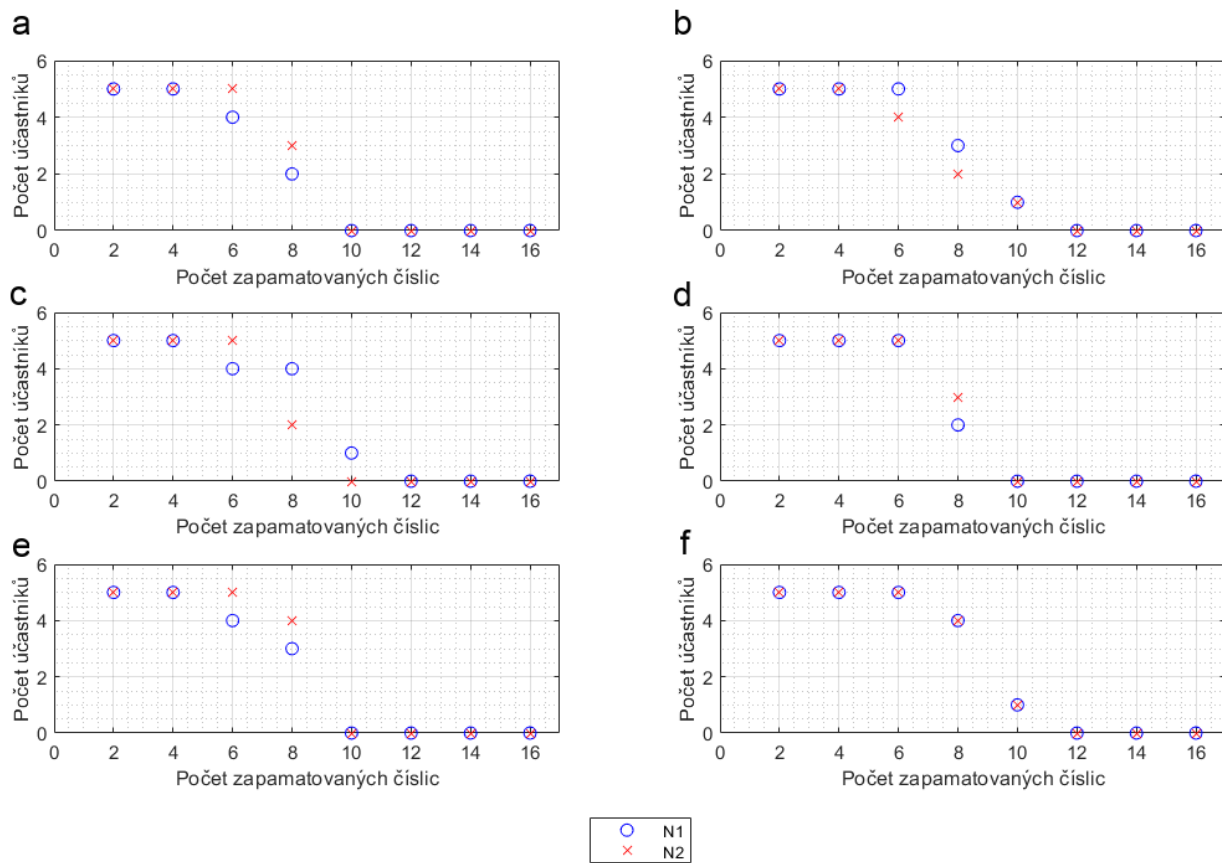
Následovalo provedení testu RANOVA pro porovnání N1 a N2 mezi sebou. Vizualizace ve formě boxplotů je na obrázku 3.10. Podobně jako u KSS, ani zde nebyly nalezeny žádné signifikantní rozdíly ( $p = 0,3042$ ).



Obrázek 3.10: Porovnání výsledků testu reakční doby po korekci správnosti v (a) první a (b) druhou noc experimentu, 5 účastníků

### 3.3.3 Vyhodnocení testu krátkodobé paměti

Data nepochází z normálního rozdělení. Průběh počtu zapamatovaných číslic v jednotlivých časech v N2 je vizualizován na obrázku 3.11. Pro porovnání je v obrázku tento průběh zakreslen rovněž pro N1. Porovnání výkonností v jednotlivých časech během N2 neprokázalo žádné významné rozdíly ( $p = 0,6587$ ).



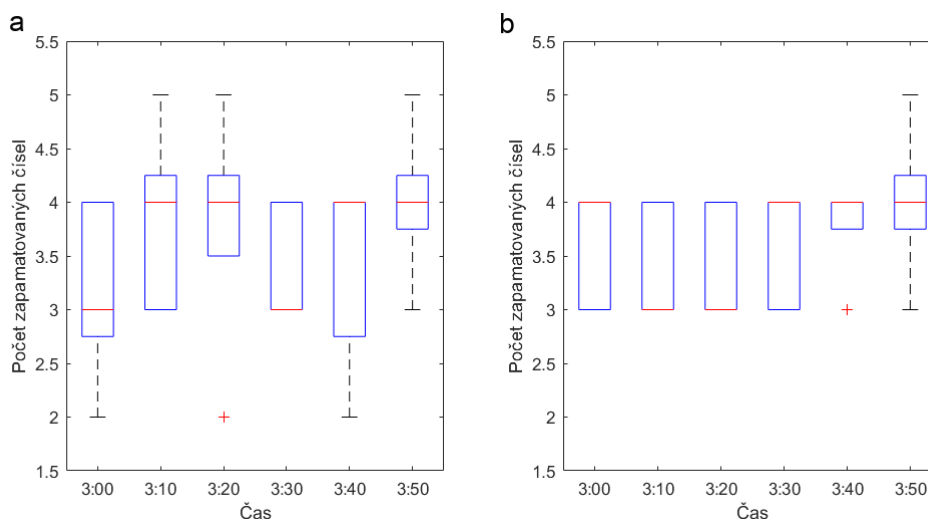
Obrázek 3.11: Vizualizace výsledků testu krátkodobé paměti všech 5 účastníků v první a druhou noc experimentu v jednotlivých časech experimentu:(a) 3:00, (b) 3:10, (c) 3:20, (d) 3:30, (e) 3:40, (f) 3:50

Kromě porovnání výkonností v jednotlivých časech v rámci N2 mezi sebou bylo opět provedeno i porovnání výsledků mezi N1 a N2. Tabulka 3.10 zobrazuje porovnání průměrného počtu zapamatovaných číslic pro 5 účastníků v N1 a N2.

Tabulka 3.10: Průměrný počet zapamatovaných číslic v testu krátkodobé paměti v jednotlivých časech experimentu, první (N1) i druhá (N2) noc experimentu. V každý čas měl každý z 5 účastníků možnost zapamatovat si 0–8 čísel o narůstající délce 2–16 číslic.

	3:00	3:10	3:20	3:30	3:40	3:50
Průměrný počet zapamatovaných číslic, N1	4,3750	4,9474	5,0526	4,4706	4,5882	5,1000
Průměrný počet zapamatovaných číslic, N2	4,6667	4,7059	4,4706	4,6667	4,8421	5,1000

V následné RANOVA se, podobně jako při zpracovávání výsledků z N1, nepočítalo s počty zapamatovaných číslic, nýbrž čísel. Maximální počet zapamatovaných čísel tak mohl být nanejvýš 8. Žádné signifikantní rozdíly nebyly nalezeny ( $p = 0,3618$ ), nicméně vizualizace výsledků ve formě boxplotů je na obrázku 3.12.



