



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

DETEKCE STAVŮ PILOTA S VYUŽITÍM BIOMETRICKÝCH SENSORŮ

DETECTION OF PILOT BODY CONDITIONS BY BIOMETRIC SENSORS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Jakubec

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Chlebek, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání diplomové práce

Ústav: Letecký ústav
Student: **Bc. Jakub Jakubec**
Studijní program: Letecká a kosmická technika
Studijní obor: Technologie provozu letadlové a letištní techniky
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Chlebek, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Detekce stavů pilota s využitím biometrických sensorů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Lidský faktor v letectví představuje v současnosti jedno z hlavních rizik v oblasti bezpečnosti provozu. Chybovost a okamžitá výkonnost pilotů, jako hlavních garantů bezpečnosti provedení letu, jsou tak klíčovými oblastmi, kterým se věnuje zvýšená pozornost, s cílem eliminovat možná rizika, která by mohla vést ke konfliktní situaci na palubě. Jedním z nástrojů podporujících toto úsilí je monitoring okamžitého stavu pilota s využitím různých metod a nástrojů.

Cíle diplomové práce:

- Analýza metod detekce stavů pilota založených na biometrických datech.
- Možnosti implementace metod a nároků na pilota.
- Průzkum přijatelnosti aplikace zvolené technologie piloty (dotazníková metoda).
- Návrh provedení/realizace detekce stavu pilota zvolenou/optimální metodou.

Seznam doporučené literatury:

ŠULC, Jiří. Lidská výkonnost (040 00): učebnice pro teoretickou přípravu pilotů ATPL, CPL a IR. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-688-1.

Christopher D. Wickens, Justin G. Hollands, Simon Banbury, Raja Parasuraman. Engineering Psychology and Human Performance 4th Edition, 2012, ISBN 978-0205021987.

John Caldwell, J. Lynn Caldwell. Fatigue in Aviation 2nd Edition, 2016, ISBN 978-1472464590.

DISMUKES KEY, R., T. E. GOLDSMITH a J. A. KOCHAN. Effects of acute stress on aircrew performance: literature review and analysis of operational aspects, 2015.

NEWMAN, D. An overview of spatial disorientation as a factor in aviation accidents and incidents, 2007.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá detekcí stavu pilota pomocí biometrických senzorů. V teoretické části jsou popsány jednotlivé fyziologické stavy a také jednotlivé druhy senzorů používané k monitorování. Jsou zde uvedeny studie zabývající se detekcí spánku a možnosti, jak lze ospalost a spánek detekovat. Praktická část se zabývá sběrem dat z reálného prostředí letounu a jejich analýzou. Výsledky praktické části ukazují, že použitá technologie má velký potenciál a piloti jsou této technologii otevřeni. Tato technologie by výrazně zlepšila bezpečnost letů.

Abstract

This master 's thesis deals with the detection of the state of the pilot using biometric sensors. The theoretical part describes various physiological states and types of sensors used for monitoring. Studies dealing with sleep detection and ways to detect drowsiness and sleep are presented here. The practical section focuses on gathering data from the actual aircraft environment and analyzing it. The results of the practical part show that the technology used has great potential and pilots are open to this technology. This technology would significantly improve flight safety.

Klíčová slova

Piloti, ospalost, spánek, senzory, sběr dat, srdeční frekvence, dotazníková metoda

Keywords

Pilots, drowsiness, sleep, sensors, data collection, heart rate, questionnaire method

Bibliografická citace

JAKUBEC, Jakub. *Detekce stavů pilota s využitím biometrických sensorů* [online]. Brno, 2024. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/158003>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce Jiří Chlebek.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma Detekce stavů pilota s využitím biometrických senzorů vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jiřího Chlebka, Ph.D. s použitím literatury a dalších materiálů uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne 24. května 2024

.....

Jakub Jakubec

Poděkování

Tímto chci poděkovat svému vedoucímu práce, panu Ing. Jiřímu Chlebkovi, Ph.D. za jeho pomoc, cenné rady a připomínky v průběhu tvorby této práce. Také děkuji firmě Honeywell International s.r.o. za pomoc s realizací sbírání dat a zapůjčení potřebných senzorů. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Janu Cikánkovi, Ph.D. za cenné rady a poskytnutí potřebných materiálů v průběhu tvorby této práce. V neposlední řadě děkuji mé rodině a svým přátelům za trpělivost, velkou podporu během celého studia a při psaní této práce.

Obsah

1. Úvod.....	11
2. Teoretická část.....	12
2.1. Faktory ovlivňující pilota během letu.....	12
2.1.1. Pracovní doba.....	13
2.1.2. 100-KSA.....	14
2.1.3. Automatizace pilotní kabiny.....	15
3. Fyziologické stavy.....	17
3.1. Ospalost.....	17
3.2. Spánek.....	17
3.2.1. REM spánek.....	17
3.2.2. NREM spánek.....	18
3.3. Únava.....	19
3.4. Inkapacitace.....	20
3.4.1. Náhlá srdeční příhoda.....	20
3.4.2. Epileptický záchvat.....	20
3.4.3. Mozková mrtvice.....	21
3.4.4. Hypoxie.....	21
3.4.5. Akutní bolest.....	22
3.4.6. Stres.....	22
4. Biologická měření.....	23
4.1. Senzory.....	23
4.1.1. EEG.....	23
4.1.2. EKG.....	24
4.1.3. Pulzní oxymetr.....	24

4.1.4.	Kamery	25
4.1.5.	Chytré hodinky	26
4.1.6.	Hrudní pás	28
4.1.7.	Mikrovlnný radar.....	29
4.2.	Možnosti a překážky integrace senzorů na palubě	30
5.	Metody a analýza hodnocení ospalosti a spánku.....	31
5.1.	Karolínská škála spavosti	31
5.2.	Studie zabývající se detekcí spánku	31
6.	Praktická část práce	33
6.1.	Zadání praktické části	33
6.2.	Metodologie.....	33
6.3.	Dotazníková metoda	35
6.4.	GoPro Hero 12.....	36
6.5.	Apple Watch Series 6	37
7.	Integrace a testování kamery na palubě letounu.....	38
7.1.	Letounu Z-43 s registrací OK-WOD	38
7.2.	Letounu C172P s registrací OK-CLL	39
7.3.	Letounu C172S s registrací OK-VUT	40
7.4.	Letoun Bristell NG-5	41
8.	Analýza nasbíraných dat	43
8.1.	Vyhodnocení dotazníků	44
8.2.	Pilot č. 1	46
8.2.1.	První let pilota č. 1.....	46
8.2.2.	Druhý let pilota č. 1	49
8.2.3.	Třetí let pilota č. 1	51

8.2.4.	Čtvrtý let pilota č. 1	54
8.3.	Pilot č. 2	56
8.3.1.	První let pilota č. 2	56
8.3.2.	Druhý let pilota č. 2	58
8.4.	Pilot č. 3	61
8.4.1.	První let pilota č. 3	61
8.4.2.	Druhý let pilota č. 3	63
8.5.	Pilot č. 4	68
8.5.1.	První let pilota č. 4	68
8.5.2.	Druhý let pilota č. 4	70
8.6.	Pilot č. 5	74
8.6.1.	První let pilota č. 5	74
8.7.	Pilot č. 6	76
8.7.1.	První let pilota č. 6	77
8.8.	Pilot č. 7	80
8.8.1.	První let pilota č. 7	80
8.9.	Pilot č. 8	82
8.9.1.	První let pilota č. 8	82
8.10.	Pilot č. 9	84
8.10.1.	První let pilota č. 9	85
9.	Závěr	88
10.	Seznam použitých zkratk	90
11.	Seznam použité literatury	92
12.	Seznam příloh	98

1. Úvod

V době dnešního rychlého technologického pokroku, rostoucího provozu a stále složitějších systémů v oblasti letectví je klíčovým a důležitým pojmem bezpečnost. Letecká doprava se stává stále více běžnou a nenahraditelnou součástí globálního cestování osob a nákladu, čímž se klade důraz na zajištění maximální efektivity všech zúčastněných stran. Od zvyšování spolehlivosti technických systémů letadel až po náročný letecký výcvik leteckého personálu starajícího se o plynulý a bezpečný tok letového provozu.

S rostoucí leteckou dopravou se také zvyšuje náročnost řízení leteckého provozu. Zvyšují se nároky jak na řídicí letového provozu, tak na piloty a celkově na letecký personál. Piloti nesou odpovědnost za bezpečnost posádky a cestujících v prostředí, kde i malá chyba může způsobit fatální důsledky. Proto musí piloti splňovat řadu požadavků jako jsou například teoretické a jazykové znalosti, musí mít řádně dokončený letecký výcvik a splňovat potřebný počet nalétaných hodin.

Kontrola zdravotního stavu leteckého personálu je důležitým aspektem bezpečnosti v letectví. Evropská agentura pro bezpečnost letectví EASA a nařízení PART-FCL stanovují požadavky na zdravotní stav leteckého personálu. Podle EASA musí být každý člen letové posádky před výkonem svého povolání schopen bezpečně plnit své povinnosti a nesmí být náchylný k náhlým ztrátám výkonu. Proto je nutné pravidelně kontrolovat jejich zdravotní stav.

I když pilot vyhovuje všem požadavkům a kritériím pro získání příslušné licence, stále zde existuje faktor, kterým je únava. Ta je obtížně zjistitelná a může představovat potenciální hrozbu pro bezpečnost leteckého provozu. V současné době jsou na palubách letadel nasazeny modernizované a automatizované pilotní kabiny, které mají za cíl odlehčit pilotům od pracovní zátěže. Problémem však může být příliš vysoká úroveň automatizace, která může riziko únavy navýšit.

Tato práce se bude zabývat různými metodami, jak detekovat ospalost a možností použití jednotlivých druhů senzorů.

2. Teoretická část

Tato část práce se zaměřuje na teoretickou analýzu potencionálních nebezpečných stavů pilota a možnostmi použití existujících metod pro detekci těchto stavů pilota za letu, založených na biometrických datech. Hlavním cílem je posoudit různé technologie, možnosti a metody, které mohou být použity pro monitorování a vyhodnocování fyziologického stavu pilota během letu. Tato analýza zahrnuje posouzení efektivity, přesnosti a možných nároků na pilota, které s sebou tyto metody přinášejí.

2.1. Faktory ovlivňující pilota během letu

V letectví a všeobecně v běžném životě existuje mnoho faktorů, které mohou ovlivnit zdravotní a psychický stav pilotů a celkově leteckého personálu. Piloti musí během letu správně reagovat, čelit důležitým rozhodnutím, a dělat vše proto, aby let proběhl bezpečně. Mezi hlavní faktory, které mohou ovlivnit práci pilota jsou například únava, stres, pracovní podmínky, chronická onemocnění, alkohol, kvalita spánku a další.

Piloti musí být v dobré fyzické kondici, aby mohli náležitě plnit své povinnosti. To znamená mít dobrý zrak, svalovou sílu a především vytrvalost. Dobrá svalová síla souvisí s aktivitou, kterou by pilot měl nebo neměl vykonávat před letem. Před letem by pilot neměl vykonávat těžkou a namáhavou práci, která může mít negativní vliv na provedení letu. Při intenzivní činnosti dochází ke snižování energetických rezerv organismu, které se projeví snížením výkonnosti a subjektivně pocitem únavy. Nejčastější typ únavy je únava svalová, která vzniká po nárazové fyzicky těžké práci a projeví se snížením svalové síly, pocitem tíhy ve svalech a bolestí při jejich zátěži. Vyžaduje odpočinek a prevencí je pravidelná přiměřená zátěž. Únava také snižuje odolnost k fyzikálním vlivům za letu, jako je hypoxie a přetížení. Může se projevit poruchami pozornosti, paměti, zpomalením psychomotorického tempa, poklesem bdělosti nebo poruchami vnímání. Prevence vzniku nadměrné únavy spočívá ve zvyšování výkonnosti pilotů tréninkem a fyzickou aktivitou. [1]

Dalším důležitým faktorem je stres. I když létání může být někdy stresující a pilot se dostane do vážné či nouzové situace, měl by se s tímto faktorem umět dobře vypořádat. Stres může být krátkodobý a dlouhodobý. Krátkodobý stres nejčastěji vzniká během letu, při řešení určitých situací. Při působení krátkodobého stresu může u pilota nastat zvýšená tepová frekvence, pocení či snížená schopnost komunikace a rozhodování. Zpravidla by se s tímto typem stresu měl pilot snadno vypořádat a neměl by vést k ohrožení bezpečnosti letu. Naopak dlouhodobý stres může být příčinou i závažných zdravotních problémů. Pokud pilot trpí dlouhodobým stresem, měl by požádat o radu svého leteckého lékaře. Dlouhodobý stres může vést až k neurotickým poruchám či poruchám vyvolaným stresem, které podle nařízení PART-MED mohou vést až ke ztrátě zdravotního osvědčení [2]. Piloti jsou pravidelně cvičeni na leteckých simulátorech, kde trénují nácvik nouzových situací a také zvládnutí stresu. Podle mezinárodních předpisů musí aerolinie vypracovat výcvikový systém, podle kterého budou piloty déle vzdělávat, udržovat jejich schopnost létat a řešit kritické situace. Na tento systém dohlíží Úřad pro civilní letectví. [3]



Obr. 1 Letecký simulátor A320 [4]

Také chronická onemocnění mají negativní vliv na schopnosti pilota. Například poškození sítnice způsobená cukrovkou může zhoršit zrakovou ostrost a narušit vnímání barev, což může ovlivnit schopnost pilota rozpoznat světelné signály na přistávací dráze nebo rozlišit navigační body během přiblížení na přistání. Proto musí piloti pravidelně podstupovat lékařské prohlídky, aby se zajistilo, že jsou v dobrém zdravotním stavu a že jejich chronická onemocnění jsou pod kontrolou a splňují požadavky pro udržení zdravotní způsobilosti. Pokud má pilot nějaké zdravotní komplikace, musí vše ohlásit svému leteckému lékaři a ten rozhodne, zda je pilot schopný létat či nikoliv. [5]

Některé genetické faktory mohou zvyšovat náchylnost k určitým onemocněním. Vědomí o genetických predispozicích může být klíčové pro prevenci a včasnou diagnostiku potenciálně rizikových stavů. Pilot by měl proto oznámit tyto informace svému leteckému lékaři. V rámci zdravotní letecké prohlídky u pilotů žádajících o prodloužení zdravotního osvědčení první třídy se vyplňuje dotazník ohledně právě zmíněných genetických predispozicích. V příloze A je zobrazena Žádost o vydání osvědčení zdravotní způsobilosti spolu s lékařskou anamnézou.

Dalším faktorem je spánek, který hraje klíčovou roli v životě každého člověka. Zvláště pro piloty je spánek velice důležitý, protože jsou zodpovědní za bezpečnost všech lidí na palubě letadla a v případě únavy nebo nedostatku spánku mohou být jejich schopnosti ovládat letadlo a reagovat na neočekávané situace vážně narušeny. V průběhu letu jsou piloti vystaveni řadě faktorů, které mohou ovlivnit kvalitu jejich spánku. Například změna časových pásem, stres, hluk v pilotní kabině a dlouhodobá sedavá práce mohou způsobit narušení spánkového cyklu a vést k únavě. Kvůli těmto rizikům jsou piloti povinni dodržovat přísné předpisy ohledně spánku a odpočinku. Tyto předpisy se liší v závislosti na typu letu, délce letu a dalších faktorech, které stanovují maximální povolený počet hodin, které pilot může být vzhůru před letem a po něm a definují minimální přestávky mezi jednotlivými lety. [1]

Pracovní podmínky jsou také důležitým faktorem podílejícím se na výkonu palubního personálu. S tím souvisí také délka pracovní doby. Příliš dlouhá pracovní doba může způsobit ospalost a snižovat koncentraci a schopnost rychle a správně se rozhodovat.

2.1.1. Pracovní doba

S pracovní dobou se také spojuje pojem letové služební období tzv. flight duty period (FDP). U pilota v komerčním provozu u kratších letů začíná zpravidla jednu hodinu před letem, kdy

pilot dorazí na letiště. V rámci této služby si pilot zjišťuje a připraví předletové informace, jako je plnění paliva, aktuální počasí na trati a domluví se s letovou posádkou na celkovém provedení letu tzv. briefing. Součástí letové služby je také doba, po kterou probíhá nastupování cestujících. Hlavní část FDP je již samotné provedení letu, tedy doba, kdy pilot aktivně letí s letadlem a vykonává své povinnosti. Je tady důležité znát pojem jako je doba služby a doba letové služby.