Obrázek 3.12: Porovnání výsledků testu krátkodobé paměti v (a) první a (b) druhou noc experimentu pro 5 účastníků

### 3.3.4 Vyhodnocení Serial Arithmetic Task

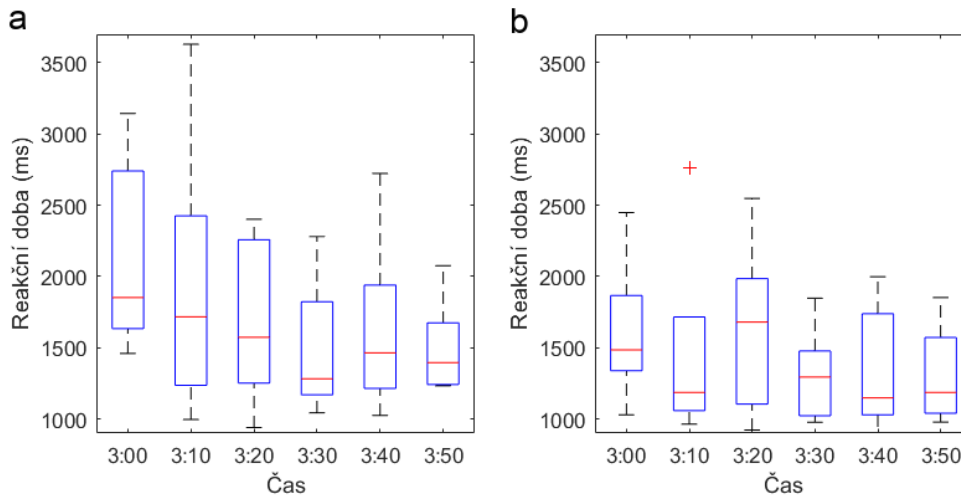
Data nejsou z normálního rozdělení a pro jejich použití ve statistických testech bylo nejprve zapotřebí provést korekci správnosti. Mezi výkonnostmi v jednotlivých časech v rámci N2 žádné signifikantní rozdíly nalezeny nebyly ( $p = 0,4900$ ). Počty chyb a procentuální správnost odpovědí v N1 i N2 jsou v tabulce 3.11.



Tabulka 3.11: Chyby a správnost odpovědí všech 5 účastníků v Serial Arithmetic Task, porovnání první (N1) a druhé (N2) noci experimentu

		3:00	3:10	3:20	3:30	3:40	3:50	Celkem
N1	Počet chyb	8	5	7	4	8	7	39
	Správnost (%)	93,6000	96,0000	94,4000	96,8000	93,6000	94,4000	94,8000
N2	Počet chyb	6	5	10	3	3	3	30
	Správnost (%)	95,2000	96,0000	92,0000	97,6000	97,6000	97,6000	96,0000

Porovnání N1 a N2 také nepřineslo žádné významné rozdíly ( $p = 0,3476$ ). Pro vizualizaci těchto výsledků viz obrázek 3.13.

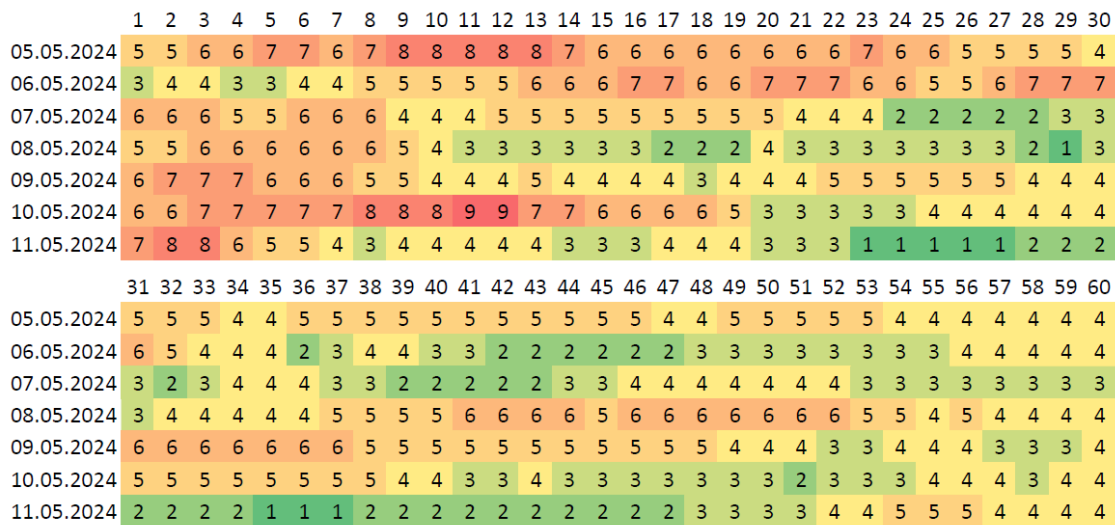


Obrázek 3.13: Porovnání výsledků Serial Arithmetic Task všech 5 účastníků po korekci správnosti v (a) první a (b) druhou noc experimentu

### 3.4 Výsledky validace

Ze získaných dat o provozu v čase 1:00–2:00 UTC v týdnu od 5. do 11. května 2024 byly nejprve zjištěny informace o tom, kdy které letadlo vstoupilo do prostoru FIR Praha, kdy z něj vystoupilo, jak dlouho se v dané oblasti vyskytovalo, případně informace o vzletech z českých letišť a přistáních na ně. Tyto informace jsou zobrazeny na obrázku 3.14.

Ze znalosti uvedených informací a tabulky 2.4 dále bylo možné určit přibližnou pracovní zátěž řídicích ve sledovanou dobu. Nejedná se o přesné určení, protože ze získaných informací není



Obrázek 3.14: Počty letadel ve Flight Information Region Praha v průběhu jedné hodiny v době od 1:00–2:00 UTC po minutách (1–60) v týdnu od 5.–11. května 2024

možní zjistit, jak často bylo ze strany řídicího potřeba další koordinace jako například žádost pilotů o zkrácení tratě apod. Výsledky jsou v tabulce 3.12.

Tabulka 3.12: Pracovní zátěž ve Flight Information Region Praha v průběhu jedné hodiny v době mezi 1:00–2:00 UTC ve dnech 5.–8. května 2024

Datum	Počet příletů na česká letiště	Počet odletů z českých letišť	Počet pohybů celkem	Max. počet letadel naráz	Průměrný počet letadel naráz	Průběžné sledování (s)	Vstup do sektoru (s)	Výstup ze sektoru (s)	Přistání/vzlet (s)	Celkem (s)	Pracovní zátěž (%)	Pracovní zátěž slovně
5. 5. 2024	0	0	20	8	5,43	825	225	160	0	1210	33,6111	střední
6. 5. 2024	2	0	16	7	4,37	650	195	110	20	975	27,0833	nízké
7. 5. 2024	0	0	16	6	3,75	560	135	120	0	815	22,6389	nízké
8. 5. 2024	1	0	16	6	4,32	635	165	120	10	930	25,8333	nízké
9. 5. 2024	1	1	16	7	4,75	720	150	120	20	1010	28,0556	nízké
10. 5. 2024	1	0	17	9	4,73	715	165	130	10	1020	28,3333	nízké
11. 5. 2024	1	0	15	8	3,15	470	120	110	10	710	19,7222	nízké



Jako poslední byla vyhodnocena pořízená nahrávka komunikace ve FIR Praha. Komunikace se skládala primárně z úkonů jako přihlášení letadla na frekvenci, předání na další frekvenci, výjimečně vzlet či přistání nebo vyřízení nějakého požadavku – například direct na bod. Po celou dobu nahrávky nebylo potřeba taktického řízení. Za povšimnutí stojí také fakt, jak často řídicí komunikovali s posádkami. Celková doba nahrávek je 25 minut 33 sekund a z toho tvoří celková doba komunikace 2 minuty 17 sekund, což je 5,0228 %. Zároveň nejkratší doba mezi dvěma komunikacemi s různými posádkami byla 6 vteřin, nejdelší naopak více než 5 minut. Nejdelší prodlevu není možné přesně určit, protože daná nahrávka skončila. Samozřejmě řídicí po celou dobu „ticha“ na frekvenci musí situaci monitorovat a udržovat si situační povědomí. Nelze tedy dělat závěry pouze z toho, jak často komunikují s posádkami na frekvenci.

### 3.5 Shrnutí výsledků

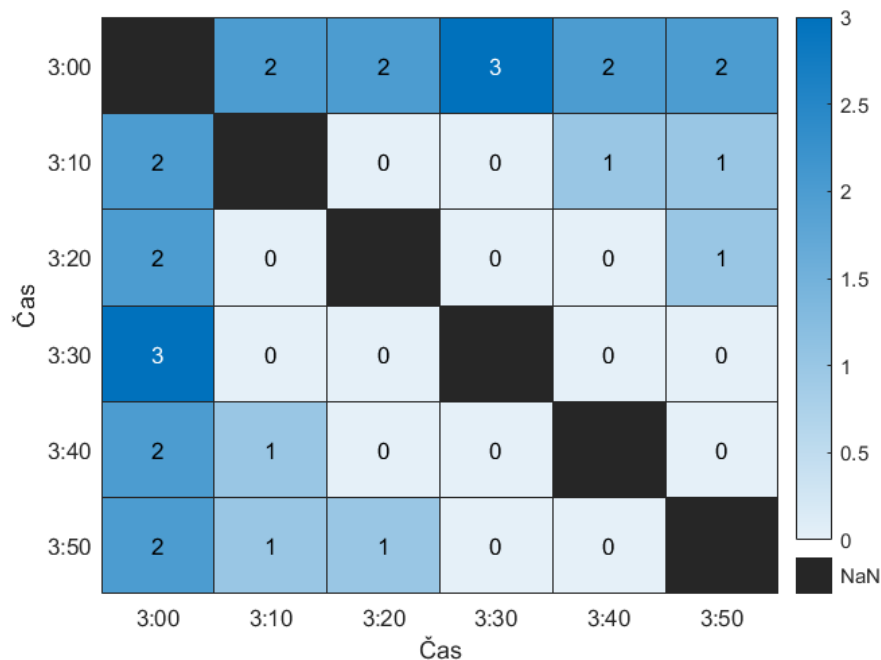
Hlavním účelem tohoto shrnutí je zejména vytvoření jednoduchého přehledu hlavních výsledků. Shrnutí se zároveň týká zejména výsledků z první noci experimentu. Výsledky z druhé noci experimentu totiž nepřinesly téměř žádné signifikantní rozdíly, ani mezi výkonnostmi v jednotlivých časech v rámci N2, ani při porovnání mezi N1 a N2.

Při porovnávání různých faktorů v rámci N1 byly z velké části nalezeny průběhy odpovídající těm z celkových výsledků dílčích testů. Jediný z vlivů, který stojí pořádně za povšimnutí, je vliv věku. Účastníci byli rozděleni do skupin podle věku a statistické testy našly významné rozdíly pro skupinu 8. Jednalo se o účastníky ve věku 50 let a více. Ti měli zhoršenou výkonnost v prvním čase měření (3:00) oproti ostatním skupinám i oproti výkonnosti v jiných časech v rámci své skupiny. Naprostá většina ostatních faktorů nijak významný vliv na výsledky neměla. Proto jsou v následující tabulce a grafu pouze ty hodnoty, které mělo smysl nějakým způsobem shrnout, tedy rozdíly mezi jednotlivými časy v průběhu první noci experimentu. Všechny naměřené hodnoty v N1 v dílčích testech, mezi kterými je signifikantní rozdíl ( $p$ -hodnota je menší než 0,05), shrnuje tabulka 3.13.

Hodnoty z tabulky 3.13 byly pro lepší vizuální přehlednost ještě přetvořeny do jednoduché teplotní mapy (heatmap), viz obrázek 3.15. V této teplotní mapě nejsou přímo použity  $p$ -hodnoty, ale bylo zde přepočítáno kolikrát se mezi jednotlivými časy vyskytovala  $p$ -hodnota menší než 0,05.

Tabulka 3.13: Shrnutí významných výsledků v první noci experimentu; vypsane hodnoty v tabulce jsou pouze statisticky signifikantní rozdíly na hladině významnosti 5 %. KSS je Karolinska Sleepiness Scale. PVT je 4výběrový test reakční doby. MEM je označení pro test krátkodobé paměti. SAT znamená Serial Arithmetic Task.

Časy, mezi kterými je významný rozdíl		KSS	PVT	MEM	SAT
3:00	3:10	-	0,0270	-	0,0276
3:00	3:20	0,0122	-	-	0,0047
3:00	3:30	0,0047	0,0459	-	0,0174
3:00	3:40	0,0117	-	-	0,0022
3:00	3:50	0,0124	-	-	0,0014
3:10	3:40	-	-	-	0,0107
3:10	3:50	-	-	-	0,0066
3:20	3:50	-	-	-	0,0408



Obrázek 3.15: Teplotní mapa signifikantních výsledků, první noc experimentu. Celkem byly prováděny 4 testy, hodnoty tedy značí 0–4 testy, ve kterých byly mezi výkonnostmi v daných časech nalezeny signifikantní rozdíly na hladině významnosti 5 %.



## 4 Diskuze výsledků

Tato diplomová práce zkoumá spánkovou inercií v kontextu nočních směn řídicích letového provozu. Stěžejní částí je experiment provedený na obecné populaci, který se snažil simulovat noční směnu řídicích a vývoj spánkové inercie v první hodině po probuzení.

Jako první jsou diskutovány dílčí testy experimentu zvláště. KSS je subjektivní stupnice hodnocení únavy, a jak bylo zmíněno v kapitole 1, subjektivní hodnocení může být velmi zavádějící. Často se účastníci různých testování cítí lépe a více bdělí než tomu tak objektivně je. K tomu se přidává i fakt, že po několika dnech nedostatku spánku si už jedinec ani neuvědomuje své nedostatky způsobené únavou i přesto, že jeho výkonnost se stále objektivně horší [1]. V provedeném experimentu výsledky KSS potvrdily domněnku, že čím více času uběhne od probuzení, tím se účastníci cítí více bdělí. Průměrná hodnota, kterou na stupnici volili, se postupně pomalu snižovala. Statistické testy ukázaly, že mezi prvním časem měření (3:00) a většinou dalších časů (3:20, 3:30, 3:40 a 3:50) jsou statisticky významné rozdíly. Oproti prvnímu měření ve 3:00, ve kterém účastníci volili nejčastěji hodnotu 7 (ospalý/á, ale nedělá mi potíže zůstat vzhůru) nebo horší (cítí se ospalí, měli potíže zůstat vzhůru) se většina z nich na konci experimentu dostala k hodnotám na KSS značícím pouze známky ospalosti. Na základě provedené statistické analýzy by se tedy dalo tvrdit, že subjektivně se účastníci cítili lépe od třetího měření, tedy od doby ve 3:20. Od té doby se jejich subjektivní ospalost i nadále snižovala, a to až na hodnoty 2 (velmi pozorný/á) a 3 (pozorný/á) v časech 3:40 a 3:50. Nicméně v těchto dvou posledních měřeních je důležité si povšimnout, že u 3 účastníků došlo naopak opět ke zhoršení. Nejhorší zaznamenaná hodnota v čase 3:30 byla 8 (ospalý/á, mám trochu potíže zůstat vzhůru), ale v časech 3:40 a 3:50 to byla hodnota 9 (velmi ospalý/á, potíže zůstat vzhůru, účastník bojuje se spánkem). Tento úkaz se vyskytl i u dalších testů experimentu. Co se týče testovaných faktorů, žádný vliv na výsledky testů nebyl statistickými testy prokázán ani pro jeden faktor, ať už věk, chronotyp, noční směny nebo pohlaví.

Čtyřvýběrový test reakční doby poskytl poněkud zvláštní, možná i nečekané výsledky. Statistickými testy byly nalezeny významné rozdíly mezi časy 3:00 a 3:10 a poté až mezi 3:00 a 3:30. Zdá se tedy, že výkonnost docela značně kolísala. U testů reakční doby obecně platí, že čím méně stimulů člověk má, tím rychleji bude reagovat. Při jednovýběrovém PVT, kdy jedinec musí co nejrychleji reagovat na jeden stimul, se může reakční doba pohybovat kolem 200 ms [40].