Doba služby zahrnuje dobu letové služby, dobu částečného odpočinku, dobu přemístění nebo přepravy, dobu letové zálohy, dobu školení, povinného přezkušování a výcviku, dobu povinného posuzování zdravotní způsobilosti a dobu výkonu jiné činnosti vyžadované leteckým dopravcem, zejména činnost související s výkonem řídicích a kontrolních funkcí oprávněných osob. [6]

Doba letové služby tedy zahrnuje dobu letu včetně předletové přípravy, dobu čekání na odlet letadla při zpoždění letu, dobu stání letadla při mezipřistání, dobu letové činnosti a dobu výkonu činností uvedených v době služby, následuje-li po nich let bez předcházejícího základního odpočinku. [6]

Podle vyhlášky Ministerstva dopravy č. 466/2006 Sb. musí letecký dopravce zajistit, aby celková doba člena posádky letadla nepřesáhla 60 hodin v průběhu sedmi kalendářních dnů po sobě jdoucích, dále 190 hodin v průběhu dvaceti osmi kalendářních dnů po sobě jdoucích, pokud možno rovnoměrně rozložených na stanovené období a 2000 hodin v průběhu dvanácti kalendářních měsíců po sobě jdoucích. Bližší specifikace ohledně pracovní doby je popsána v nařízení CS-FTL.1. [7] Níže je přiložena tabulka s maximálními pracovními hodinami, které člen posádky může odpracovat během jedné FDP, za předpokladu že je aklimatizován v daném časovém pásmu. [6]

Letecký dopravce má oprávnění v rozpisu služeb nejvýše dvakrát v období sedmi po sobě následujících kalendářních dnů plánovaně navýšit maximální denní limity doby letové služby, a to nejvýše o jednu hodinu za předpokladu, že doba základního odpočinku se zvyšuje před prodlouženou letovou službou a po ní o 2 hodiny, nebo po prodloužení letové služby o 4 hodiny. Další podmínky pro prodloužení doby letové služby jsou popsány ve vyhlášce Ministerstva dopravy č. 466/2006 Sb. [6]

Kapitán letadla má pravomoc učinit rozhodnutí, které může prodloužit maximální dobu služby, pokud tak souhlasí celá letová posádka. Pravidla stanovují, že kapitán může prodloužit pracovní dobu o maximálně 3 hodiny, pokud byla posílena letová posádka. Pokud by došlo v posledním úseku k nepředvídatelným okolnostem, které by vedly k překročení povoleného nárůstu, může let pokračovat na plánované cílové nebo náhradní letiště. Jen kapitán letadla má pravomoc rozhodnout o prodloužení doby služby, a to bez ohledu na nátlak ze strany letecké společnosti. Je zakázáno, aby letecká společnost vyvíjela jakýkoliv tlak na posádku, aby učinili tato prodloužení. Převážně platí, že na domácí základně je denní odpočinek stejně dlouhý jako předchozí doba služby nebo 12 hodin, podle toho, která doba je delší. Pokud se posádka nachází mimo domácí základnu je denní odpočinek alespoň tak dlouhý jako je předchozí doba služby nebo 10 hodin, podle toho, která doba je delší. [8]

2.1.2. 100-KSA

Tato kapitola se zaměřuje na nezbytné schopnosti, které musí každý pilot ovládat, aby byl schopen úspěšně zvládnout nároky svého povolání. Piloti musí splňovat specifické požadavky na rychlou reakci, komunikaci, logické a systematické myšlení. 100-KSA je nová předmětová oblast, která byla nedávno zavedena jako povinný modul k výcviku teoretické výuky ATPL, ATPL/IR, CPL pro letouny a vrtulníky zahájena v ATO po 31.1.2022. Zkoumá pilotní kompetence, netechnické aspekty, podle kterých jsou piloti leteckých společností hodnoceni.

Účelem předmětu 100-KSA je umožnit ATO posuzovat znalosti, dovednosti a postoje studenta během výcviku. Toto hodnocení se soustředí na studentovu schopnost aplikovat tyto znalosti a dovednosti napříč teoretickými oblastmi a prokázat jak technické, tak netechnické dovednosti. Oblast 100-KSA zahrnuje průběžné hodnocení a dvě celková hodnocení podle osnov 100 02 a 100 03, a test provedení výpočtů z hlavy podle osnovy 100 04. Výsledky celkových hodnocení a výsledek testu výpočtů z hlavy musí být zaznamenány ve výcvikové dokumentaci.

Nejpozději před tím, než ATO doporučí žadatele ke zkoušce teoretických znalostí pro poslední předmět teorie ATPL, ATPL/IR, CPL pro letouny a vrtulníky, musí žadatel úspěšně absolvovat 2 souhrnná hodnocení a prokázat schopnost provádět výpočty z hlavy. Potvrzení o absolvování těchto kroků musí být zahrnuto v doporučení k teoretické zkoušce a vydáno ATO nejpozději po dokončení posledního předmětu teoretického kurzu. Žadatel se tím musí prokázat před prvním přihlášením k poslednímu předmětu teoretické zkoušky. [9]

Jednou z klíčových oblastí, na kterou se 100-KSA zaměřuje je komunikace. Piloti musí být schopni jasně a efektivně komunikovat nejen s posádkou, ale také s řízením letového provozu. Schopnost rychle, správně a jasně vyjádřit své myšlenky a instrukce a současně aktivně naslouchat a reagovat na pokyny je nezbytná pro bezpečný a plynulý provoz. Další klíčovou oblastí, na kterou se 100-KSA zaměřuje, je rozhodování a řešení problémů. Samotné rozhodování pilotů je často podmíněno nejen technickými aspekty, ale také ohledy na bezpečnost, hospodárnost a pohodlí cestujících. Při řešení problémů musí piloti systematicky analyzovat situaci, identifikovat příčiny problémů a hledat řešení s minimálním vlivem na probíhající let. Mohou se setkávat s různými problémy, jako jsou technické poruchy, změny počasí, zdravotní problémy u cestujících i členů posádky nebo nevhodné chování pasažérů, které mohou narušit bezpečný průběh letu. Dalším důležitým aspektem rozhodování a řešení problémů je také schopnost pilota pracovat pod tlakem a ve stresových situacích. Proto je důležité, aby si piloti zachovali klidnou a soustředěnou mysl. Právě o zdokonalení těchto dovedností se stará program 100-KSA. Pro lepší pochopení obsahu a struktury programu bude v příloze C uvedena jeho osnova, která popisuje jednotlivé části a témata, na které se zaměřuje. [10]

2.1.3. Automatizace pilotní kabiny

Automatizace pilotní kabiny a leteckých systémů zažívá v posledních letech jeden z největších posunů v leteckém průmyslu. Současné palubní systémy umožňují automatický vzlet, vedení letadla po trati a přistání za nulové viditelnosti s velmi malou až nulovou potřebou zásahu pilota. To umožňuje pilotům ovládat letadlo jen několik málo minut manuálně. Zvýšení automatizace přináší mnoho výhod jako je větší spolehlivost a efektivita leteckého provozu, zlepšení bezpečnosti, navigace a také snížení pracovní zátěže pilota. Díky RVSM nebo PBN mohou letadla létat blíže k sobě a lépe využívat již tak přeplněný vzdušný prostor. [11] [12]

Tato technologie však není vždy dokonalá a mnoho pilotů nemá dostatečné školení, jak reagovat v nouzových situacích při selhání automatizovaného systému na palubě. V důsledku selhání automatizace a neschopnosti pilotů rychle a adekvátně zasáhnout se stalo několik leteckých nehod. Je důležité, aby piloti měli a stále si udržovali schopnost létat bez automatizace. Pokud na ni příliš spoléhají, je zde větší šance k nehodám. Nevýhodou automatizace je tedy degradace manuální a kognitivní letové dovednosti. [11] [12]

Příkladem automatizace pilotní kabiny je projekt PEGGASUS, který představuje nový systém rozhraní člověk-stroj a který je financovaný Evropskou unií. V tomto projektu byl vyvinut systém kamer umístěných na palubní desce, který sleduje směr pohledů pilotů a současně

rozpoznává jejich gesta. Jeho účelem je poskytovat plynulou zpětnou vazbu pilotům, což pomáhá snižovat jejich pracovní zátěž a zlepšovat povědomí o situaci. [13]

Samotný systém obsahuje několik kamer směřujících k pilotovi. Kamery pracují v oblasti blízkého infračerveného světla, což je nezbytné vzhledem k výrazné variabilitě intenzity světla v pilotní kabině. Tyto kamery spolupracují i s umělou inteligencí, což umožňuje v reálném čase určit pohled pilota. Celý tento systém využívá nejmodernější počítačové vidění a techniky strojového učení. Systém nejprve detekuje obličej pilota na snímcích, následně lokalizuje různé body na obličejí a v okolí očí a poté provádí detekci zornice a odhad středu křivky rohovky. Výsledkem je multi-kamerový vizuální systém schopný operovat v reálném čase s šedesáti snímky za sekundu a zpožděním 32 ms, který dosahuje přesné detekce pohledu s přesností lepší než 1° . [13]

Systém PEGGASUS byl instalován do kokpitu simulátoru ve společnosti Lufthansa Aviation Training ve Švýcarsku, kde ho hodnotilo 10 profesionálních pilotů. Tento systém piloti hodnotili kladně z hlediska pohodlí a nízké rušivosti. [13]



Obr. 2 Systém kamer PEGGASUS na letovém simulátoru [13]

3. Fyziologické stavy

Fyziologické stavy člověka představují komplexní a proměnlivý soubor stavů, které odrážejí aktuální fyzické, psychické a neurologické podmínky daného jedince. Tato rozmanitost stavů je nejen základem pro chod života, ale také klíčovým faktorem pro udržení celkového zdraví a pohody. Mezi potenciálně rizikové fyziologické stavy pro piloty během letu můžeme zařadit spánek, únavu, stres anebo například inkapacitaci. V následujících kapitolách je základní popis těchto stavů.

3.1. Ospalost

Obecně lze ospalost definovat jako postupné snižování schopnosti mozku zpracovávat informace. V tomto stavu se lidský mozek ocitá pod větším tlakem, což komplikuje vykonávání úkolů, které by byly za normálních podmínek snadno zvládnutelné. To může mít za následek snížení funkce zraku, sluchu nebo vnímání. Ospalost je také spojena se zvyšováním reakčního času, sníženou bdělostí a mohou se objevit chyby v krátkodobé paměti. [23]

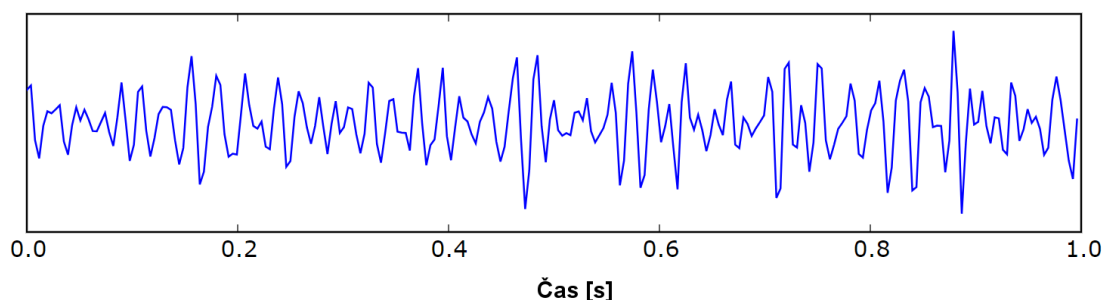
Kromě ztráty přímé komunikace existuje několik metod, jak zjistit, zda pilot usíná. Před usnutím jednotlivci projevují řadu znaků únavy, jako jsou obtíže udržet otevřené oči, zívání, časté mrkání, ztráta koncentrace a zírání. Tyto příznaky se stávají častějšími s narůstajícím stupněm ospalosti, až nakonec dochází k nekontrolovanému usínání. Přestože některé z těchto znaků mohou sloužit jako předzvěsti blížící se neschopnosti, je důležité rozlišovat mezi obecnými projevy únavy a příznaky aktuální neschopnosti. Proto je nezbytné hledat inovativní a spolehlivé metody pro detekci únavy u pilotů. Důraz by měl být kladen na technologické řešení, které by dokázalo identifikovat příznaky únavy v reálném čase a předejít tak vážným následkům v bezpečnosti letu. [19]

3.2. Spánek

Spánek je nedílnou součástí lidského života. Kvalitní spánek zajišťuje bdělost, kvalitu pozornosti a připravenost k výkonu. Můžeme jej definovat jako rytmicky se opakující stav organismu charakterizovaný sníženou reaktivitou na vnější podmínky, sníženou pohyblivostí, typickými změnami aktivity mozku, které lze zjistit elektroencefalografií a sníženou kognitivní činností. Spánek je pro člověka velice důležitý a mnoho studií dokazuje, že nedostatek spánku snižuje mentální výkonnost a mohou se vyskytovat příznaky spánkové opilosti. Osoba může zůstat bdělá nejvýše 36 hodin, aniž by to ovlivnilo její mentální výkonnost. Po uplynutí této doby psychická výkonnost člověka značně klesá. Rozlišují se dva typy spánku. První z nich je REM spánek a druhý NREM spánek. [14]

3.2.1. REM spánek

REM spánek neboli paradoxní spánek je aktivní formou spánku. Pokud se monitoruje REM spánek pomocí EEG, připomíná záznam bdění. V této fázi spánku je vysoký práh probuzení, srdeční frekvence je nepravidelná a doprovázená také nepravidelným dechem. V této fázi se nejčastěji objevují sny a dochází také k rychlému pohybu očí. V této fázi strávíme zhruba 25 % celkového času spánku. [15]

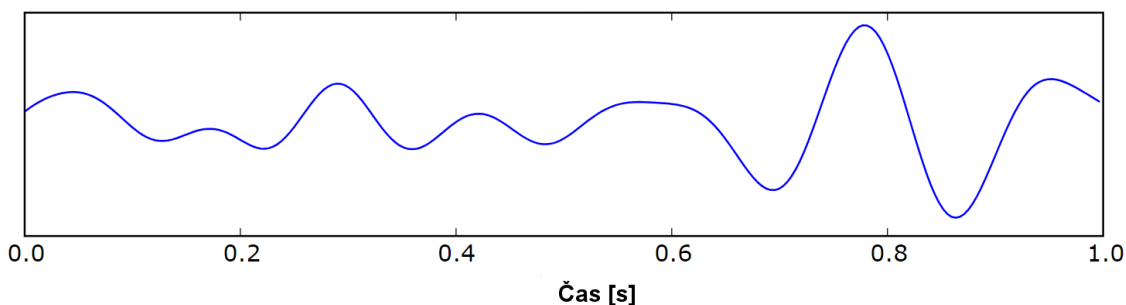


Obr.3 Znáznornění REM spánkového rytmu v EEG (převzato a upraveno z [16])

3.2.2. NREM spánek

Tento typ spánku lze na základě EEG¹ rozdělit do tří fází, které nastupují postupně s prohlubováním spánku. Stav NREM spánku je spojován se synchronizovaným vzorcem EEG, ve kterém lze zaznamenat spánková vřetena a vysokonapětovou aktivitou pomalých vln po celé kůře mozku. [15]

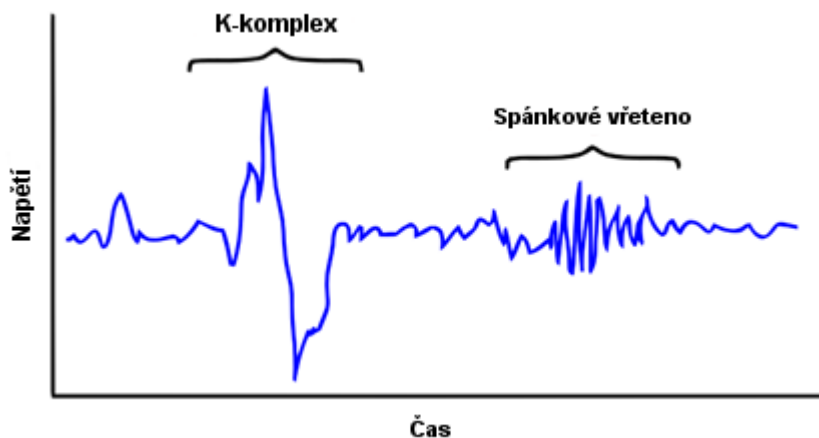
V první fázi (NREM1) dochází ke zpomalení činnosti srdce a dýchání. Mohou se projevat různé záškuby, svalové křeče nebo pocity pádu. Je to stav, ve které upadáme do spánku, ale pořád jsme schopni vnímat vnější podněty. Tato fáze trvá zhruba 1-5 minut a představuje zhruba 5 % z celkového času spánku. [15]



Obr.4 Znáznornění NREM 1 rytmu v EEG (převzato a upraveno z [16])