V případě 2výběrového PVT (2 stimuly a tím pádem 2 možné reakce/odpovědi) je 250 ms obvykle nejrychlejší reakce, které lze dosáhnout. Průměrná reakční doba se v tomto případě pohybuje mezi 350 a 450 ms [40]. Čím více stimulů přidáme, tím pomalejší budou reakce. Této logice odpovídají také výsledky experimentu: průměrná reakční doba tohoto 4výběrového PVT se pohybovala mezi 600 a 700 ms, zároveň ty nejrychlejší reakce spadají do intervalu 400–500 ms. Nicméně zde není možné jasně určit, kdy došlo k trvalému zlepšení. Nejhůře vychází jednoznačně měření v čase 3:00, následuje výrazné zlepšení v čase 3:10, ale poté přichází opět zhoršení. Toto se pak ještě jednou opakuje. Při pohledu na správnost odpovědí samostatně vychází nejlépe čas 3:10, ve kterém měli všichni účastníci dohromady pouhé 3 chybné reakce (správnost odpovědí byla přes 99 %). Mohlo zde částečně působit to, že se účastníci dostatečně seznámili s testem a naučili se ho správně a efektivně ovládat. Snahou bylo tomuto předejít, a proto byli účastníci v instrukcích žádáni, aby si celou sadu testů vyzkoušeli už večer před experimentem. Nicméně i přesto mohlo dojít ke zlepšení právě kvůli lepšímu obeznámení se s testem. Zajímavé dále je, že v posledních 3 měřeních (3:30, 3:40 a 3:50) byla správnost nejnižší (počet chyb v těchto časech byl 8, 7 a opět 8). Jedno z vysvětlení může být například to, že si účastníci začali být svými schopnostmi víc jistí, „nabyli sebevědomí“ po předchozím měření, kde měli už jen velmi málo chyb, přestali být tolik opatrní a tím pádem dělali větší množství chyb. Dále je možné, že na účastníky začala opět padat únava, a to také v souvislosti s tím, že subjektivní pocit bdělosti zaznamenávaný v KSS se u 3 účastníků v posledních 2 měřeních opět zhoršil. V každém případě závěrem provedeného 4výběrového PVT je následující. Reakční doba účastníků měla vysokou tendenci se celkově zlepšit, a to ve velmi krátkém časovém úseku. Již po 10 minutách, tedy ve 3:10, dosahovali účastníci velmi dobrých výsledků v rámci celého testu, zároveň jejich chybovost byla nejnižší z celého testu. Co se týče testovaných faktorů, opět, stejně jako u KSS, nebyl nalezen vliv ani jednoho z těchto faktorů.

Test na krátkodobou paměť byl velmi konzistentní po celou dobu experimentu. Statistické testy žádné významné rozdíly mezi jednotlivými časy nenašly. Nicméně při bližším pohledu by se dal vypořádat jistý trend. Nejhorší výsledky opět docela jasně ukazují na první měření ve 3:00, počet zapamatovaných čísel byl v tento čas nejmenší. Poté následuje postupné mírné zlepšení až do měření ve 3:20, ve kterém byl naopak nejvyšší celkový počet zapamatovaných čísel z celého testu. Ve zbylých časech (od 3:30 do 3:50) se situace opět trochu zhoršila a kolísala. Sice ani v jednom případě se nedostala na hodnotu pouhé 1 zapamatované číslo, které dosáhl jeden



účastník v čase 3:00, a celková správnost odpovědí byla rovněž o něco málo vyšší než ve 3:00, ale vůči výsledkům v čase 3:20 se o zhoršení nepopíratelně jedná. Ani testování faktorů nepřineslo žádné významné výsledky, ze kterých by bylo možné formulovat validní závěry.

Výsledky testu SAT vyšly ze všech čtyř testů nejvíce podle očekávání. Reakční doba i správnost odpovědí se neustále postupně zlepšovaly od začátku až do konce experimentu. Ze statistických testů by se dalo vyvodit, že od času 3:30 do konce experimentu byly výsledky již relativně konzistentní, reakční doba spolu s chybovostí se docela ustálily. Velká část faktorů tento trend přibližně kopírovala. Za zmínku stojí věková skupina 8. Ve 3:00 byl zjištěn významný rozdíl mezi skupinou 8 a všemi ostatními věkovými skupinami; v rámci skupiny 8 bylo měření ve 3:00 výrazně rozdílné od zbylých časů. Z tohoto lze usuzovat, že spánková inercie může mít na věkovou skupinu 8 hned po probuzení vyšší vliv, nicméně brzy (již po 10 minutách) se tito účastníci dostali na úroveň ostatních věkových skupin.

Výsledky první noci experimentu je tedy možné shrnout následovně: pro KSS nastalo zlepšení ve 3:20, nicméně 3 účastníci se v následujících časech cítili zase hůř. U PVT nastalo rychlé zlepšení již ve 3:10, následovalo opět zhoršení. Celkově výsledky PVT značně kolísaly. Test na krátkodobou paměť se vyznačoval relativní konzistentností v průběhu celého experimentu, nicméně k jistému zlepšení došlo v čase 3:20, poté následovalo mírné zhoršení. Test SAT byl jediný, který se od určité chvíle nezhoršoval, ale neustále pomalu zlepšoval. Od času 3:30 se již dá mluvit o stabilní výkonnosti účastníků v testu SAT. Zároveň jednoznačně nejhorších výsledků ve všech testech dosahovali účastníci (a zejména věková skupina 8) v prvním měření v čase 3:00.

Zhoršení výkonnosti účastníků v posledních 3–4 měřeních ve většině testů může být vysvětleno několika způsoby. První z nich je problém související s workloadem, tedy s pracovní zátěží. Intervaly mezi jednotlivými spuštěními sady testů byly 10 minut, jenže většina účastníků každou sadu v naprosté většině případů stihla mnohem dřív, obvykle za 5–6 minut. Je proto pravděpodobné, že ve zbylém čase, kde pouze čekali než budou moci opět spustit sadu testů, se účastníci nudili, neměli co na práci. Jejich zátěž tak byla velmi nízká, což vede k únavě [1].

Další vliv na zhoršenou výkonnost může mít bílé světlo (tedy barevné spektrum viditelného světla [41]). Ohledně bílého světla ve spojitosti se spánkovou inercií bylo sepsáno několik studií. Výsledek jedné takové studie poukazuje na fakt, že modré světlo (které je součástí bílého světla a často je emitováno zejména elektronickými zařízeními [41]) by mohlo vést



k méně výpadkům pozornosti, lepší náladě, pocitům vyšší bdělosti a menší letargie ve srovnání s tlumeným červeným světlem [24]. Nicméně v experimentu v této práci bylo ponecháno na vůli účastníků, jestli si k provedení experimentu rozsvítí, nebo zůstanou sedět ve tmě pouze ve světle z monitoru. Experiment byl pro účastníky náročný na provedení i bez toho. Ochota ho provést nebyla vysoká, proto nebyli účastníci nuceni si ještě k tomu i svítit. Některé z nich by to mohlo od experimentu odradit: 8 účastníků s někým sdílí postel, 1 má spolubydlící ve stejné místnosti, 5 má spolubydlící v jiné místnosti a pouze 5 účastníků s nikým nesdílí postel ani nemá spolubydlící. Většina z účastníků by tak mohla rozsvícením rušit své spolubydlící. V každém případě tedy spousta z účastníků experiment s nejvyšší pravděpodobností prováděla po tmě se světlem pouze z monitoru počítače, což mohlo znovu vést k únavě.