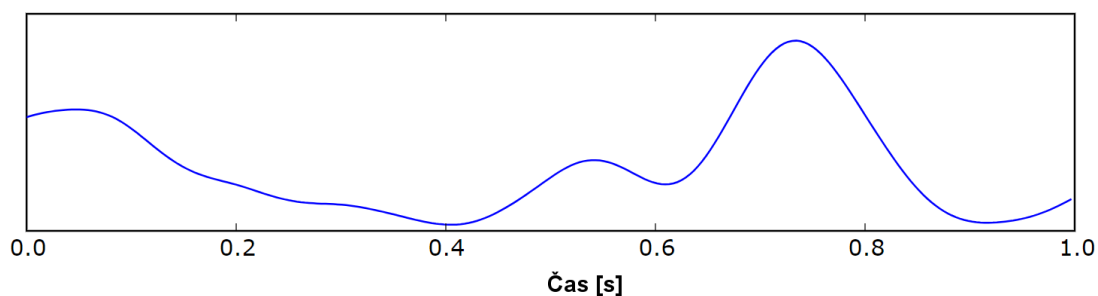
Ve druhé fázi (NREM2) dochází ke snižování teploty, frekvence dýchání a také ke zpomalování srdeční frekvence. Celkově se zpomaluje mozková aktivita a nedochází k pohybu očí. V této fázi strávíme až 25 minut, kdy s každým se opakujícím cyklem dochází k prodlužování. V této fázi se také objevují spánková vřetena a K-komplexy, které přispívají k udržení spánku a konsolidaci paměti. Pro K-komplex je typický ostrý vrchol elektrické aktivity, následovaný okamžitým poklesem, jak je vidět na obrázku 5. Fáze dvě tvoří až 45 % celkového času spánku. [15]

¹ EEG-neboli elektroencefalografie je metoda určená pro monitorování funkčnosti mozku. EEG přístroj sestává z elektrod umístěných na speciálních čepicích, zesilovače a procesoru. Tento přístroj zachytává elektrické signály aktivity mozku přes elektrody umístěné na povrchu hlavy. [17]



Obr.5 Znárodnění výskytu K-komplexu a spánkového vřetena v NREM 2 rytmu (převzato a upraveno z [18])

Třetí fáze (NREM3) je fází hlubokého spánku. V této fázi opět dochází ke snižování tělesné teploty, činnosti srdce a dýchání je v této fázi pomalé a klidné. Délka této fáze se pohybuje v rozmezí 20 až 40 minut a zaujímá přibližně 25 % celkového času spánku. Tato fáze je důležitá z hlediska regenerace, neboť v této fázi dochází k budování svalů a kostí, posiluje imunitní systém a vytváří se energie do dalšího dne. Dalším typickým znakem této fáze je mluvení ze spaní a mohou se objevit noční můry. [15]



Obr. 6 Znárodnění NREM 3 rytmu v EEG (převzato a upraveno z [16])

Ačkoli spánek není stav, který by pilota ohrožoval na životě ve srovnání s ostatními stavy diskutovanými v této práci (např. náhlá srdeční příhoda nebo mrtvice), spánek u pilota může stejně jako jakýkoli jiný stav neschopnosti negativně ovlivnit bezpečnost leteckého provozu. Cílem této práce je detekovat a včasné odhalit počínající stav ospalosti a zabránit tomu, aby se pilot dostal do dalších fází spánku. Podle průzkumu z roku 2016 hlásilo 59,3 % pilotů denní ospalost a 90,6 % únavu během letu. V červnu 2022 dokonce usnuli dva piloti během letu z New Yorku do Říma, což vyvolalo vážné obavy. Proto je velmi důležité ospalost detekovat a aktivně přistupovat k realizaci bezpečnostních opatření, která minimalizují rizika spojená s možnou ztrátou pozornosti a výkonnosti pilota. [19]

3.3. Únava

Fyziologická únava vzniká v důsledku zvýšené zátěže na tělo a je přirozenou součástí každodenního života. Během rekonvalescence po zátěži dochází postupně k plnému obnovení funkčního stavu těla. [20] Existuje také chronická neboli chorobná únava, která se vyskytuje i po dostatečném odpočinku. Tento typ únavy může být příznakem nějakého zdravotního problému. Může být způsobena psychickými problémy, oslabenou imunitou, infekcí v těle, vedlejšími účinky léků, problémy se spánkem nebo také nezdravým životním stylem a špatným pitným režimem. [21] U pilotů může být způsobena různými faktory jako jsou například dlouhé směny, změna časových pásem, nedostatečný spánek anebo stres. Se

zvyšující se únavou se zhoršuje pozornost, snižuje se reakční schopnost, rozhodování a celkově výkonnost. U pilotů tedy může být únava velice nebezpečným faktorem. Proto je důležité zajistit, aby pilot před nastoupením na let byl odpočatý a v dobré fyzické kondici.

V mnoha vědeckých člancích se nerozlišuje pojem únava a ospalost. Z důvodu spolupráce s firmou Honeywell International s.r.o. je nutné tyto pojmy rozlišovat. Firma poskytla systémy pro detekci ospalosti a spánku.

3.4. Inkapacitace

Inkapacitace neboli nezpůsobilost je stav, kdy jedinec není schopen fyzicky ani duševně provádět racionální rozhodnutí ani efektivně komunikovat. Může být způsobena zdravotními problémy, úrazem nebo psychickými problémy. Může se projevit bezvědomím, spánkem nebo výpadky vědomí a může být následkem užívání alkoholu nebo jiných omamných látek. Pro piloty je inkapacitace během letu závažným problémem, a proto je klíčové sledovat jejich výkonnost. [23]

V listopadu 2022 byla také zveřejněna studie „Pilot Medical Monitoring: State of the Science Review on Identification of Pilot Incapacitation“, která se zaměřuje na téma inkapacity u pilotů. Podrobně se zaměřuje na analýzu možností detekce různých forem neschopnosti pilota ve dvoučlenné posádce. V práci jsou uvedeny nejčastější příčiny, které mohou způsobit neschopnost pilota, jako je například náhlá srdeční příhoda, epileptický záchvat, mrtvice, spánek, hypoxie a akutní bolesti. V období 1998 až 1999 bylo zaznamenáno až 39 případů inkapacitace u pilotů. Nejčastějšími důvody neschopnosti byla ztráta vědomí, srdeční problémy, neurologické potíže a gastrointestinální obtíže. V roce 2012 bylo zaznamenáno až 36 případů, z nichž polovina byla spojena s problémy kardiovaskulárního systému a čtyři z těchto případů vedly k náhlé smrti. [24]

Pro minimalizaci rizika takového stavu je klíčové, aby piloti kladli důraz na aktivní životní styl, zdravé stravovací návyky, pravidelný pohyb a dostatek kvalitního spánku. Pro udržení optimální výkonnosti a schopnosti efektivně reagovat na různé situace v kokpitu je nezbytné, aby se piloti starali také o své tělesné a duševní zdraví. [23] [24]

3.4.1. Náhlá srdeční příhoda

Náhlá srdeční příhoda je častou příčinou úmrtí. Jedná se o přirozenou smrt, která nastává s okamžitou ztrátou vědomí do hodiny od prvních příznaků. Postihuje 6-20 % všech úmrtí ve Spojených státech amerických. Náhlá srdeční příhoda se projevuje chybějící srdeční křivkou, nízkou až chybějící saturací kyslíkem, hypotermií a chybějící mozkovou aktivitou nebo špatnou aktivitou zornic. Aktivita srdce se měří pomocí elektrokardiografie (EKG) a je standardní neinvazivní metodou funkčního vyšetření elektrické aktivity myokardu. Výsledek je pak křivka, která zobrazuje elektrickou aktivitu srdce. [25] Tradiční měření EKG na palubě letadla je komplikované, a to hlavně z důvodu pohybu a vibrační letounu, které mohou narušit elektrické a optické snímání aktivity srdce. Jako příklad nositelného systému je LifeVest od společnosti Zoll Systems, který snímá EKG signály a používá prahovou hodnotu asystolie². [26]

3.4.2. Epileptický záchvat

I když každý pilot musí mít platné osvědčení zdravotní způsobilosti a musí u něj být vyloučená epilepsie, byly zaznamenány některé případy výskytu. Epileptické záchvaty jsou výsledkem nadměrné nebo neobvyklé aktivity buněk mozku. Mohou se projevovat různými způsoby, včetně nekontrolovatelného pohybu svalů nebo výpadky zorného pole. Záchvaty

² Asystolie – je stav, ve kterém srdce nevykazuje žádnou elektrickou ani mechanickou aktivitu. [30]

mohou trvat několik minut a může docházet i ke ztrátě vědomí. V současné době je EEG vyšetření (viz. výše) spolehlivou metodou pro detekci epilepsie. [27]

3.4.3. Mozková mrtvice

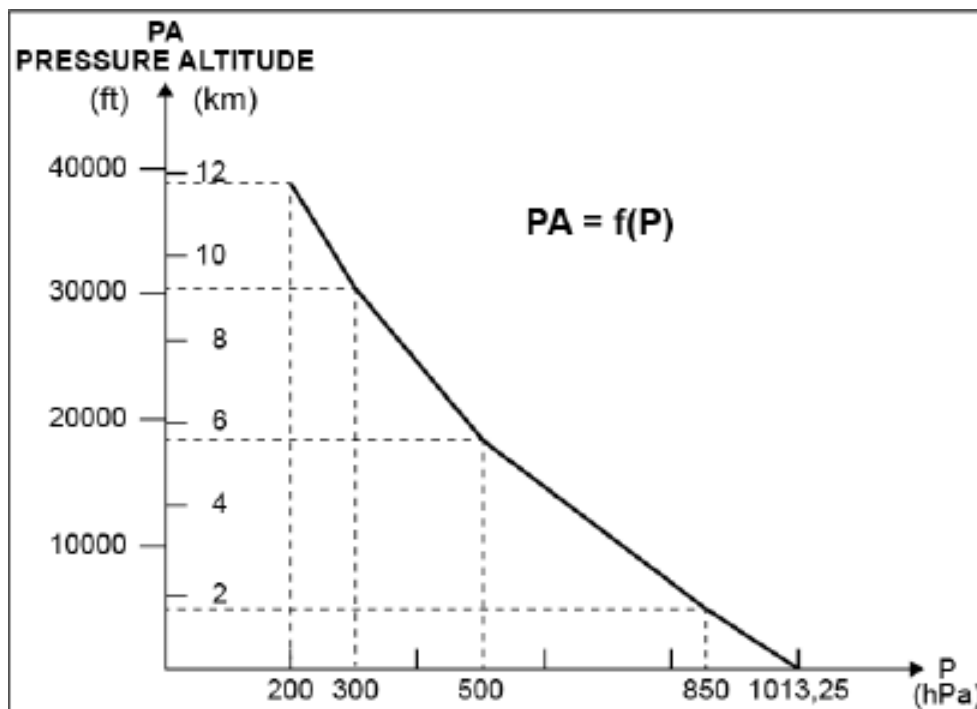
Studie uvádí, že každý rok až 795 000 jednotlivců v USA prodělá mozkovou mrtvici. Velkým problémem může být prodělání mozkové mrtvice u pilota dopravního letadla. Takový případ se stal v dubnu 2021 na letu z Paříže do Tokia společnosti ANA, kdy 8 hodin po startu došlo ke kolapsu prvního důstojníka a kapitán musel převzít kontrolu nad letadlem a nouzově přistát. Mezi základní příznaky mozkové mrtvice patří náhlá slabost, ochrnutí obličeje, nebo ochrnutí na jedné části těla, problém s viděním nebo zmatená a nesrozumitelná řeč. [27]

3.4.4. Hypoxie

Dalším problémem, který může za letu nastat je hypoxie neboli nedostatečné množství kyslíku v těle. Nastává, pokud je nedostatek kyslíku v dýchané směsi nebo pokud okolní podmínky brání difuzi z plic do krevního oběhu. Důvodem je snížení parciálního tlaku kyslíku ve vyšších nadmořských výškách. [28]

Množství kyslíku v krvi jsme schopni měřit pulzním oxymetrem, který nám udává SpO₂. Normální úroveň kyslíku v krvi je definována úrovní SpO₂ na minimální hodnotě 95 %. Pokud klesne hodnota kyslíku pod 95 % procent, může postižený jedinec pociťovat obtíže s dýcháním, únavu, ztrátu koordinace, zmatenost, nevolnost nebo brnění končetin. Piloti kluzáků a lehkých letounů bez přetlakové kabiny by měli ve větších výškách používat kyslíkové masky. Pokud již pilot pociťuje některé z výše uvedených příznaků měl by co nejrychleji sestoupit do nižší letové hladiny. [28]

V nemocničním prostředí se množství kyslíku měří již zmiňovaným oxymetrem, který se umísťuje pacientům na konec prstu. U pilotů se používají nositelná zařízení, která obsahují vestavěné pulzní oxymetry. Tato zařízení se mohou nosit na zápěstí jako hodinky nebo například na hrudi. [27] [28]



Graf 1. Závislosti atmosférického tlaku na nadmořské výšce [28]

3.4.5. Akutní bolest

Neposledním druhem inkapacitace je akutní bolest, která může stejně jako předešlé druhy indispozice značně ovlivnit průběh letu. Typickým příkladem může být gastroenteritida neboli střevní chřipka, což je akutní infekční onemocnění, které postihuje žaludek a střevo. V průzkumech provedených v letech 1968 a 1988 piloti uváděli gastroenteritidu a otravu jídlem jako nejčastější příčinu neschopnosti. Vzhledem k častým případům otravy jídlem by se měli piloti vyhýbat návštěvě restaurací, u nichž mají pochybnosti o hygienických podmínkách. Pokud se pilot nachází v destinaci, kde není pitná voda, měl by se vyhnout konzumaci salátů, ovoce a ledu.

Během letu by měla posádka volit různá jídla, aby předešla případnému požití vadného jídla, což by mohlo představovat závažný problém. Piloti ve dvoučlenné posádce by během letu neměli jíst současně, ale v různých časech, ideálně s odstupem alespoň 30 minut. [31] [27]

3.4.6. Stres

Dalším faktorem, který může ovlivnit pracovní výkony posádky je stres. Stres má škodlivé účinky na základní kognitivní procesy jako je paměť, pozornost, vnímání a další. Tento fenomén byl již diskutován v kapitole o fyziologických stavech, které mohou ovlivnit výkon pilota během letu. Problematika stresu v leteckém prostředí je také předmětem studie „Effects of Acute Stress on Aircrew Performance“. [32]

Stres také může ovlivnit působení na pracovní paměť. Studie uvádí, že osoby s vysokou kapacitou pracovní paměti mohou být méně citlivý na stres, protože mají více rezervní kapacity. Přestože je část jejich pracovní paměti zabrána obavami, stále disponují dostatečným množstvím volné kapacity pro zvládnání dalších úkolů. S. L. Beilock ve své studii „Math performance in stressful situations“ z roku 2008 zkoumal vztah mezi kapacitou pracovní paměti a matematickým výkonem za stresujících podmínek. Zjistil, že jedinci s vysokou kapacitou pracovní paměti byli lépe přizpůsobeni k řízení náročných situací, které vyžadovali intenzivní pracovní paměť, ale byli také těmi, kteří byli nejvíce negativně ovlivněni za stresových podmínek. [32]

V oblasti lidského rozhodování se stále více zkoumá, jaký vliv má stres na kvalitu rozhodování, zejména u profesionálních skupin, jako jsou piloti. Existuje však nedostatek konkrétních studií zaměřených na to, jak stres ovlivňuje rozhodování posádek letadel, zejména v neobvyklých situacích. Dosažené poznatky naznačují, že stres obecně snižuje lidský výkon a soudnost, což může vést k méně systematickému a rychlejšímu rozhodování a k menšímu zvažování alternativních možností. Tato skutečnost nese s sebou riziko zvyšování chyb a nedostatečného zohlednění všech relevantních faktorů při rozhodování. Řada studií ukazuje, že stres interferuje se základní kognitivní funkcí, jako je například paměť a výkonné funkce. Kapacita pracovní paměti klesá, rozsah informací, na které se zaměřujeme, se zužuje, naše schopnost selektivně se zaměřit na soubor informačních signálů klesá, a máme více obtíží se zpracováním vizuální informace v pracovní paměti. Téma stresu u pilotů je detailně zpracováno v práci paní Hany Procházkové, která zkoumala, jak stres ovlivňuje schopnosti pilotů. [33] [32]

4. Biologická měření

Biologická měření jsou klíčovým prvkem v diagnostice a monitorování fyziologických funkcí. Existují dvě hlavní kategorie měření, a to kontaktní a bezkontaktní. Mezi kontaktní metody patří například měření EKG, EEG nebo saturace kyslíku pomocí pulzní oxymetrie (viz výše). U pilotů na palubě letadla je klíčové monitorovat jejich fyziologické stavy co nejjednodušeji a nejlépe bezkontaktně, tedy bez nutnosti přímého kontaktu s kůží, což zvyšuje pohodlí a minimalizuje riziko podráždění kůže. Kromě toho umožňují některé bezkontaktní technologie snímat i více fyziologických funkcí současně a poskytují tak komplexnější informace o zdravotním stavu jednotlivce. [34]

4.1. Senzory

V dnešní době je na trhu dostupná široká škála senzorů, které umožňují monitorovat a sbírat velké množství dat. Mezi nejčastěji používané senzory patří hodinky, hrudní pásy, kamery nebo radary, které poskytují užitečné informace o stavu těla a okolním prostředí. Tyto zařízení jsou schopny měřit tepovou frekvenci, dýchací frekvenci, barvu kůže, saturaci kyslíku a další biometrické údaje.