Zajímavým úkazem je průběh testu SAT, který byl dost odlišný od ostatních testů experimentu. Jako jediný se od určitého času nezhoršoval, nýbrž naopak stále zlepšoval. Jako jediné možné vysvětlení se jeví fakt, že SAT byl vypracováván jako zcela poslední z testů, tedy čtvrtý. Takže i kdyby na účastníky působila monotónnost a nuda mezi jednotlivými sadami testů, je klidně možné, že než došlo na SAT, opět se trochu „probrali“ a podávali o něco lepší výkon. Tak jako tak se ale pracovní paměť na základě tohoto experimentu jeví jako nejodolnější.

Nejrychlejší obnovení reakcí nastalo u PVT (v čase 3:10), následovaly KSS a test krátkodobé paměti (v čase 3:20) a nejpomaleji došlo k obnovení u SAT (3:30). Celkově by se tak na základě výsledků experimentu provedeného v rámci této diplomové práce dalo tvrdit, že spánková inercie ztrácí svůj vliv v čase mezi 20–30 minutami po probuzení. K podobnému údaji došla také EASA, která prováděla výzkum týkající se spánkové inercie v kontextu jednopilotních letů [42]. Na základě tohoto výzkumu EASA určila, že průměrná délka spánkové inercie je 35 minut. Navíc 12 z celkového počtu 16 prověřených studií v rámci této studie uvádí, že tato délka je mezi 2,5–30 minutami.

Pro zachování úrovně výkonnosti, kterou má jedinec po uplynutí 20–30 minut je vhodné, aby byl vystaven bílému/modrému světlu (a to nejen po uplynutí této doby, ale co nejdříve po probuzení), a aby následně měl odpovídající pracovní zátěž. Díky tomu je možné předejít opět se navracející únavě. Dalším výsledkem experimentu je to, že na účastníky experimentu ve věku 50 a více let pravděpodobně mnohem více působila spánková inercie okamžitě po probuzení než na mladší subjekty. Velmi brzy (už 10 minut po probuzení) se ostatním účastníkům vyrovnali,





nicméně s přibývajícím věkem je potřeba nepodceňovat spánkovou inercií a věnovat jí zvýšenou pozornost.

V případě některých provozně–kritických situací, kdy je potřeba, aby zaměstnanec po probuzení pracoval co nejdřív, je vhodné, aby tato práce nezačala dřív než alespoň 10 minut po probuzení. Výsledky experimentu ukázaly, že první měření, které proběhlo ihned po probuzení, se vyznačovalo nejhoršími výsledky. Alespoň malá zlepšení se sice dostavila hned po 10 minutách, ale ve většině případů tato zlepšení ještě neznamenalala dobrou výkonnost a nulový vliv spánkové inercie. Nicméně pokud není z nějakého provozního důvodu možné, aby zaměstnanec počkal 20–30 minut po probuzení, 10 minut by mělo být naprosté minimum. Je obecně známo, že ne ve všech povoláních je možné čekat po probuzení 30 minut, bohužel v některých případech je i 10 minut příliš dlouhá doba. Typicky se jedná zejména o složky integrovaného záchranného systému. Kupříkladu jednotky hasičského záchranného sboru České republiky mají výjezdovou dobu do 2 minut od poplachu, a to i v noci v době, kdy mohou ve službě spát [43]. Tomuto problému ale nemusí čelit řídicí letového provozu. Ti mají předem jasně daný rozdělovník, ve kterém mají informace o tom, kdy budou mít v průběhu noční směny volno a kdy budou řídit. Sami tak mají možnost si svůj odpočinek naplánovat tak, aby dodrželi i 20–30 minut na pořádné probuzení se a zbavení se spánkové inercie.

Druhá noc experimentu měla přinést výsledky, které by přibližovaly vývoj spánkové inercie během dvou nočních směn po sobě; jestli délka spánkové inercie zůstává stejná, jestli se nějakým způsobem mění průběh jednotlivých testů a podobně. Bohužel zásadním problémem této části experimentu byla velmi nízká účast. Druhé noci experimentu se účastnilo pouhých 5 lidí z 19, tím pádem statistické testy značně ztrácí na validitě. Navíc se jednalo o relativně homogenní skupinu přibližně stejného věku, chronotypu, spánkových návyků a dalších. Žádné signifikantní rozdíly mezi N1 a N2 nebyly nalezeny. Zdá se, že průběh PVT v obou nocích přibližně odpovídá trendu vypořádaném v N1 u všech účastníků, kdy nejprve dochází k docela prudkému zlepšení výkonnosti ve 3:10, jenže následně výkonnost znovu klesá a nadále kolísá, nemá trvalý průběh. Drobný rozdíl může být vypořádan u testu krátkodobé paměti. Nejedná se sice v tomto případě o signifikantní rozdíl určený na základě statistických testů, ale v N1 chybovost těchto pěti účastníků v průběhu celého experimentu docela kolísala. Opět ten samý trend, po zlepšení přišlo zase zhoršení. V N2 byl ale trend stoupavý a správnost se celou dobu postupně pomalu zvyšovala. V případě testu SAT se průběh v tomto případě vyznačoval kolísáním výkonnosti podobně jako test



PVT nebo test krátkodobé paměti. Jediným trochu zajímavým poznatkem z druhé noci experimentu je tak pravděpodobně pouze průběh testu na krátkodobou paměť, který v N2 vykazoval oproti N1 stabilnější zlepšování, a ne kolísání výkonnosti. Nicméně i tento výsledek pravděpodobně není validní kvůli malému počtu účastníků.

Posledním úkolem této diplomové práce je zasazení dosažených výsledků na obecné populaci do prostředí řízení letového provozu. Základem pro tento úkol je znalost prostředí v kontextu (zejména nočních) směn. Díky konzultacím s experty z oboru bylo zjištěno spoustu informací týkajících se rozvržení směn řídicích. Minimální délka jakékoli směny na stanovištích ATS (Air Traffic Services, letové provozní služby, které kromě řízení letového provozu zahrnují i letovou informační a pohotovostní službu [44]) je 7 hodin. Maximální délka směny pro oblastní službu řízení je 11 hodin. Všichni řídicí musejí mít na každé své pracovní směně bezpečnostní přestávku v délce 1 hodina vždy po 2 hodinách práce. Noční prací je práce konaná v době mezi 22:00 a 6:00 a noční směna, bez ohledu na její začátek, musí končit nejpozději v 7:00. Během noční směny musí být jedna z bezpečnostních přestávek v délce minimálně 3 hodiny s možností spánku. Řídicí letového provozu mohou mít nanejvýš 2 noční směny po sobě a zároveň jim nesmí být po druhé noční směně nařízena práce dříve než po 52 hodinách (pro oblastní řídicí je tato doba 70 hodin). Obvykle mívají řídicí přibližně celkem 12 směn do měsíce, z toho je nočních zpravidla nanejvýš 8.

Na základě výše uvedeného by se tak dalo tvrdit, že rozvržení směn řídicích letového provozu je zaměřeno na bezpečnost a dává řídicím spoustu času na kvalitní odpočinek. Dalším vylepšením by tak mohlo být právě ošetření problematiky spánkové inercie. Bezpečnostní přestávka s možností spánku reálně nejčastěji trvá 3 nebo 4 hodiny a obvykle končí v době mezi 3:00–6:00. V současných rozdělovnících není žádná pauza mezi bezpečnostní přestávkou a chvílí, kdy má řídicí opět řídit provoz a je tak zcela na řídicím, jak moc dopředu se probudí. Bylo by tak vhodné nějakou takovou pauzu zavést. Nicméně velmi důležité je vzít v potaz také provoz. Řídicími je například jako nejhorší noční směna obvykle vyhodnocována ta, ve které po probuzení z dlouhé bezpečnostní přestávky musí řídit provoz v ranní špičce.

Výsledky zkoumání pracovní zátěže a provozu jsou následující. Ve sledovaném týdnu (5.–11. května 2024) v době 1:00–2:00 UTC, což je přesně doba, ve kterou účastníci prováděli experiment k této práci, byla pracovní zátěž (workload) řídicích v rozmezí 19,7222–33,6111 %. Dle dokumentu ICAO [39] se tak jedná o střední (5. května) a nízké (6.–11. května) zatížení. K tomuto je také vhodné poznamenat, že se stále jedná spíše o začátek letní sezony;



dá se předpokládat, že přes vrchol sezony bude zátěž vyšší a naopak přes zimní měsíce zase o něco menší. Nicméně nízké zatížení může být přesně to, co i u bdělého řídicího může po nějaké době vyvolat únavu. Při pohledu na vývoj provozu jde vidět, že v prvních přibližně 20 minutách byl počet pohybů vyšší než ve zbytku sledovaného období, a to ve všech dnech. Pokud tedy bezpečnostní přestávka řídicího skončí ve 3:00, on si před jejich skončením vyhradí čas 20–30 minut, aby vymizely účinky spánkové inercie, bude silnější provoz v prvních 20 minutách velmi pravděpodobně podporovat jeho bdělost. Tato situace ve sledovaném období zůstala zachována až do 2:00 UTC pouze 5. května. Ve všech ostatních dnech provoz spíše klesl a průměrný počet letadel na frekvenci najednou byl nižší. Této situaci také odpovídá vyhodnocení nahrávky: nižší provoz nevyžaduje žádné taktické zásahy, řídicí prakticky jenom přijme letadlo na frekvenci a následně předá na další. Ve výsledku by se tedy dalo tvrdit, že během nočních směn může nastat situace, kdy v důsledku nízkého provozu bude řídicí pociťovat únavu. V tom případě je zapotřebí snažit se využít každý způsob, který napomáhá předcházení únavě nebo alespoň její minimalizaci. A právě tím může být snaha snižovat vliv spánkové inercie pauzou mezi samotným spánkem a prací v délce ideálně 20–30 minut. Samozřejmě těchto 20–30 minut by měl řídicí trávit ideálně v prosvětlené místnosti, měl by se protáhnout a celkově se snažit probudit; pokud by zůstal po tuto dobu ležet v tmavé místnosti, bylo by to kontraproduktivní a spánková inercie by pravděpodobně přetrvávala mnohem déle, případně by se únava mohla opět vracet, což se zřejmě stalo i v provedeném experimentu. Zvláštní důraz na „probuzení se“ a eliminaci spánkové inercie by měl být kladen zejména pokud bezpečnostní přestávka končí spíše v ranních hodinách, kdy řídicí následně řídí ranní špičku.

Tato diplomová práce si kladla za cíl určit délku spánkové inercie v kontextu plánování směn řídicích letového provozu. Na základě provedeného experimentu bylo zjištěno, že minimální nutná doba, po kterou spánková inercie působí nejsilněji, je 10 minut. Nicméně to nemusí zcela stačit, výkonnost po této době ještě není na dobré úrovni a jako ideální se jeví doba 20–30 minut. Řídicí letového provozu v noci mohou mít nízké pracovní zatížení, zejména v době mimo hlavní sezonu, což může přispět k jejich únavě. K celkovému zlepšení bezpečnosti a také komfortu řídicích (aby se během své pracovní doby cítili dobře a bdělí, aby byl minimalizován vznik únavy), je vhodné dodržovat časovou prodlevu 20–30 minut mezi probuzením a řízením, aby stihl zmizet vliv spánkové inercie. Zejména důležité toto může být pokud spánek končí v brzkých ranních hodinách, kdy poté musí řídicí řídit provoz v ranní špičce.



## Závěr

Tato diplomová práce se zabývá tématem spánkové inercie v souvislosti s řízením letového provozu. Zásadní částí této práce bylo navrhnout a provést experiment na obecné populaci. Tento experiment se skládal ze sady testů doplněných několika dotazníky, kterými byly zjištěny především podstatné informace o spánkových návycích účastníků či používání stimulantů, které mohou mít vliv na únavu a kvalitu spánku. Sadu testů účastníci prováděli po 3hodinovém spánku ve 3:00. V tuto dobu je pravděpodobné, že se účastníci nacházeli ve stavu největšího cirkadiánního útlumu, zároveň 3 hodiny je běžná délka bezpečnostní přestávky během noční směny řídicích letového provozu. Sada testů se skládala ze subjektivního hodnocení ospalosti v daný okamžik, testu reakční doby, krátkodobé paměti a nakonec pracovní paměti. Tato sada byla opakována celkem šestkrát po 10 minutách. Data získaná experimentem byla následně zpracována v prostředí Matlab. Nejsilnější vliv spánkové inercie byl ve všech jednotlivých testech pozorován především v prvních 10 minutách po probuzení, nicméně výkonnost účastníků se dostala na běžnou úroveň až po 20–30 minutách. Ve většině testů bylo v posledních 20 minutách pozorováno opětovné zhoršení výkonnosti. Příčinou se jeví především to, že účastníci v několikaminutových prostojích mezi spuštěním jednotlivých sad testů neměli co na práci a zároveň velká část z nich si pravděpodobně nerozsvítila a seděla v temné místnosti. Oba tyto faktory mohou opět přispívat k únavě. Zároveň to potvrzuje domněnku, že monotónní nudná činnost vede k únavě, stejně jako že bílé/modré světlo může pomoci k bdělosti.

V další části této práce byly výsledky experimentu zasazeny do kontextu řízení letového provozu. Ukázalo se, že směny řídicích jsou navrženy takovým způsobem, aby bylo minimalizováno riziko vzniku únavy, nicméně na spánkovou inercií zde vůbec není pamatováno. Provoz v noci také bývá o něco nižší než ve dne, a i když ze zhodnocení pracovní zátěže vyšlo, že na řídicí v době mezi 3:00–4:00 působí střední zatížení, v jiných nočních časech toto může být mnohem nižší. Tím pádem je zde vyšší riziko únavy obdobně jako v ranních hodinách, kdy je naopak provoz vysoký (ranní špička). Po každém probuzení z bezpečnostní přestávky během noční směny by mělo být pamatováno na spánkovou inercií a řídicí by měl počkat ideálně 20–30 minut než její vliv zmizí, zejména však právě pokud má jít po probuzení řídit ranní špičku.

Stejně jako tvořil experiment klíčovou část této diplomové práce, tak byl i její největší limitací. Experiment závisel na dobrovolnosti účastníků a vzhledem k náročné povaze experimentu,



který značně zasahoval do pohodlí a spánku všech subjektů, ochota provést ho nebyla vysoká. Jak bylo zmíněno výše, většina účastníků experiment prováděla potmě, což bdělému stavu zrovna nenapomáhá. Nicméně rozsvícená světla nebyla vyžadována, protože by se tím mohla snížit ochota pro vypracování: někteří účastníci by tímto mohli rušit své spolubydlící apod. Nabízí se otázka, jestli by bylo tento experiment vhodné provést v laboratorních podmínkách, pokud by na to byly prostředky. Je pravdou, že v takových podmínkách by mohlo být ohlédáno mnoho faktorů, kromě osvětlení místnosti by bylo možné například snímat aktivitu účastníků pomocí EEG či alespoň třeba chytrých hodinek. Tak by se získalo mnohem více dat a poznatků, nicméně toto nebylo v rámci této práce proveditelné. Argumentem proti laboratorním podmínkám zase může být, že tyto podmínky nejsou daleko od „dokonalých“ podmínek. Účastníci by mohli mít zcela nerušený spánek v tmavé tiché místnosti, ničím by nebyli rušeni a naopak testování by prováděli v ideálních podmínkách jako třeba právě prosvětlená místnost. Takovéto podmínky jsou ideální, avšak neodpovídají realitě. Hluk zvenčí, děti či štěkot psa mohou výrazně narušit i zdánlivě ideální podmínky jako jsou dokonale tmavá místnost, správná teplota i pohodlná postel. I když řídicí letového provozu většinou mívají k dispozici temné ložnice, vždy se může někde vyskytnou právě onen hluk, mohou být probuzeni kolegou či se jim jednoduše nespí tak dobře jako doma. Je tedy na pováženu, zda je lepší nechat účastníky provádět experiment doma v pro ně přirozených podmínkách, nebo se snažit o jakési umělé podmínky. Laboratorní podmínky mohou vyzkoumat více věcí, zároveň mohou zařadit do výzkumu například i týmovou práci a ne pouze výkonnost jednotlivce, což je v řízení letového provozu velmi důležité. Nicméně provádění testů ve známém domácím prostředí může být nenahraditelné.