4.1.1. EEG

Neboli elektroencefalografie (EEG) představuje diagnostickou metodu určenou k zachycení elektrické aktivity mozku z povrchu hlavy. Mozek generuje aktivitu prostřednictvím jednotlivých neuronů a skupin neuronů, což je doprovázeno změnou elektrického a magnetického pole. Je důležité poznamenat, že ne každé pole vygenerované mozkem je dostatečně silné k tomu, aby bylo měřitelné tradičními metodami. Navíc je mozek uložen v lebce, což je vynikající elektrický izolant. Signál zaznamenaný pomocí EEG tak vychází z koordinované aktivity několika miliard neuronů, převážně v mozkové kůře, což je povrchová část mozku umístěná nejbliže k lebce, a tedy i k povrchovým elektrodám. I přesto se amplituda EEG signálu pohybuje pouze v rozsahu desítek mikrovoltů. Elektroencefalografie využívá principu diferenčního zesílení nebo záznamu rozdílů napětí mezi různými body pomocí páru elektrod, které porovnávají aktivní průzkumnou elektrodu s přilehlou nebo vzdálenou referenční elektrodou. [35]

Zaznamenaný EEG signál odhaluje funkční stavy mozku, které podléhají významným změnám jak za normálních fyziologických, tak patologických podmínek. Tato mozková aktivita se mění v závislosti na faktorech jako je například věk, úroveň bdělosti, stav otevření nebo zavření očí. V klinickém prostředí nabízí EEG široké využití, zejména v oblastech neurologie a neurochirurgie. Hlavní využití dosahuje v diferenciální diagnostice záchvatovitých stavů, jako je epilepsie nebo v diagnostice související s neurologickými onemocněními, včetně nádorů. [36]

Měření EEG signálu u pilota by mohlo poskytnout klíčové informace týkající se jeho bdělosti a potenciálního rizika únavy během letu. Analyzování EEG dat by mohlo odhalit změny ve vzorcích mozkové aktivity, které by určili, zda pilot zůstává v bdělém stavu a zda se neobjevují známky únavy nebo zda nepřecházení do spánku. Taková data by byla zvláště důležitá pro predikci možných rizik spojených s nedostatečnou pozorností a kognitivním výkonem, což je v leteckém prostředí klíčové pro bezpečný průběh letu. [35] [36]

Nejjednodušeji se EEG signál získává v klinickém prostředí z elektrod, které jsou umístěny na povrchu hlavy. Jak ale takový signál měřit na palubě letadla? Omezený prostor v kokpitu a nutnost zachování pohodlí a volnosti pohybu pro pilota představují určité problémy měření EEG signálu na palubě. Integrace EEG zařízení do avioniky letadla vyžaduje zohlednění bezpečnostních a certifikačních standardů, zatímco udržení spolehlivého a přesného měření

může být ovlivněno vnějšími faktory, jako jsou vibrace nebo elektromagnetické rušení. Vyřešení těchto výzev by bylo klíčové pro úspěšné využití EEG technologie v leteckém prostředí s cílem zlepšit monitorování a zachovat bezpečnost během letu.

Namísto sledování EEG signálu u pilotů lze využít alternativní metody pro monitorování biometrických údajů, například měření srdeční frekvence pomocí chytrých hodinek, sledování pohybů očí za pomoci kamery a analýzu dýchání. Tyto metody se osvědčují svou jednoduchostí, méně invazivní povahou a snadnější implementací v leteckém prostředí. Tímto způsobem lze účinně monitorovat reakce pilota a získávat klíčová data pro optimalizaci jeho výkonu a pohody během letu.

4.1.2. EKG

Jak již bylo zmíněno výše, EKG neboli elektrokardiograf je přístroj, který je schopný snímat šíření elektrického impulsu po srdci. Je schopný zobrazit elektrickou aktivitu myokardu. Nejčastější měření EKG probíhá v nemocnici, kdy se pacientovi na tělo umístí 10 elektrod. Elektrody umístěné na těle pacienta snímají elektrický vektor myokardu a přístroj zobrazí vektor jako EKG křivku na papíře. Rychlost posunu papíru na EKG je stanovena na 25 mm/s. Papír je rozdělen na menší a větší čtverečky, přičemž jeden větší čtverec obsahuje 5 menších čtverečků. Každý malý čtverec reprezentuje časový úsek 0,04 vteřiny. To znamená, že jeden větší čtverec odpovídá trvání 0,2 sekundy. V praxi se může používat i větší rychlost, a to nejčastěji u měření EKG novorozenců, kteří mají tepovou frekvenci vyšší. [37]

Stejně jako při měření EEG je získávání EKG signálu problematické u pilotů na palubě letadla. Alternativní způsob měření EKG u pilota za letu, je možné pomocí chytrých hodinek přímo na zápěstí. Jednou z výhod této alternativní metody měření je samotné umístění senzoru na zápěstí, které je mnohem pohodlnější než tradiční elektrody připojené na těle. Další výhodou je nepřetržité monitorování EKG, což poskytuje kontinuální sledování srdeční aktivity v reálném čase a existuje tak možnost rychlé detekce potenciálně nebezpečných stavů.

Jako příklad senzoru, který je schopen měřit EKG signál přímo na zápěstí jsou hodinky Vantage V3. Na těchto hodinkách se nachází snímač, který zaznamenává časování a sílu elektrických signálů generovaných srdcem pomocí dvou elektrod, z nichž jedna je umístěna na levém horním tlačítku a druhá na zadní straně hodinek. Výsledný signál EKG je následně odvozen z rozdílu napětí mezi oběma elektrodami. [38]

4.1.3. Pulzní oxymetr

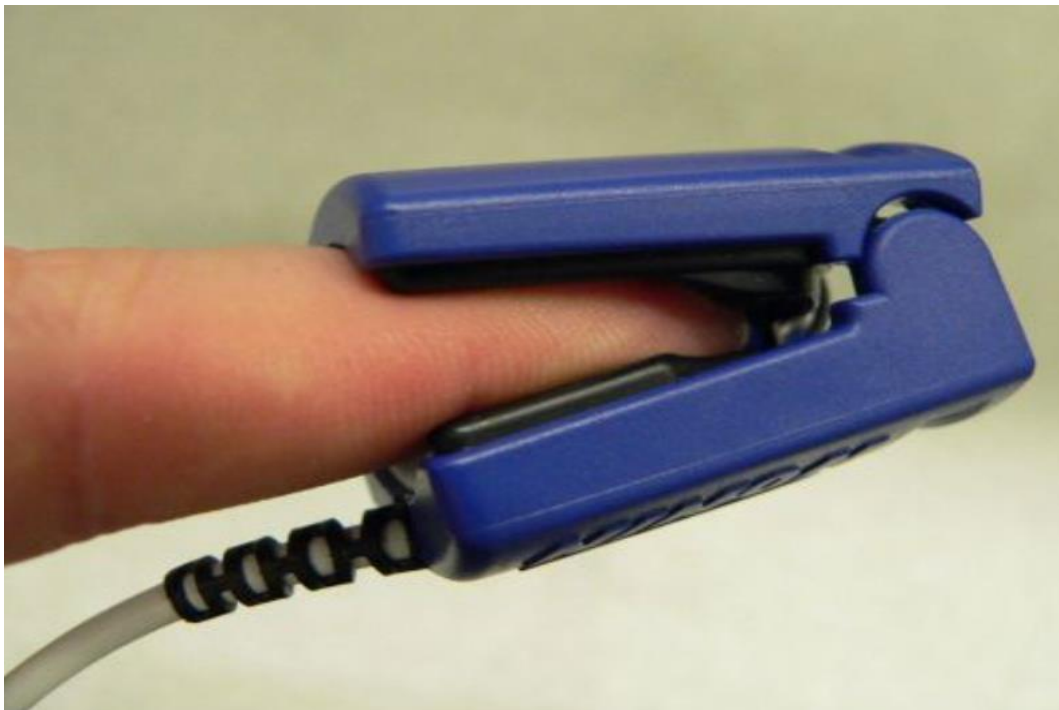
Pulzní oxymetr představuje kompaktní zařízení, jehož velikost je srovnatelná s kuličkou na prádlo. Snadno se připevní na konec libovolného prstu, kde následně provádí měření obsahu kyslíku v krvi této konkrétní části těla. Zařízení je vybaveno displejem, na němž se obvykle zobrazují dvě klíčové hodnoty. První z nich je procentuální hodnota saturace hemoglobinu kyslíkem (SpO₂), což představuje podíl okysličeného červeného krevního barviva v tepenné krvi. Druhou hodnotou je měření tepové frekvence. Pulzní oxymetr je jednoduchý, avšak efektivní nástroj pro monitorování úrovně kyslíku v krvi a tepové frekvence, což jej činí užitečným jak v klinickém prostředí, tak i pro individuální domácí použití. [29] [39]

Klasický pulzní oxymetr umístěný na prstu není pro pilota zcela ideální, neboť může při pilotování způsobit obtíže kvůli svému umístění a hmotnosti. Jako alternativu může pilot využít chytré hodinky, které poskytují pohodlnější a praktičtější možnost sledování saturace kyslíku během letu. Například hodinky Garmin Fenix 5X Plus jsou vybaveny integrovaným pulzním oxymetrem na zápěstí, který sleduje nasycení krve kyslíkem. Tato informace je zvláště užitečná při hodnocení přizpůsobení těla vysokým nadmořským výškám například při

alpských sportech a expedicích. U pilota pak může indikovat přizpůsobení těla při letu v letových hladinách. [39]

Vybrané hodinky Garmin používají kombinaci červeného a infračerveného světla v optickém snímači na zadní straně hodinek a odhadují procento okysličené krve v krevním řečišti. Obecně by měla být tato hodnota ve většině času na úrovni 95 % nebo vyšší. Podle institutu Mayo Clinic jsou hodnoty pod 90 % považovány za nízké. [40]

Funkce pulzního oxymetru v hodinkách při zpuštění provede analýzu nasycení krve kyslíkem a zároveň sleduje aktuální nadmořskou výšku. Profil nadmořské výšky umožňuje interpretovat hodnoty z pulzního oxymetru a porovnávat jejich změny s nadmořskou výškou. Na displeji hodinek jsou hodnoty z pulzního oxymetru zobrazeny jako procento nasycení kyslíkem a grafická křivka. Detailní informace o hodnotách z pulzního oxymetru, včetně záznamů v průběhu několika dní, lze dále analyzovat a sledovat v účtu Garmin Connect™. [39] [40]



Obr. 7 Pulzní oxymetr umístěný na konci prstu [29]

4.1.4. Kamery

Kamery mají širokou škálu aplikací, ať už jde o sledování aktivity nebo monitorování okolního prostředí. Kamery, včetně termokamer, jsou schopny poskytovat vizuální data, ale také umožňují detekci pohybu a sledování pohybu očí, což je užitečné pro různé aplikace, jako je například sledování pohybu zornice pilota v kabině. V rámci této práce se bude jednat především o monitorování pilotů během letu. Pro úvod do problematiky kamer jsou zde představeny základní tři typy kamer.

Prvním z nich jsou RGB kamery, které dokáží zachytit obraz pomocí tří základních barevných složek. Jedná se o červenou, zelenou a modrou oblast světelného spektra. Většina běžných digitálních kamer jsou trichromatické a zaznamenávají právě tyto tři základní složky barev. Kombinací těchto tří složek lze vytvořit celé barevné spektrum. RGB kamery jsou běžně

využívány v mnoha zařízeních, jako jsou digitální fotoaparáty, webové kamery, mobilní telefony a další zařízení pro zachycení obrazu. Jsou také často používány v různých technických a vědeckých aplikacích, kde je potřeba získat přesný barevný obraz. Tento typ kamery pracuje s vlnovou délkou v rozmezí od 400 do 700 nm. [41]

Druhým typem jsou NIR kamery, které jsou schopny zachytit blízké infračervené záření v rozmezí od 740-1000 nm. Tato kamera je schopna detekovat světlo, které je mimo viditelné spektrum pro lidské oko, ale stále blízko k němu. Často se využívá v oblastech, kde je potřeba zobrazit objekty nebo jevy, které by nebyly viditelné běžným fotoaparátem. NIR kamery se často používají v různých vědeckých, lékařských a průmyslových aplikacích. Například mohou být využity ve vědeckém výzkumu, v zemědělství pro monitorování zdraví rostlin a v průmyslu například pro kontrolu kvality výrobků. V lékařství mohou být použity k analýze krevního oběhu nebo ke sledování teploty kůže. [42]

Poslední typem jsou FIR kamery, které jsou schopné zachytit daleké infračervené záření. To znamená, že FIR kamery jsou navrženy tak, aby zachytily tepelné záření, které vydávají objekty v závislosti na jejich teplotě. Tento typ kamer je schopný detekovat například teplotní fluktuaci v oblasti nosu, srdeční frekvenci nebo teplotu kůže těla. Její hlavní výhodou spočívá ve schopnosti monitorovat infračervené záření vysílané tělem za tmy. FIR kamery jsou kvalitní, avšak velice drahá zařízení, lišící se vzorkovacími frekvencemi. [43]

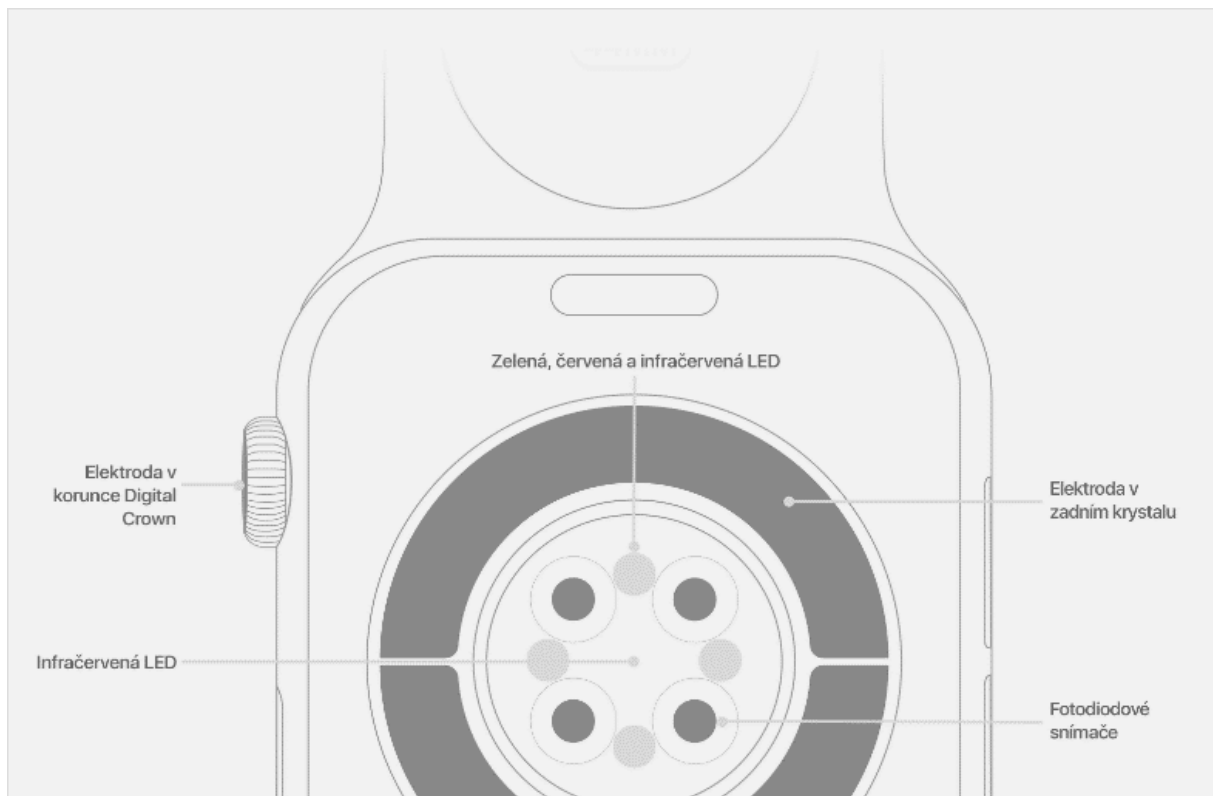
4.1.5. Chytré hodinky

Dalším a také nejčastějším senzorem používaným k měření tepové frekvence a dalších parametrů jsou chytré hodinky. V dnešní době se nejčastěji používají v oblasti fitness a zdravého životního stylu. Díky tomu si získali značnou popularitu a staly se neodmyslitelnou součástí každodenního života mnoha lidí.

Jednou z klíčových funkcí, které uživatelé očekávají, je přesné měření srdečního tepu během různých fází fyzické aktivity a následného zotavování. Srdeční tep je klíčovým indikátorem pro odhad intenzity cvičení a stanovení optimálních tréninkových prahů. V našem případě bude srdeční tep zaznamenáván těmito hodinkami sloužit jako indikátor únavy a ospalosti. [44]

Jako příklad chytrých hodinek jsou Apple Watch, které využívají technologii fotopletysmografie (PPG). Apple Watch využívá zelené LED diody a na světlo citlivé fotodiody k měření množství průtoku krve, které v aktuálním čase protéká zápěstím uživatele. Tato technologie umožňuje krvi odrážet červené světlo a pohlcovat zelené světlo. Při srdečním úderu se zvyšuje průtok krve, což vede k větší absorpci zeleného světla a mezi údery protéká krev méně a k absorpci zeleného světla tak nedochází. Apple Watch pomocí blikání LED diod stokrát za sekundu dokáže vypočítat tepovou frekvenci, to znamená kolikrát srdce udeří za jednu minutu. Tato technologie také dokáže v případě slabého signálu zvýšit jas LED diod a zrychlit tak frekvenci měření. Optický snímač srdeční frekvence je také schopný měřit infračervené světlo, které využívají hodinky k průběžnému měření tepové frekvence na pozadí. [45]

Tento typ hodinek disponuje různými fitness funkcemi, výkonností a designovými inovacemi a patří mezi oblíbená nositelná zařízení na trhu. Mezi základní funkce těchto hodinek patří měření hladiny kyslíku v krvi, měření EKG a pokročilé sledování spánku, které pomáhá monitorovat jeho kvalitu a délku. [46]

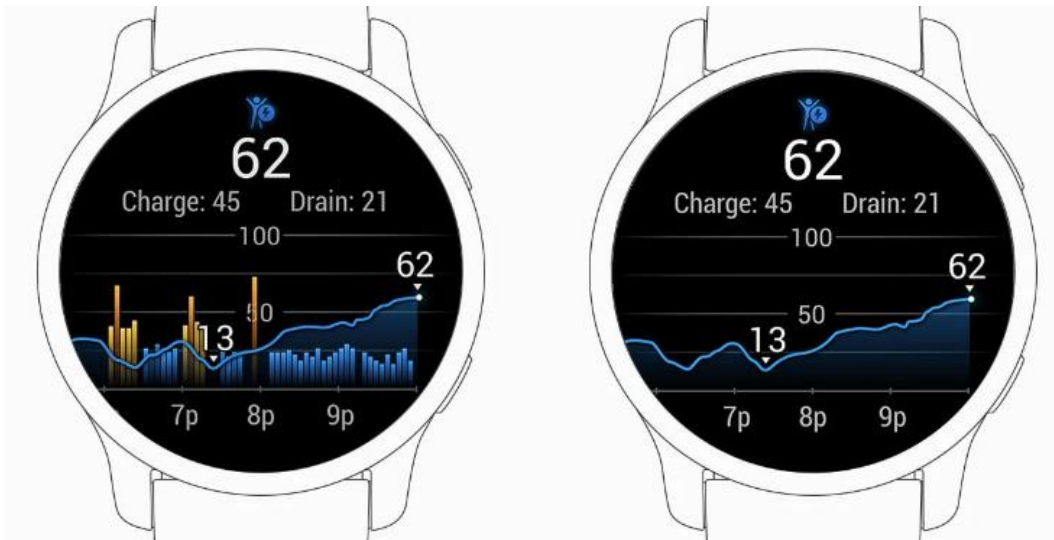


Obr. 8 Zobrazení LED světel a diod na zadní straně Apple Watch [45]

Další firmou, která vyrábí chytré hodinky je firma Garmin. Chytré hodinky od firmy Garmin disponují funkcí Body Battery. Tato technologie využívá komplexního sledování fyziologických dat a analyzuje tepovou frekvenci, spánek a fyzickou aktivitu. Tímto způsobem může uživatel získat přesný obraz o tom, jakou zátěž na své tělo shromažďuje. Funkce Body Battery úzce souvisí s funkcí Stress Score a lze ji charakterizovat jako jednoduchý způsob zpracování a prezentace pomocí jediné hodnoty. Jednoduše řečeno, hodnota Body Battery funguje jako indikátor zbývající tělesné energie. [47]

Během období spánku a relaxace se Body Battery nabíjí. Při nedostatku spánku lze pozorovat, že ráno nedosáhne hodnota Body Battery 100 %, ale stabilizuje se na nižší úrovni. Při trvalém nedostatku spánku pak hodnota Body Battery postupně klesá. Dlouhodobě nízké hodnoty Body Battery mohou signalizovat přetížení a sloužit jako varování před možnými zdravotními následky. [47]

Tato funkce může být vhodná právě i pro pilota a to tím, že pilot dostává prostřednictvím této funkce informace o stavu své tělesné energie, může lépe plánovat svůj odpočinek a přizpůsobit svůj pracovní harmonogram tak, aby maximalizoval svoji výkonnost a současně minimalizoval rizika spojená s únavou. Můžeme říci, že funkce Body Battery může hrát klíčovou roli v podpoře celkového zdraví a výkonnosti pilota, což je v leteckém prostředí nezbytné pro zajištění bezpečného a efektivního letu. [47]



Obr. 9 Zobrazení funkce Body Battery od firmy Garmin [47]

4.1.5.1. Tepová frekvence

Tepová frekvence udává počet úderů srdce za 1 minutu. V rámci tohoto experimentu se tepová frekvence stala jedním z měřených parametrů u pilotů. Pomocí tohoto parametru byli sledovány fyziologické funkce pilotů během letu a zjišťování, jaký vliv má prostředí v kokpitu na jejich srdeční rytmus. Srdeční tep je jedním z indikátorů úrovně stresu, únavy nebo emocionálního napětí u pilota. Zejména v situaci, kdy je pilot vystaven vysokému tlaku nebo musí rychle reagovat na nečekané události, může dojít ke zvýšení srdečního tepu. Monitoring této hodnoty může poskytnout cenné informace o psychickém stavu pilota a může pomoci identifikovat situace spojené s přicházející únavou.

V první řadě jsme stanovili klidovou tepovou frekvenci a to od 60 do 100 tepů za minutu. Podle Americké kardiologické asociace lze tyto hodnoty považovat za normální klidovou tepovou frekvenci. Ve spánku se tepová frekvence pohybuje v rozmezí od 40 do 50 tepů za minutu.[48] Pokud je za klidových podmínek frekvence nižší jak 60 tepů za minutu, jedná se o bradykardii. Například u sportovců se bradykardie považuje za běžnou a klidová tepová frekvence se může vyskytovat v rozmezí od 40 do 50 tepů za minutu. Pokud dosahuje tepová frekvence více než 100 tepů za minutu, jedná se o tachykardii. Ta může být nebezpečná, jelikož zvyšuje riziko srdečně-cévních onemocnění. Zvýšená tepová frekvence může mít celou řadu příčin jako je fyzický stres, psychické vypětí, dehydratace, nadváha, obezita nebo hypertenze. [49]

4.1.6. Hrudní pás

Dalším zařízením, které umožňuje měření tepové frekvence je hrudní pás. Hrudní pás na měření srdečního tepu lze uplatnit v různých situacích ať už se jedná o sportovce připravující se na závod nebo chceme-li sledovat své srdce ze zdravotních důvodů. I když nositelná zařízení, jako jsou chytré hodinky umožňují snadné měření srdečního tepu, hrudní pásy nabízejí přesnější měření. Mnoho hrudních pásů také umožňuje propojení s chytrými hodinkami nebo telefony, což umožňuje rychlý přístup a ukládání pořízených dat.

Avšak hrudní pásy mají pověst nepříliš pohodlného nošení zejména během cvičení a dalších aktivit. U pilotů mohou být hrudní pásy méně pohodlné a náročnější na instalaci, což může zpomalit proces a způsobit rušení a snížení koncentrace při pilotáži ve srovnání

s pohodlnějšími a praktičtějšími chytrými hodinkami. Proto se již o tomto typu senzoru nebudu dále zmiňovat. [50]

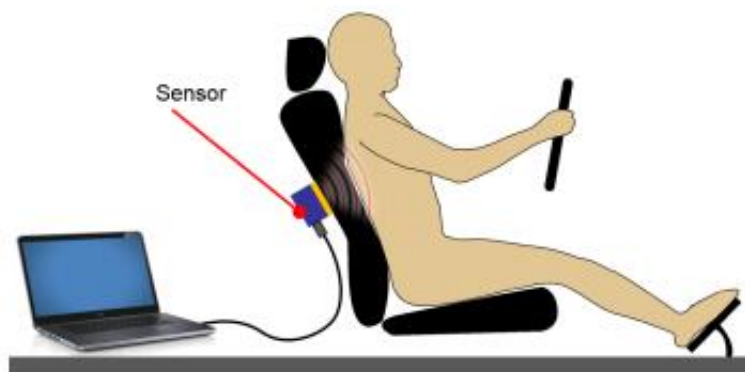
4.1.7. Mikrovlnný radar

Dalším typem senzoru, který by umožňoval měření tepové frekvence u pilota během letu je mikrovlnný radar. Jednou z hlavních výhod tohoto zařízení je široký záběr a flexibilita v detekci srdeční frekvence, což znamená, že nemusí být nutné přímé umístění snímače na těle pilota. V porovnání s některými jinými senzory na těle jako jsou chytré hodinky a hrudní pásy, může mikrovlnný radar minimalizovat ovlivnění pohybu pilota a snížit tak pravděpodobnost chybných měření.

Jako nevýhodu můžeme uvést citlivost těchto radarů na okolní rušení, což může ovlivnit přesnost měření, zejména v prostředí s vysokým elektromagnetickým rušením. Také implementace mikrovlnného radaru může být velice nákladná, zejména pokud jsou vyžadovány speciální technologie a úpravy v letadlovém vybavení.

Touto problematikou se také zabývá studie „Microwave Interferometer Radar-Based Vital Sign Detection for Driver Monitoring Systems“. Tato studie je zaměřena především na radar s nepřerušovanými vlnami (CW radar), který je výhodnější pro bezkontaktní detekci vitálních funkcí a pracuje na principu Dopplerova jevu. To znamená, že informace o srdečním tepu a dýchání jsou získávány analýzou fázového času obsaženého v odraženém konstantním frekvenčním signálu od objektu, v našem případě od pilota. Radar tedy měří pohyb hrudníku způsobený dýcháním v rozsahu od 4 do 12 mm a pohyb způsobený pouze srdečním tepem, který se pohybuje od 0,2 do 0,5 mm. [51]

Radarová technologie se také používá v automobilovém průmyslu pro zvýšení bezpečnosti a vylepšení autonomního řízení vozidla. V rámci současného výzkumu v oblasti autonomního řízení nabývá stále většího významu implementace inovativních technologií pro monitorování stavu řidičů. Existují již provedené studie zaměřené na tuto technologii, kde byla provedena detailní analýza výkonu navrhovaného interferometrického radaru včetně jeho schopnosti spolehlivě monitorovat vitální funkce, jakými jsou srdeční tep a dechová frekvence řidiče s čidly zabudovanými v sedadle. Tato technologie by mohla v budoucnosti poskytovat cenné informace o stavu řidiče a přispět k bezpečnosti autonomního řízení. Tyto studie poskytují důležité poznatky o aplikovatelnosti této radarové technologie pro monitorování řidičů a ukazují na její významný potenciál v oblasti autonomního řízení. [52]



Obr. 10 Snímač na zadní straně sedadla [52]

4.2. Možnosti a překážky integrace senzorů na palubě

V letectví nabízí biologická měření mnoho výhod, zejména pokud jde o monitorování fyziologického stavu posádky. Vyskytují se zde otázky týkající se zejména napájení těchto zařízení. Existují dvě možnosti napájení těchto zařízení, a to buď použití vlastní baterie nebo zabudování senzorů přímo do avioniky letounu.

- Použití vlastní baterie
Jedním z hlavních problémů je spolehlivé a nepřetržité napájení těchto senzorů. Použití vlastních baterií sice minimalizuje interferenci s letadlovými systémy, ale vyžaduje pečlivé plánování a zajištění dostatečného nabití před každým letem.
- Integrace přímo do avioniky letounu
Alternativní možností je napájení senzorů přímo z avioniky letounu. Tato možnost však může vyžadovat složité certifikační procesy a splňování vysokých bezpečnostních standardů, což může být časově náročné a nákladné.

Senzory také musí být správně umístěny a nainstalovány tak, aby neomezovaly pohyb posádky ani nezasahovaly do jejich pracovního prostředí. To vyžaduje důkladné plánování a design, aby byla zajištěna jejich funkčnost bez negativního vlivu na pohodlí posádky. Také samotná instalace senzorů nesmí ohrozit bezpečnost letadla ani jeho systémy. To znamená, že jakýkoli nový prvek musí být důkladně otestován a schválen leteckými úřady.

Problém také může nastat v tom, jakým způsobem ukládat data. Data získaná z biometrických senzorů musí být bezpečně ukládána a chráněna před neoprávněným přístupem. To vyžaduje použití robustních šifrovacích metod a bezpečnostních protokolů. Také zpracování dat v reálném čase vyžaduje dostatečnou výpočetní kapacitu a spolehlivé komunikační kanály, což může být náročné v prostředí letadla.

Dalším problémem může představovat soukromí pilotů. Monitorování fyziologických funkcí posádky vyvolává otázky týkající se ochrany soukromí. Piloti musí být informováni a souhlasit s použitím senzorů, a jejich data musí být zpracovávána v souladu s platnými zákony a předpisy na ochranu osobních údajů. Proto je důležité zajistit, aby byly zohledněny jejich názory a poskytnout jim jasné informace o tom, jak budou data používána a chráněna.

Integrace biometrických senzorů na palubě letadel představuje významný krok směrem ke zvýšení bezpečnosti a efektivity leteckého provozu. Možnosti těchto senzorů jsou široké, od prevence ospalosti a zdravotních komplikací po optimalizaci pracovních výkonů posádky. Navzdory významným překážkám, jako jsou napájení zařízení, umístění a instalace, ukládání a zpracování dat a ochrana soukromí pilotů, je možné tyto výzvy překonat vhodným zavedením senzorů na palubě. Správně integrované biometrické senzory pak mohou poskytnout cenné informace, které přispějí k bezpečnějším a efektivnějším letům.

5. Metody a analýza hodnocení ospalosti a spánku

Pro posouzení ospalosti, popřípadě spánku se používají subjektivní metody ve formě dotazníků, nebo objektivní metody založené na fyziologických signálech.