Z této diplomové práce vyplývá, že spánková inercie výrazně ovlivňuje výkonnost jedince v době bezprostředně po probuzení, nicméně jí není zatím věnováno příliš mnoho pozornosti, zejména v kontextu řízení letového provozu. Další studie této tematiky by se mohly věnovat tomu, co v této práci z důvodu nízkého počtu účastníků nebylo dostatečně prozkoumáno, a to jaký je vliv spánkové inercie během druhé noční směny (v případě dvou nočních směn po sobě následujících). Zajímavé poznatky by mohlo přinést i zjištění toho, z jaké spánkové fáze byli účastníci probuzeni (pokud by byla k experimentu dostupná technologie jak toto měřit). Dále by mohl být ověřen také vliv modrého světla – jestli by došlo ke zhoršení výkonnosti účastníků ke konci experimentu, i kdyby na ně působilo modré světlo.



## Seznam použité literatury

1. INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. *Doc 9966: Manual for the Oversight of Fatigue Management Approaches*. 2016. Dostupné také z: <https://www.icao.int/safety/fatiguemanagement/FRMS%20Tools/Doc%209966.FRMS.2016%20Edition.en.pdf>.
2. EUROPEAN ORGANISATION FOR THE SAFETY OF AIR NAVIGATION. *Fatigue and Sleep Management: Personal strategies for decreasing the effects of fatigue in Air Traffic Control*. 2018. Dostupné také z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/sleep-mgmt-online-13032018.pdf>.
3. CAE OXFORD AVIATION ACADEMY. *ATPL Ground Training Series: Human performance and limitations*. 2014.
4. HILDITCH, Cassie J; MCHILL, Andrew W. Sleep inertia: current insights. *Nature and Science of Sleep*. 2019, roč. Volume 11, s. 155–165. ISSN 1179-1608. Dostupné z DOI: 10.2147/nss.s188911.
5. PATANKAR, Manjo S; SALAS, Eduardo. *Human factors in aviation and aerospace*. 3. vyd. Ed. KEEBLER, Joseph; LAZZARA, Elizabeth H; WILSON, Katherine; BLICKENSDEFER, Elizabeth L. San Diego, CA: Academic Press, 2022.
6. BLAJEV, Tzvetomir. Does smoking cause disease? *Hindsight*. 2011, č. 13, s. 82. Dostupné také z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/110518-hs13.pdf>.
7. PILMANNOVÁ, Terézia. *Air Traffic Services* [přednáška]. Praha: FD ČVUT, 2023.
8. EDWARDS, Tamsyn; SEELY, Rachel; MALAKIS, Stathis; EVANS, Mark; EVANS, Antony. An introduction to air traffic control and the application of human factors. In: *Human Factors in Aviation and Aerospace*. Elsevier, 2023, s. 449–475. ISBN 9780124201392. Dostupné z DOI: 10.1016/b978-0-12-420139-2.00021-6.
9. INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION; INTERNATIONAL FEDERATION OF AIR TRAFFIC CONTROLLERS' ASSOCIATIONS; CIVIL AIR NAVIGATION SERVICES ORGANISATION. *Fatigue Management Guide for Air Traffic Service Providers*. 2016. Dostupné také z: <https://www.icao.int/safety/fatiguemanagement/Documents/FMG%20for%20ATSPs%20FINAL.pdf>.



10. WELCH, J.D.; ANDREWS, J.W.; MARTIN, B.D.; SRIDHAR, Banavar. Macroscopic workload model for estimating en route sector capacity. In: *Proceedings of 7th USA/Europe ATM Research and Development Seminar, Barcelona, Spain. 2007*, s. 94–103.
11. ZOHREVANDI, Elmira; POLISHCHUK, Valentin; LUNDBERG, Jonas; SVENSSON, Åsa; JOHANSSON, Jimmy; JOSEFSSON, Billy. Modeling and Analysis of Controller's Taskload in Different Predictability Conditions. In: *6th SESAR Innovation Days. 2016*. Dostupné také z: [https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/sid/2016/SIDs\\_2016\\_paper\\_39.pdf](https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/sid/2016/SIDs_2016_paper_39.pdf).
12. GERDES, Ingrid; TEMME, Annette; SCHULTZ, Michael. Dynamic airspace sectorisation for flight-centric operations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2018*, roč. 95, s. 460–480. ISSN 0968-090X. Dostupné z DOI: 10.1016/j.trc.2018.07.032.
13. EUROPEAN UNION AVIATION SAFETY AGENCY. *Air Traffic Controller (ATCO) fatigue. 2024*. Dostupné také z: [https://www.easa.europa.eu/en/domains/air-traffic-management/atmans-workforce-air-traffic-controller-\(ATCO\)-fatigue?check\\_logged\\_in=1](https://www.easa.europa.eu/en/domains/air-traffic-management/atmans-workforce-air-traffic-controller-(ATCO)-fatigue?check_logged_in=1).
14. MINISTERSTVO DOPRAVY ČESKÉ REPUBLIKY; ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY. *L11 Letové provozní služby: Služba řízení letového provozu, letová informační služba, pohotovostní služba. 2023*. Dostupné také z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-11/index.htm>.
15. EVROPSKÁ KOMISE. *Prováděcí nařízení Komise (EU) 2017/373. 2017*. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R0373&from=IT>.
16. PAGE, Matthew J; MCKENZIE, Joanne E; BOSSUYT, Patrick M; BOUTRON, Isabelle; HOFFMANN, Tammy C; MULROW, Cynthia D; SHAMSEER, Larissa; TETZLAFF, Jennifer M; AKL, Elie A; BRENNAN, Sue E; CHOU, Roger; GLANVILLE, Julie; GRIMSHAW, Jeremy M; HRÓBJARTSSON, Asbjørn; LALU, Manoj M; LI, Tianjing; LODER, Elizabeth W; MAYO-WILSON, Evan; MCDONALD, Steve; MCGUINNESS, Luke A; STEWART, Lesley A; THOMAS, James; TRICCO, Andrea C; WELCH, Vivian A; WHITING, Penny; MOHER, David. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ. 2021*, n71. Dostupné z DOI: 10.1136/bmj.n71.