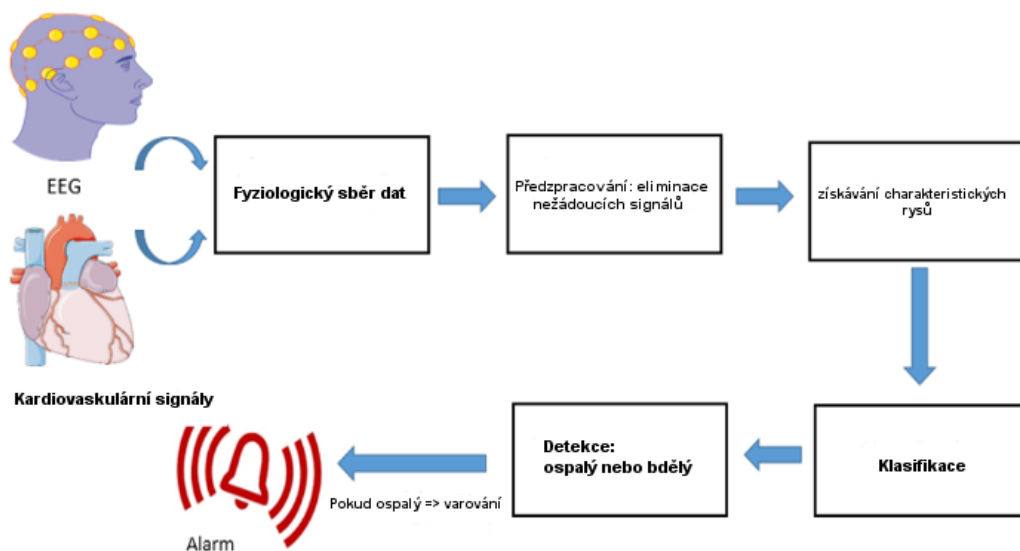
5.1. Karolínská škála spavosti

Často používaná dotazníková metoda pro hodnocení ospalosti a spánku je Karolínská škála spavosti, anglicky nazývaná Karolinska Sleepiness Scale (KSS). Jedná se o subjektivní škálu hodnocení, která se používá k posouzení míry ospalosti jednotlivce. Často se používá v různých výzkumných studiích, jako jsou například studie spánku, práce na směny, spánkové deprivace anebo hodnocení ospalosti při řízení vozidel. [54]

Hodnocení ospalosti pomocí KSS probíhá tak, že jednotlivci ohodnotí svůj aktuální stav ospalosti na škále od 1 do 9, kde hodnota 1 představuje extrémní bdělost a hodnota 9 extrémní ospalost. Tato škála umožňuje rychlý a efektivní způsob, jak posoudit ospalost. KSS také dobře koreluje s objektivními měřeními, jako jsou polysomnografické³ záznamy (PSG) a výkonnostní testy. [54]

5.2. Studie zabývající se detekcí spánku

V rámci rozvoje metod detekce ospalosti pilotů během letu se uskutečnila řada studií, zaměřených na využití fyziologických signálů. Sledování fyziologických signálů, jako jsou elektroencefalografie (EEG), elektrokardiografie (EKG), elektrookulografie⁴ (EOG), elektromyografie (EMG) a fotopletysmografie (PPG), představuje spolehlivou techniku pro rychlou identifikaci nástupu ospalosti. Jako příklad takového detekčního a varovného systému založeného na fyziologických signálech ospalosti, je znázorněn na obrázku 11. [55]



Obr. 11 Detekce ospalosti pomocí fyziologických měření (převzato a upraveno z[55])

Několik studií se objevuje také v práci „Potentials of Physiological Signals to Implement A Wearable Drowsiness Detection and Warning System for Pilots“. Například výzkum Savueta a kol. demonstroval možnost detekce nízké bdělosti pomocí jediného EEG signálu s jednou

³ Polysomnografie – je sledování průběhu spánku pomocí monitorace řady fyziologických parametrů během vyšetření ve spánkové laboratoři [53]

⁴ Elektrookulografie (EOG) je diagnostická metoda pro sledování pohybu očních bulbů [56]

elektrodou s přiměřenou přesností. [57] V další studii provedené na letu z Londýna do Miami byla použita kombinaci EEG a EOG k pozorování fyziologických změn spojených s ospalostí, přičemž dospěla k závěru, že tyto metody mohou spolehlivě detekovat ospalost během 20 sekund. Této studii se zúčastnilo 12 pilotů British Airways, kteří prováděli letovou operaci přibližně 9 hodin. Další výzkum Morrise a Millera ukázal, že změny v amplitudě mrkání, frekvenci mrkání a délce zavření očí mohou sloužit jako indikátory stavu bdělosti pilota. [57] [58]

Zhanga a Liu například studovali dopad ospalosti na EKG a pulsní signály a snažili se najít přirozený způsob, jak monitorovat ospalost. [59] Studie od Akina a kol. se zaměřila na kombinaci různých fyziologických signálů, jako je EKG a EMG, k posouzení přechodu od bdělosti ke spánku. Studie se zúčastnilo třicet subjektů a byly zkoumány tři podmínky pro stádium bdělosti: bdělý, ospalý a spící. Výsledky ukázaly, že použití EEG a EMG zvyšuje přesnost detekce ospalosti. [60] [61]

Závěrečný výzkum provedený Khushabou a kol. zahrnoval simulaci řízení vozidla, přičemž kombinace EEG, EKG a EOG dosáhla klasifikační přesnosti detekce mezi 95 až 97 %. [61] Tyto studie představují důležitý základ pro budoucí vývoj a integraci detekčních systémů do praxe, a nabízejí cenný přehled o potenciálním využití fyziologických signálů pro monitorování a zvyšování bezpečnosti v letectví. [61]

6. Praktická část práce

6.1. Zadání praktické části

Praktická část této práce je primárně zaměřena na sběr reálných dat chování pilota všeobecného letectví během letu. Sběr dat bude probíhat za pomoci chytrých hodinek a kamery. Tyto senzory byly zvoleny z důvodu spolupráce s firmou Honeywell International s.r.o., která má pro tyto senzory vyvinuté detekční algoritmy pro ospalost a spánek. V kapitole 7.2. a 7.3. jsou tyto senzory blíže specifikovány.

Cíle této práce jsou následující:

- Sběr reálných dat chování pilota z reálného prostředí za pomoci chytrých hodinek a kamery. Během letu nejsou vytvořeny žádné přídatné úkoly. Celý let probíhá úplně stejně jako by probíhal bez tohoto sběru dat. Z důvodu použití jen samotné kamery bez přídatného iluminátoru je důležité eliminovat pouze použití neprůhledných brýlí během letu.
- Najít vhodné umístění kamery pro různé typy letounů. Jedná se o optimální umístění kamery na čelním skle bez vlivu na pilota. Kamera má mít zorné pole nastaveno tak, aby snímalo pilota od pasu nahoru a nedocházelo ke snímání jiných osob na palubě.
- V případě, kdy při sběru dat nedojde k výrazné ospalosti nebo usnutí pilota, bude provedena simulace usnutí pro ukázkou detekce.
- Pro detekci ospalosti a spánku budou použity systémy vyvinuté firmou Honeywell International s.r.o. pro detekci ospalosti/spánku z chytrých hodinek a zaznamenaného videa.
- Analýza naměřených dat z chytrých hodinek a videa a výsledky detekce ospalosti a spánku.
- Vyhodnocení použitých dotazníků včetně posouzení akceptace technologie od pilotů. Názor pilotů na případné použití technologie v reálném provozu.

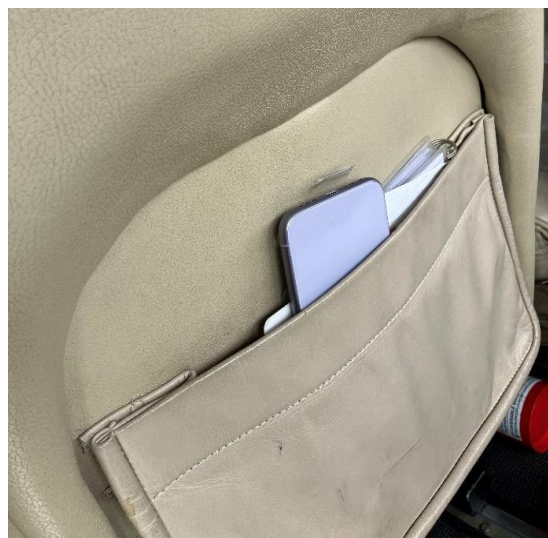
6.2. Metodologie

Samotný sběr dat s ohledem na spolupráci s firmou Honeywell International s.r.o. a použití jejich technologií pro detekci ospalosti a spánku byl naplánován na období od začátku února 2024 do konce dubna 2024.

Před zahájením sběru dat bylo nezbytné povést předběžné testování senzorů, aby se zajistila jejich plná funkčnost a spolehlivost. Toto testování zajistilo, že chytré hodinky byly kompatibilní s mobilním telefonem iPhone a správně ukládali data. Také se ověřilo, zda připojení mezi hodinkami a telefonem je stabilní a bez problémů. U GoPro kamery se zajistila její funkčnost a dle zadání projektu našel vhodný způsob upevnění v kokpitu letounu, aby kamera snímala dle zadání. Všechny senzory musely splnit podmínku umístění tak, aby neomezovali pilota během letu. Podrobný popis testovacího letu je uveden v 7. kapitole.

Pro získání potřebných informací od pilotů, doplnění údajů pro samotný sběr dat a následnou analýzu byly vytvořeny celkem čtyři dotazníky. Piloti byli požádáni o jejich vyplnění, kdy první dva dotazníky byly vyplňovány před letem a další dva po letu. Tyto dotazníky jsou detailně popsány v kapitole 6.3.

U každého sběru dat jsem byl osobně přítomen. Pilotům jsem vždy dal dotazníky na vyplnění, pomohl připevnit chytré hodinky, optimálně nainstaloval kameru do kokpitu letadla a sdělil základní informace o průběhu samotného sběru dat. Před vzletem bylo zapotřebí připojit hodinky k iPhone, který se po připojení k hodinkám umístil na příslušné místo na palubě. Nejčastěji se telefon odkládal do kapsy přední sedačky, jak lze vidět na obrázku 12. Poté jsem zapnul nahrávání kamery a pilot mohl zahájit let. Po dokončení letu jsem zastavil nahrávání kamery i hodinek a odinstaloval kameru společně s příslušenstvím z předního skla. Po letu následovalo vyplnění potřebných dotazníků.

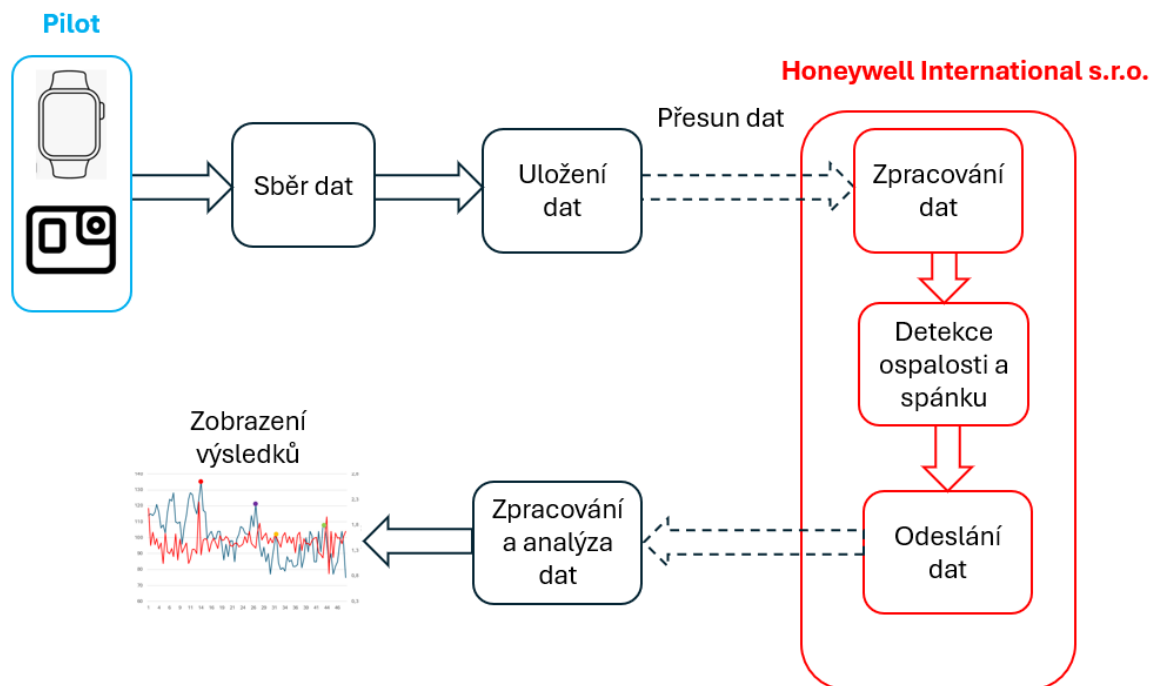


Obr. 12 Umístění telefonu iPhone, zdroj: autor

Základem sběru dat byly již právě zmíněné hodinky Apple Watch. Důvodem výběru právě těchto hodinek byla jejich popularita a podpora ze strany firmy Honeywell, která má pro tyto hodinky vyvinutou speciální aplikaci. Tato aplikace umožňuje nejen sběr dat, ale i jejich následné zpracování s využitím pokročilých algoritmů pro detekci ospalosti a spánku. Data z hodinek jsou sbírány v režimu off-line, což znamená, že naměřené hodnoty jsou nejprve uloženy do připojeného iPhone, který slouží jako úložiště a poté jsou data odeslána ke zpracování firmě. Pro účely analýzy v této práci jsou z těchto chytrých hodinek k dispozici data o tepové frekvenci a hodnoty z akcelerometru.

GoPro kamera byla použita pro video záznam pilota. Snímala oblast od pasu nahoru. Kamera byla zvolena specificky pro tyto účely a byla strategicky umístěná ve vybraných typech letadel tak, aby neovlivňovala běžnou činnost pilota a zároveň poskytovala optimální záběry. Kamera byla umístěna takovým způsobem, aby bylo minimalizováno riziko ovlivnění záběrů přítomností dalších osob na palubě. Záznam z kamery je uložen na SD kartu přímo v zařízení. Po dokončení letu jsou data z kamery stáhnuta do počítače a následně odeslána společnosti pro další analýzu.

Nasbíraná data budou vyhodnocena systémem detekce ospalosti a spánku firmou Honeywell International s.r.o. Firma používá na vyhodnocení dat své vlastní algoritmy. V této práci byly použity dva nezávislé systémy, ke kterým jsem neměl přístup. První založený na chytrých hodinkách pro detekci ospalosti a spánku. Druhý založený na datech nasnímaných kamerou pro detekci ospalosti a spánku. Příslušný pracovník firmy Honeywell International s.r.o. nasbíraná data zpracoval pomocí jejich systému a výsledky detekce ospalosti a spánku mi poskytl pro mou práci a následnou analýzu. Na obrázku 13 je zobrazen postup sběru, zpracování a vyhodnocení dat.



Obr. 13 Schéma sběru a zpracování dat, zdroj: autor

6.3. Dotazníková metoda

V rámci tohoto sběru dat a analyzování výsledů byly vytvořeny celkem 4 dotazníky a piloti byli piloti požádáni o jejich vyplnění. První dva piloti vyplňovali před letem a zbývající dva následovali po dokončení letu. V rámci dotazníkové metody byly vytvořeny tyto dotazníky:

- Vstupní dotazník
- Předletový dotazník
- Dotazník po letu
- Výstupní dotazník

Vstupní dotazník se zaměřoval na shromažďování základních osobních údajů pilotů, jejich leteckých zkušeností, včetně držení licencí, typových kvalifikací a celkového počtu nalétaných hodin. Tento dotazník měl vytvořit profil každého pilota a poskytnout přehled o jeho leteckých zkušenostech.

Předletový dotazník se soustředil na konkrétní let, který měl pilot absolvovat. Zjišťoval informace o plánované trase, počasí, počtu osob na palubě a další údaje, které mohli ovlivnit průběh letu. Kromě toho se dotazoval na pilotovu připravenost na let, včetně kvality a délky spánku před letem nebo konzumaci kávy a různých energetických nápojů.

Dotazník po letu byl zaměřen na průběh samotného letu, včetně vnímaného stresu, stresových situací, únavy a koncentrace. Tento dotazník měl poskytnout přehled o fyzickém a psychickém stavu pilota během letu a identifikovat potenciální rizikové faktory, které se během letu mohli vyskytnout. Zvláštní pozornost byla věnována také tomu, jak piloti vnímali přítomnost kamery a hodinek a jestli tato zařízení ovlivňovala jejich pohodlí a schopnost soustředit se.

Výstupní a zároveň poslední dotazník nám poskytl informace o tom, jak piloti vnímají a jak jsou ochotni přijmout různé metody způsobu monitoringu během letu, zejména v kontextu se

zvyšováním bezpečnosti v letectví. Z dotazníku jsme mohli zjistit, jaké typy upozornění by piloti preferovali v případě, že senzor detekuje jejich únavu nebo ztrátu pozornosti. Zjištění z tohoto dotazníku nám může pomoci při návrhu efektivnějších systémů varování, které by piloty adekvátně upozornily a pomohly udržet jejich pozornost během letu.

Tyto dotazníky jsou obsažené v příloze D a slouží jako klíčový nástroj ke sběru dat a vyhodnocení stavu pilota v průběhu experimentu. Dotazníky byly sestaveny s ohledem na sledování specifických parametrů, jako je srdeční tep, pocit stresu, únavy či další fyziologické reakce, které mohou ovlivnit výkonnost a bezpečnost pilotáže. Každý dotazník obsahoval soubor otázek, zaměřených na identifikaci těchto faktorů a současně na možnosti budoucího využití této technologie v letectví.

6.4. GoPro Hero 12

Tato kamera je pokračováním známé řady akčních kamer od společnosti GoPro, která je populární svou odolností, kompaktním designem a schopností zaznamenávat kvalitní video a fotografie v náročných podmínkách. Tato kamera je pro svoji oblíbenost používána dobrodruhy, sportovci i profesionály, kteří si chtějí zachytit své nezapomenutelné okamžiky z různých úhlů pohledů.

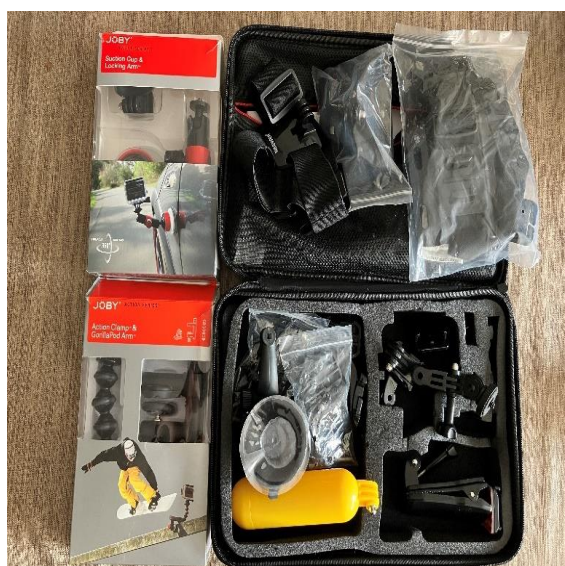
V rámci praktické části této práce byla GoPro Hero 12 vybrána k monitorování pilotů z několika důvodů. Kamera je zobrazena na obrázku 14. Díky její velikosti a flexibilním možnostem uchycení bylo možné umístit kameru na různá místa v pilotní kabině či interiéru letounu tak, aby bylo dosaženo optimálního úhlu záběru bez toho, aby došlo k přímému zásahu do pilotova zorného pole nebo omezení jeho výhledu.

Klíčovými vlastnostmi této kamery jsou například vysoká kvalita obrazu, odolnost proti extrémním podmínkám, širokoúhlý objektiv a stabilizace obrazu. Tato kamera oproti svým předchůdcům disponuje dlouhou výdrží baterie, díky které může kamera nahrávat video až o délce 70 minut při 5,3K při 60 snímcích za sekundu nebo 2,5 hodiny při 1080 pixelech s 30 snímky za sekundu. V případě, že by doba letu přesáhla 70 minut, existuje možnost výměny baterie, což je praktické řešení pro delší lety. Kamera také disponuje ultra širokoúhlými čočky HyperView a SuperView, které umožňují široký záběr 16:9. Co se týče technických parametrů, rozměry kamery činí 7 cm na šířku, 4,9 cm na výšku a 3,4 cm je hloubka výrobku, zatímco její hmotnost dosahuje pouhých 0,1 kg. Tyto parametry z ní činí vysoce mobilní a efektivní zařízení pro monitoring v různorodých podmínkách. [62]

Společnost Honeywell International s.r.o. pro účely této práce mi také poskytla nejen samotnou kameru, ale i širokou škálu příslušenství. Sada příslušenství obsahuje různé druhy držáků, jako jsou přísavky pro upevnění na hladké povrchy, čelenky a popruhy na různé části těla pro záznamy z mnoha úhlů, nebo flexibilní stativy, které lze umístit na různá místa po pilotní kabině. Na obrázku 15 je zobrazeno příslušenství pro tuto kameru. Pro případ umístění kamery mimo pilotní kabinu, je k dispozici ochranné vodotěsné pouzdro, které umožňuje natáčet v náročných povětrnostních podmínkách bez rizika poškození kamery. Dalším doplňkem, které mi firma poskytla jsou 3 baterie, které zajišťují dlouhý provoz kamery při déletrvajících letech.



Obr. 14 Kamera Go Pro Hero 12,
Zdroj: autor



Obr. 15 Příslušenství ke kameře GoPro,
Zdroj: autor

6.5. Apple Watch Series 6

V rámci praktické části této práce jsou kromě GoPro Hero 12 kamery využívány také hodinky Apple Watch series 6 spolu s Iphonem 11, který sloužil jako úložiště pro hodnoty zaznamenané hodinkami. Hodinky má pilot umístěné na zápěstí a umožňují kontinuální monitorování pilotova srdečního tepu a hodnoty z akcelerometru, zabudovaného v hodinkách. Reálná data získaná z hodinek byla poslána do firmy Honeywell International s.r.o., která pomocí svých algoritmů a aplikací analyzovala a vyhodnotila možnou ospalost a spánek za letu. Získané výsledky hodnoty tepové frekvence a akcelerometru poskytnuté firmou Honeywell International s.r.o. slouží pro konečnou analýzu těchto dat a identifikaci ospalosti a spánku. Bližší specifikace jsou popsány výše v kapitole 4.1.5. Chytré hodinky. [63]

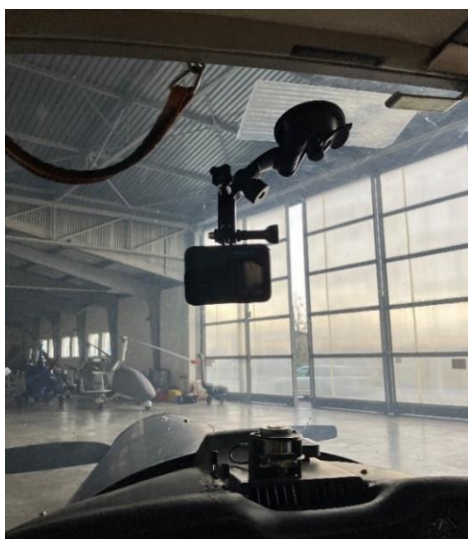


Obr. 16 iPhone 11 a Apple Watch series 6, Zdroj: autor

7. Integrace a testování kamery na palubě letounu

K prvnímu testovacímu letu, během kterého se zkoušela GoPro kamera, byl použit letoun Z43. Kamera byla připevněna na horní část předního skla pomocí přísavky, protože tato pozice umožňovala optimální umístění pro záznam bez toho, aby kamera bránila ve výhledu pilota nebo ovlivňovala ostatní letové přístroje. Kamera první část letu vydržela připevněna na stanoveném místě, avšak po 25 minutách letu došlo k neplánovanému uvolnění kamery. Příčinou tohoto incidentu byly pravděpodobně vibrace za letu a příliš nízká teplota čelního skla, které společně způsobily, že přísavka ztratila svoji účinnost a kamera se uvolnila. Proto bylo nutné analyzovat příčinu uvolnění mechanismu a vzít v úvahu opatření pro lepší umístění kamery.

Ve druhém testovacím letu, který trval 40 minut, byla použita jiná a robustnější přísavka. Přísavka s kamerou byla umístěna na stejném místě jako při prvním letu, na horní část předního skla. Během celého letu kamera vydržela na svém místě, aniž by se uvolnila, což potvrzuje účinnost nové přísavky. Během letu se nevyskytly žádné turbulence. Tyto povětrnostní podmínky přispěly ke stabilnímu prostředí kamery a přispěly k úspěšnému průběhu testovacího letu. Při pozdější analýze nahraného videa, bylo vidět menší vychýlení snímaného obrazu především při zatáčení letounu. Tato chyba mohla být způsobena nedostatečným dotažením stativu na kterém byla umístěna kamera. Aby se zabránilo podobným problémům, bylo nezbytné pořádně dotáhnout součásti stativu a jeho komponenty, aby nedošlo v průběhu letu k povolení mechanismu. Celkově se kamera použila na 3 typech letounu, které jsou popsány níže. Ve všech letounech byla kamera umístěna přísavkou na čelním skle, jak je vidět na obrázcích 17 a 19.



Obr. 17 Umístění kamery při prvním letu
Zdroj: autor



Obr. 18 Umístění kamery s novou přísavkou,
Zdroj: autor

7.1. Letounu Z-43 s registrací OK-WOD

Letoun Z-43 je čtyřmístný, jednomotorový, lehký sportovní letoun, který byl navržen a vyráběn společností Moravan Otrokovice. Letoun je vybaven řadovým šestiválcovým a vzduchem chlazeným motorem M337 A/AK s levotočivou stavitelnou vrtulí. Motor je také vybaven nízkotlakým vstříkovacím čerpadlem a vypínatelným odstředivým kompresorem.

Střední část trupu tohoto letounu je svařena z ocelových trubek a pokryta laminátem. Zde jsou uvedeny základní parametry tohoto letounu: [64]

- Rozpětí křídel: 9,76 m
- Délka: 7,75 m
- Výška 2,91 m
- Plocha křídla: 14,50 m²
- Dolet: 1100 km
- Praktický dostup: 3800 m
- Maximální cestovní rychlost: 235 km/h
- Objem palivových nádrží: Hlavní nádrže 2 x 60 l + koncové nádrže 2 x 50 l



Obr. 19 Letoun Z43 na letišti v Přerově

7.2. Letounu C172P s registrací OK-CLL

Letoun C172 je čtyřmístný, jednomotorový hornoplošník s pevným předovým podvozkem vyráběný firmou Cessna Aircraft Company od roku 1956. První sbírání dat proběhlo konkrétně na letounu s registrací OK-CLL, který je vybaven motorem IO-320-D2J s výkonem 160 koňských sil a dvoulistou pevnou vrtulí McCauley. Tento čtyřválcový, vzduchem chlazený motor poskytuje dostatečný výkon pro výcvikové a sportovní létání. Přístrojová palubní deska je vybavena GPS Garmin GTN 650 a standartní sadou analogových přístrojů, jak je patrné na obrázku 18 a 19. V dnešní době však prošla řada těchto letounů modernizací, při které byly původní přístroje nahrazeny moderními palubními přístroji obsahující velké LCD panely a navigačními systémy.

Letouny tohoto typu si udržují pověst spolehlivého a bezpečného letounu. Také jeho dobré letové vlastnosti a snadná ovladatelnost z něj dělají vynikající volbu pro výcvik začínajících pilotů. Díky jeho spolehlivosti, jednoduchosti na údržbu a všestranného využití zůstává vyhledávaným letounem na trhu. Zde jsou uvedeny základní parametry pro letounu: [65] [66]

- Rozpětí křídel: 10,97 m
- Délka: 8,20 m
- Výška 2,68 m
- Plocha křídla: 16,17 m²
- Dolet: 959 km

- Praktický dostup: 4200 m
- Maximální cestovní rychlost: 123 kt
- Objem palivových nádrží: 2 x 105 l



Obr. 20 Letoun C172P OK-CLL

Zdroj: autor



Obr. 21 Palubní deska C172P s kamerou,

Zdroj: autor

7.3. Letounu C172S s registrací OK-VUT

Jedná se o letoun velice podobný předchozímu typu, lišící se však typem motoru, palubním vybavením a letových výkonů. Letoun je vybavena vzduchem chlazeným čtyřválcovým motorem Lycoming IO-360-L2A o výkonu 180 koňských sil a dvoulistou pevnou vrtulí McCauley. Pilotní kabina je vybavena navigačním systémem Garmin 1000 s 2 LCD displeji o úhlopříčce 26,4 cm. Letoun schopný letu VFR i IFR. Zde jsou uvedeny základní parametry pro letounu: [67]

- Rozpětí křídel: 11 m
- Délka: 8,28 m
- Výška 2,72 m
- Plocha křídla: 16,17 m²
- Dolet: 1 050 km
- Praktický dostup: 4 267 m
- Maximální cestovní rychlost: 124 kt
- Objem palivových nádrží: 2 x 105 l



Obr. 22 Letoun C172S OK-VUT

Zdroj: autor



Obr. 23 Palubní deska C172S s kamerou,

Zdroj: autor

7.4. Letoun Bristell NG-5

Letoun Bristell NG-5 je dvoumístný, ultralehký letoun se dvěma sedadly vedle sebe s pevným tříkolovým podvozkem vyráběný společností BRM AERO. Letoun je vybaven motorem Rotax 912 UL a 3 listou stavitelnou vrtulí. Je určen především pro rekreační a navigační lety a základní letecký výcvik. Tento letoun je také uzpůsobený pro vlečení kluzáků. Zde jsou uvedeny základní parametry tohoto letounu: [68] [69]

- Rozpětí křídel: 9,13 m
- Délka: 6,45 m
- Výška 2,28 m
- Plocha křídla: 10,5 m²
- Dolet: 1 200 km
- Praktický dostup: 4 200 m
- Cestovní rychlost: 116 kt
- Objem palivových nádrží: 2 x 60 l



Obr. 23 Letoun Bristell NG-5, zdroj: autor



*Obr. 24 Umístění kamery na předním skle,
Zdroj: autor*

8. Analýza nasbíraných dat

V této kapitole jsou prezentovány a zobrazeny výsledky, které poskytla firma Honeywell International s.r.o. společně s dostupnými daty z obou senzorů. Jedná se zejména o zpracování naměřených hodnot v podobě grafů, které ukazují, zda pilot během letu usíná nebo vykazuje známky snížené bdělosti. Dále je v této kapitole uvedena podrobná analýza letu pro jednotlivé piloty. Analýza a porovnání nashromážděných dat ukazuje, jak působí ospalost a spánek na vybrané piloty během letu.

Pro doplnění výsledků ospalosti a spánku od firmy Honeywell International s.r.o. jsou k dispozici pro analýzu data o srdeční frekvenci a akcelerometru z chytrých hodinek a video záznam z kamery. Data z akcelerometru mají vždy pro každý časový okamžik hodnoty x , y a z . Pro lepší vizualizaci a interpretaci těchto dat v jednotlivých grafech byl zvolen přepočtená aktivita, která je vyjádřena následujícím vzorcem:

$$\text{Aktivita} = |x| + |y| + |z|$$

kde x , y , z jsou hodnoty akcelerometru v jednotlivých osách. Aktivita reprezentuje pohyby pilota, konkrétně jeho ruky, na které jsou umístěny chytré hodinky během letu a je zde uvedena jako bezrozměrná jednotka. Aktivita namísto akcelerometru pomáhá lépe pochopit výsledný stav pilota na palubě a při tom nedochází ke ztrátě informace.

U jednotlivých letů jsou uvedeny grafy zobrazující záznam srdeční frekvence a aktivity pilota během letu a výsledky ospalosti/spánku z hodinek a kamery poskytnuté firmou Honeywell International s.r.o.

Pro hlubší porozumění situaci v pilotní kabině byla k dispozici videa z kokpitu, která umožnila vizuální hodnocení chování a reakcí pilotů. Kromě toho byly analyzovány data z aplikace monitorující ospalost a spánek, získaná jak z hodinek, tak z analýzy obrazu z kamery zaměřené na pilota. Tyto záznamy poskytly možnost nejen pozorovat, ale i podrobně popsat situaci v kokpitu a porovnat zaznamenané chování pilotů s grafy. K jednotlivým letům jsou zobrazeny grafy znázorňující průběh tepové frekvence (modrá křivka) a aktivity pilota (červená křivka), zaznamenané hodinkami Apple Watch, během celého letu, od vzletu letounu po přistání. Také jsou ke každému letu k dispozici výsledky detekce ospalosti/spánku poskytnutých firmou Honeywell International s.r.o., jak z hodinek, tak z kamery. V obou grafech (výsledky z hodinek a výsledky z kamery) hodnota 0 odpovídá bdělosti a účasti na řízení letounu. Hodnota 1 odpovídá ospalosti a hodnota 2 spánku. Výsledky detekce jsou vždy vyhodnoceny za časové úseky 30 sekund.

V posledním letu byla provedena simulace usnutí, jelikož u předešlých letů nebyly zaznamenány ani detekovány žádné případy ospalosti nebo spánku. Pro simulaci bylo zapotřebí vytvořit odpovídající prostředí, kdy by byly podmínky co nejvíce přiblíženy reálnému letu, avšak s tím rozdílem, že samotné usnutí bylo uměle provedeno. Během této simulace byly shromažďovány stejná data jako v předchozích letech, tedy srdeční tep, hodnoty z akcelerometru a videozáznam. Analýza získaných dat simulovaného usnutí je provedena v kapitole 8.9.1.

Při interpretaci výsledků do grafů bylo zapotřebí synchronizovat jak časy z hodinek, tak kamery. Pokud videozáznam začal později oproti záznamu z hodinek, čas do doby vzletu byl vyhodnocen jako aktivita bez detekce ospalosti, tedy s hodnotou 0. Od vzletu jsou synchronizované hodinky i kamera. Pokud během letu došlo k vybití baterie u kamery, je v čase vybití také zastaven čas na ose grafu s výsledky ospalosti u kamery. Příklad vybití kamery je např. v kapitole 8.1.1. Druhý let pilota č. 4.

8.1. Vyhodnocení dotazníků

V rámci samotného sběru reálných dat, se měření zúčastnilo celkem 9 pilotů. Z těchto 9 pilotů bylo osm mužů a jedna žena. Tato skupina byla tvořena širokým aspektem pilotů zahrnující 3 soukromé piloty s dokončenou licencí PPL(A), 5 pilotů ve výcviku pro získání licence PPL(A) a jednoho leteckého instruktora s licencí CPL(A). Osm z devíti pilotů uvedlo, že netrpí žádnými očními vadami. Pouze u jednoho pilota byla diagnostikována dalekozrakost, tudíž měl během letu nasazené dioptrické brýle. Průměrný věk těchto pilotů byl 33 let se směrodatnou odchylkou 22,5.