17. HIRSCH, Maria; DIEDERICHS, Frederik; WIDLROITHER, Harald; GRAF, Ralf; BISCHOFF, Sven. Sleep and take-over in automated driving. *International Journal of Transportation Science and Technology*. 2020, roč. 9, č. 1, s. 42–51. Dostupné z DOI: 10.1016/j.ijtst.2019.09.003.
18. WÖRLE, Johanna; METZ, Barbara; OTHERSEN, Ina; BAUMANN, Martin. Sleep in highly automated driving: Takeover performance after waking up. *Accident Analysis & Prevention*. 2020, roč. 144, s. 105617. Dostupné z DOI: 10.1016/j.aap.2020.105617.
19. WÖRLE, Johanna; METZ, Barbara; BAUMANN, Martin. Sleep inertia in automated driving: Post-sleep take-over and driving performance. *Accident Analysis & Prevention*. 2021, roč. 150, s. 105918. Dostupné z DOI: 10.1016/j.aap.2020.105918.
20. WÖRLE, Johanna; METZ, Barbara; STEINBORN, Michael B.; HUESTEGGE, Lynn; BAUMANN, Martin. Differential effects of driver sleepiness and sleep inertia on driving behavior. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 2021, roč. 82, s. 111–120. Dostupné z DOI: 10.1016/j.trf.2021.08.001.
21. VINCENT, Grace E.; SARGENT, Charli; ROACH, Gregory D.; MILLER, Dean J.; KOVAC, Katya; SCANLAN, Aaron T.; WAGGONER, Lauren B.; LASTELLA, Michele. Exercise before bed does not impact sleep inertia in young healthy males. *Journal of Sleep Research*. 2019, roč. 29, č. 3. Dostupné z DOI: 10.1111/jsr.12903.
22. KOVAC, Katya; VINCENT, Grace E.; PATERSON, Jessica L.; REYNOLDS, Amy; AISBETT, Brad; HILDITCH, Cassie J.; FERGUSON, Sally A. The impact of a short burst of exercise on sleep inertia. *Physiology & Behavior*. 2021, roč. 242, s. 113617. Dostupné z DOI: 10.1016/j.physbeh.2021.113617.
23. ŠMOTEK, Michal; FÁRKOVÁ, Eva; MANKOVÁ, Denisa; KOPŘIVOVÁ, Jana. Evening and night exposure to screens of media devices and its association with subjectively perceived sleep: Should “light hygiene” be given more attention? *Sleep Health*. 2020, roč. 6, č. 4, s. 498–505. Dostupné z DOI: 10.1016/j.sleh.2019.11.007.
24. HILDITCH, Cassie J.; WONG, Lily R.; BATHURST, Nicholas G.; FEICK, Nathan H.; PRADHAN, Sean; SANTAMARIA, Amanda; SHATTUCK, Nita L.; FLYNN-EVANS, Erin E. Rise and shine: The use of polychromatic short-wavelength-enriched light to mitigate sleep





- inertia at night following awakening from slow-wave sleep. *Journal of Sleep Research*. 2022, roč. 31, č. 5. Dostupné z DOI: 10.1111/jsr.13558.
25. MCHILL, Andrew W; HULL, Joseph T; COHEN, Daniel A; WANG, Wei; CZEISLER, Charles A; KLERMAN, Elizabeth B. Chronic sleep restriction greatly magnifies performance decrements immediately after awakening. *Sleep*. 2019, roč. 42, č. 5. Dostupné z DOI: 10.1093/sleep/zsz032.
26. HILDITCH, Cassie J.; CENTOFANTI, Stephanie A.; DORRIAN, Jillian; BANKS, Siobhan. A 30-Minute, but Not a 10-Minute Nighttime Nap is Associated with Sleep Inertia. *Sleep*. 2016, roč. 39, č. 3, s. 675–685. Dostupné z DOI: 10.5665/sleep.5550.
27. ORIYAMA, Sanae; MIYAKOSHI, Yukiko. The effects of nighttime napping on sleep, sleep inertia, and performance during simulated 16 h night work: a pilot study. *Journal of Occupational Health*. 2018, roč. 60, č. 2, s. 172–181. Dostupné z DOI: 10.1539/joh.17-0070-0a.
28. HILDITCH, Cassie J; ARSINTESCU, Lucia; GREGORY, Kevin B; FLYNN-EVANS, Erin E. Mitigating fatigue on the flight deck: how is controlled rest used in practice? *Chronobiology International*. 2020, roč. 37, č. 9-10, s. 1483–1491. Dostupné z DOI: 10.1080/07420528.2020.1803898.
29. SHAHID, Azmeh; WILKINSON, Kate; MARCU, Shai; SHAPIRO, Colin M. Karolinska Sleepiness Scale (KSS). In: *STOP, THAT and One Hundred Other Sleep Scales*. Springer New York, 2011, s. 209–210. ISBN 9781441998934. Dostupné z DOI: 10.1007/978-1-4419-9893-4\_47.
30. DEARY, Ian J.; LIEWALD, David; NISSAN, Jack. A free, easy-to-use, computer-based simple and four-choice reaction time programme: The Deary-Liewald reaction time task. *Behavior Research Methods*. 2010, roč. 43, č. 1, s. 258–268. ISSN 1554-3528. Dostupné z DOI: 10.3758/s13428-010-0024-1.
31. COGNITION LAB. *Serial Arithmetic Task (SAT)*. 2023. Dostupné také z: <https://cognitionlab.com/project/serial-arithmetic-task-sat/>.



32. COWAN, Nelson. Chapter 20 What are the differences between long-term, short-term, and working memory? In: *Essence of Memory*. Elsevier, 2008, s. 323–338. ISSN 0079-6123. Dostupné z DOI: 10.1016/s0079-6123(07)00020-9.
33. HILL, David. *Psychomotor Vigilance Task (PVT)*. 2022. Dostupné také z: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/106625-psychomotor-vigilance-task-pvt>.
34. ROENNEBERG, Till. *Munich ChronoType Questionnaire (MCTQ)*. [B.r.]. Dostupné také z: [https://static1.squarespace.com/static/5e6d15c31c1cd125b52261af/t/5e7cd75315ced3677faa48d4/1585239893794/MCTQ\\_full\\_en\\_2015\\_01.pdf](https://static1.squarespace.com/static/5e6d15c31c1cd125b52261af/t/5e7cd75315ced3677faa48d4/1585239893794/MCTQ_full_en_2015_01.pdf).
35. BUYSSE, Daniel J.; REYNOLDS, Charles F.; MONK, Timothy H.; BERMAN, Susan R.; KUPFER, David J. The Pittsburgh sleep quality index: A new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Research*. 1989, roč. 28, č. 2, s. 193–213. ISSN 0165-1781. Dostupné z DOI: 10.1016/0165-1781(89)90047-4.
36. MERCY. *Fatigue Severity Scale (FSS)*. 2024. Dostupné také z: <https://www.mercy.net/content/dam/mercy/en/pdf/fatigue-severity-scale-epworth-sleepiness-scale-questionnaire.pdf>.
37. RACH, Stefan; DIEDERICH, Adele; COLONIUS, Hans. On quantifying multisensory interaction effects in reaction time and detection rate. *Psychological Research*. 2010, roč. 75, č. 2, s. 77–94. ISSN 1430-2772. Dostupné z DOI: 10.1007/s00426-010-0289-0.
38. MATHWORKS. *Compound Symmetry Assumption and Epsilon Corrections*. 2024. Dostupné také z: <https://www.mathworks.com/help/stats/compound-symmetry-assumption-and-epsilon-corrections.html>.
39. EUROPEAN ORGANISATION FOR THE SAFETY OF AIR NAVIGATION. *Description of the CAPAN method*. 2014. Dostupné také z: <https://www.icao.int/EURNAT/Other%20Meetings%20Seminars%20and%20Workshops/Global%20ATFM%20Manual%20Coordination%20Team/TELCO%2020on%201%20May%202012/explanation%20CAPAN.doc>.
40. STOET, Gijsbert. *Simple and choice reaction time tasks*. 2023. Dostupné také z: [https://www.psychtoolbox.org/lessons/simple\\_choice\\_rts.html](https://www.psychtoolbox.org/lessons/simple_choice_rts.html).



41. NEWSOM, Rob; SINGH, Abhinav. *Blue Light: What It Is and How It Affects Sleep*. 2024. Dostupné také z: <https://www.sleepfoundation.org/bedroom-environment/blue-light>.
42. EUROPEAN UNION AVIATION SAFETY AGENCY. *EMCO-SiPO – Extended Minimum Crew Operations-Single Pilot Operations*. 2023. Dostupné také z: <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/139387/en>.
43. HANUŠKA, Zdeněk. *Jednotky požární ochrany a integrovaný záchranný systém*. 2015. Dostupné také z: <https://www.hzscr.cz/soubor/orp2015-jpo-a-izs-pdf.aspx>.
44. ŘÍZENÍ LETOVÉHO PROVOZU ČESKÉ REPUBLIKY. *VFR příručka: Letové provozní služby (ATS)*. 2024. Dostupné také z: [https://aim.rlp.cz/vfrmanual/actual/gen\\_6\\_cz.html](https://aim.rlp.cz/vfrmanual/actual/gen_6_cz.html).