Průměrný celkový nálet pilotů účastnících se měření je 597,44 hodin. Nejvyšší nálet má pilot č. 8, a to 3480 letových hodin. Nejnižší nálet má pilot č. 2, a to celkem 15 letových hodin. Celkový průměrný nálet pilotů-žáků ve výcviku je 19,8 letových hodin se směrodatnou odchylkou 4,32. Celkový průměrný nálet pilotů s licencí PPL(A) je 599,33 letových hodin se směrodatnou odchylkou 780,23. Pilot s licencí CPL(A) má nalétáno 3480 letových hodin.

Důležitým nástrojem pro pochopení fyzického a mentálního stavu pilotů před letem byl předletový dotazník. Tento dotazník obsahoval otázky týkající se aktuální únavy, zdravotního stavu a kvality spánku před letem. Získané informace byly důležité pro následnou analýzu a pomohly nám lépe pochopit potenciální vliv těchto faktorů na výkon pilotů během letu. Z devíti dotazovaných pilotů jeden uvedl, že zažil pocit únavy během letu. Tento incident se vyskytl pouze v jednom případě z celkem šestnácti realizovaných letů. Na otázku, zda se piloti cítili po spánku odpočatí, odpověděli čtyři záporně.

V dotazníku po letu uvedlo všech 9 pilotů, že kamera ani hodinky během letu nepřekáželi a nebyli si jejich přítomnosti vědomi. Osm pilotů uvedlo, že nepoužívá žádné vlastní senzory k monitorování. Pouze pilot č. 2 používá k vlastnímu monitorování chytré hodinky. Všichni piloti uvedli, že nemají problémy s koncentrací ani poruchy soustředění.

Výstupní dotazník se zabýval akceptací technologie použité během letu, konkrétně kamery a chytrých hodinek. Výsledky dotazníku ukázaly, že všichni zúčastnění piloti považovali tuto technologii za nenarušující a neomezovala je během letu. Kromě toho všichni piloti vyjádřili souhlas s monitoringem v letectví z důvodů zvyšování bezpečnosti, a to jak z pohledu pilota všeobecného letectví, tak profesionálního pilota. V tomto dotazníku, který se zaměřoval na preference pilotů ohledně systému detekce ospalosti/spánku během letu, byli identifikovány následující preference:

- **Hodinky s vibracemi** – tuto kombinaci senzoru a typu upozornění preferuje 5 z 9 pilotů.
- **Hodinky se zvukovým upozorněním** – pouze jeden pilot vyjádřil preferenci pro hodinky se zvukovým upozorněním
- **Kamera s vibracemi** – jeden pilot preferuje kameru s upozorněním vibracemi
- **Kombinace hodinek a kamery s vibracemi** – jeden pilot preferuje kombinaci obou senzorů

Tato dotazníky poskytly cenné informace, jak piloti vnímají a přijímají technologické inovace ve svém profesním prostředí a jak tyto nástroje mohou přispět k bezpečnosti a efektivitě letů. V tabulce č. 1 je uveden základní přehled o jednotlivých pilotech účastnících se měření. Dále je v tabulce č. 2 zobrazena akceptace technologie piloty.

Pilot	věk	oční vada	licence	celkový nálet	vlastní senzory	problém s koncentrací	souhlas s monitorováním
1	24	ne	ano	168	ne	ne	ano
2	19	ne	ane	15	ano	ne	ano
3	20	ne	ne	16	ne	ne	ano
4	19	ano	ne	20	ne	ne	ano
5	20	ne	ne	25	ne	ne	ano
6	23	ne	ne	23	ne	ne	ano
7	77	ne	ano	1500	ne	ne	ano
8	67	ne	ano	3480	ne	ne	ano
9	26	ne	ano	130	ne	ne	ano

Tab. 1 základní přehled o pilotech účastnících se měření

souhlas s monitorováním	Použitý senzor	přítomnost hodinek	přítomnost kamery	upozornění
ano	hodinky	nevěděl o ní	nevěděl o ní	vibrace
ano	hodinky	nevěděl o ní	nevěděl o ní	vibrace
ano	hodinky	nevěděl o ní	nevěděl o ní	zvuk
ano	hodinky	nevěděl o ní	nevěděl o ní	vibrace
ano	kamera	nevěděl o ní	nevěděl o ní	vibrace
ano	hodinky	nevěděl o ní	nevěděl o ní	vibrace
ano	hodinky + kamera	nevěděl o ní	nevěděl o ní	vibrace
ano	hodinky	nevěděl o ní	nevěděl o ní	vibrace
ano	hodinky	nevěděl o ní	nevěděl o ní	vibrace

Tab. 2 Akceptace technologie piloty

8.2. Pilot č. 1

Jako první pilot, který se zúčastnil měření, je 24letý soukromý pilot letounů s platnou licencí PPL/A. Pilot již má na svém leteckém kontě 168 letových hodin a 493 startů. Více informací o pilotovi č. 1 je uvedeno v tabulce 3.

Věk	24
Typ licence	PPL/A
Celkový nálet	168
Nálet za posledních 90 dní	2,5 h
Typové kvalifikace	C172, Z43
Brýle	NE

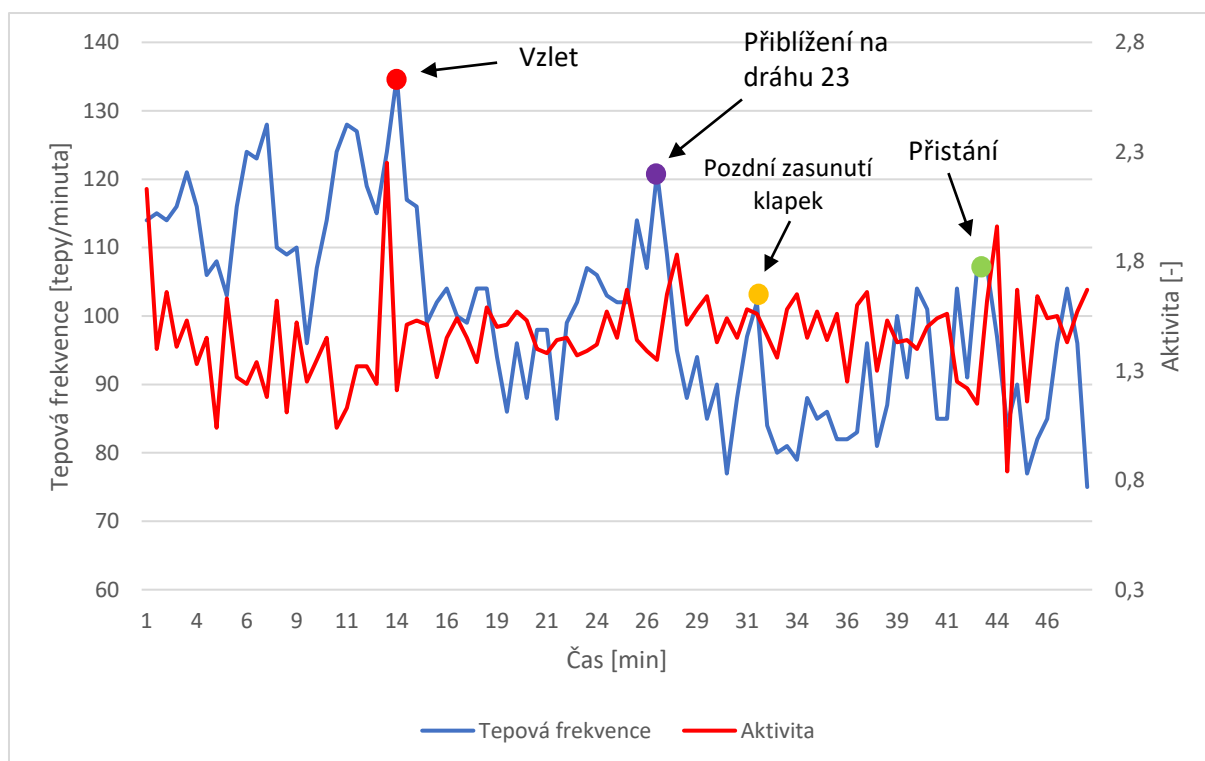
Tab. 3 Informace o pilotovi č. 1

Pilot v dotaznících uvedl, že nepocítuje žádné zdravotní problémy ani netrpí žádnými poruchami pozornosti nebo soustředění. Dále pilot uvedl, že nepoužívá žádné korekce zraku jako jsou brýle nebo kontaktní čočky, ani netrpí žádnými očními vadami.

8.2.1. První let pilota č. 1

Let byl proveden dne 12. 2. 2024 na letounu Z-43 s odletem ve 14.40 LT z letiště Přerov do prostoru Hranice na Moravě a Bystřice pod Hostýnem. Jednalo se o kondiční navigační let. Letoun odstartoval z dráhy 24 a následně pokračoval levým okruhem. Pět minut po vzletu severně od letiště pilot ohlásil opuštění ATZ a přeladil na frekvenci Hranice rádio 123,510 MHz. Letoun vystoupal do výšky 3000 ft a dále výšku udržoval až do příletu nad město Lipník nad Bečvou. Letoun dále pokračoval směrem k letišti Hranice, kde se zařadil do druhé okružové zatáčky levého okruhu dráhy 23 ve výšce 2000 ft. Pilot provedl přiblížení na dráhu 23 s následným průletem. Dále pokračoval směrem na hrad Helfštýn a poté levou zatáčkou směrem na Bystřici pod Hostýnem, kde z důvodu nízké oblačnosti opět vystoupal do 3000 ft. Nad Bystřicí pod Hostýnem letoun provedl zatáčku o 180° a pokračoval v přímém směru na letiště Přerov. Pět minut před dosažením ATZ Přerov pilot oznámil vstup do ATZ a připravil se na přistání na dráhu 24.

V grafu č. 2 je zobrazen průběh tepové frekvence (modrá křivka) a aktivity (červená křivka) pilota, zaznamenané hodinkami Apple Watch, během celého letu, od vzletu letounu po přistání.



Graf č. 2 Záznam srdečního tepu a aktivity pilota zaznamenaný hodinkami Apple Watch

V grafu pozorujeme výrazné výkyvy zvláště tepové frekvence, které odpovídají různým fázím letu. V průběhu letu data ohledně aktivity pilota vykazují variabilitu, která naznačuje různé úrovně fyzické aktivity, manévry nebo turbulence. Tepová frekvence občas vykazuje mírné zpoždění ve srovnání se změnami aktivity, což může být způsobené fyziologickou reakcí pilota na předchozí aktivitu nebo stresovou situací.

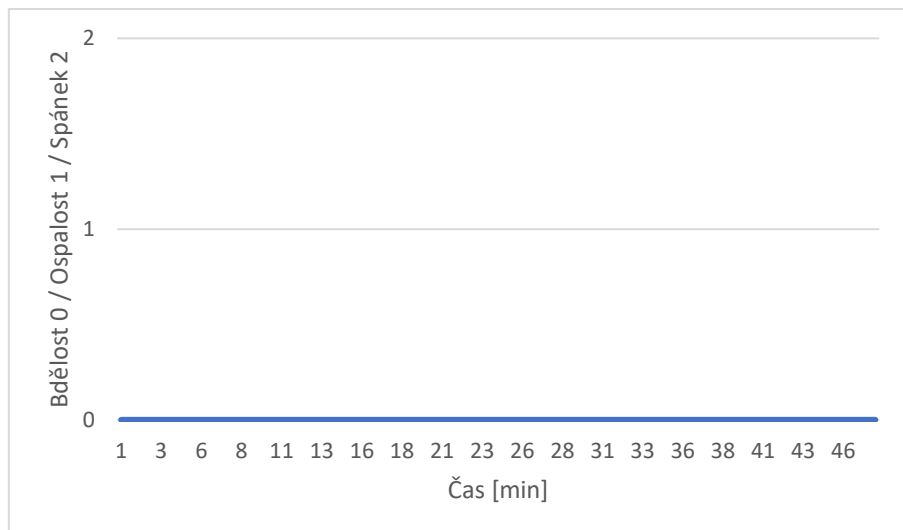
Významné okamžiky jsou analyzovány pomocí záznamu z hodinek. V grafu jsou označeny barevným bodem a odpovídají následujícím situacím:

- Červený bod je označuje začátek vzletu. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 135 tepů za minutu a je doprovázena zvýšenou aktivitou. To může souviset s adrenalinovou odezvou na stres z toho, že letadlo opouští zem a stoupá do vzduchu. Na druhou stranu, nejnižší hodnota zde souvisí s obdobím stabilního letu, kdy se pilot aklimatizoval na let a snižuje se jeho pracovní zátěž.
- Fialový bod označuje přiblížení k dráze 23. Dochází k výraznějšímu nárůstu tepové frekvence. Vzhledem k nerostoucí aktivitě to může znamenat zvýšenou nervozitu pilota spojenou s přípravou na přistání.
- Oranžový bod v indikuje náhlý vrchol krátce po průletu v ose dráhy 23. To odpovídá momentu, kdy si pilot uvědomil, že zapomněl zatáhnout klapky. Tato situace je příkladem stresového momentu, který vyvolává akutní fyziologickou odezvu. V tomto případě zvýšení tepové frekvence jako projev adrenalinové reakce těla. Tento nárůst může odrážet kombinaci psychického napětí a náročné fyzické aktivity, kdy pilot musí rychle reagovat a napravit situaci. Zvýšení tepové frekvence v tomto bodě může být dáno naléhavostí situace vyžadující okamžitou pozornost a rychlé rozhodnutí, které zvyšuje stres, a má za následek zvýšenou tepovou frekvenci.
- Zelený bod označuje průběh přistání, kde je patrný nárůst tepové frekvence a lehké navýšení aktivity. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 107 tepů za minutu. Situace opět odráží zvýšené napětí během této kritické fáze letu. Je to běžná reakce, protože

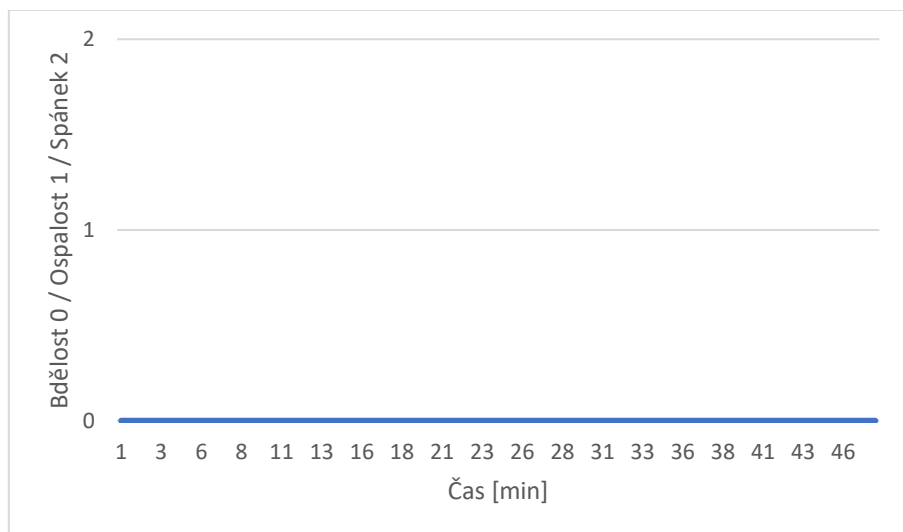
přistání je často vnímáno jako jedna z nejnáročnějších částí letu, jak pro piloty, tak pro pasažéry.

Výsledky detekce ospalosti/spánku poskytnutých firmou Honeywell International s.r.o. jsou uvedeny v grafu č. 3 pro hodinky a č. 4 pro kameru. V obou grafech hodnota 0 odpovídá bdělosti a účasti na řízení letounu. Hodnota 1 odpovídá ospalosti a hodnota 2 spánku.

Z obou grafů je patrné, že nedošlo k žádné detekci ospalosti nebo spánku během letu. To je v souladu s výše popsanou analýzou tepové frekvence a aktivity pilota. Během letu byl pilot vystaven řadě situací, které nepříspívají pro výskyt ospalosti nebo spánku. To je přisuzováno relativně krátké době trvání letu, během kterého byl pilot plně zaměstnán manuálním řízením letadla bez využití autopilota. Aktivní účast pilota na řízení a navigaci letu, včetně komunikace, dodržování bezpečné vzdálenosti od terénních překážek a sledování okolního provozu v souladu s pravidly VFR zajišťovaly, že pilot zůstal po celou dobu letu vzhůru a koncentrovaný. Tato vyšší úroveň pracovní zátěže a aktivní pozornosti často pomáhá odvracet únavu, což vysvětluje minimální znaky ospalosti, jako je snížená tepová frekvence nebo poklesy ve výkonnosti. V tomto případě k ospalosti ani usnutí nedošlo.



Graf č. 3 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z hodinek Apple Watch



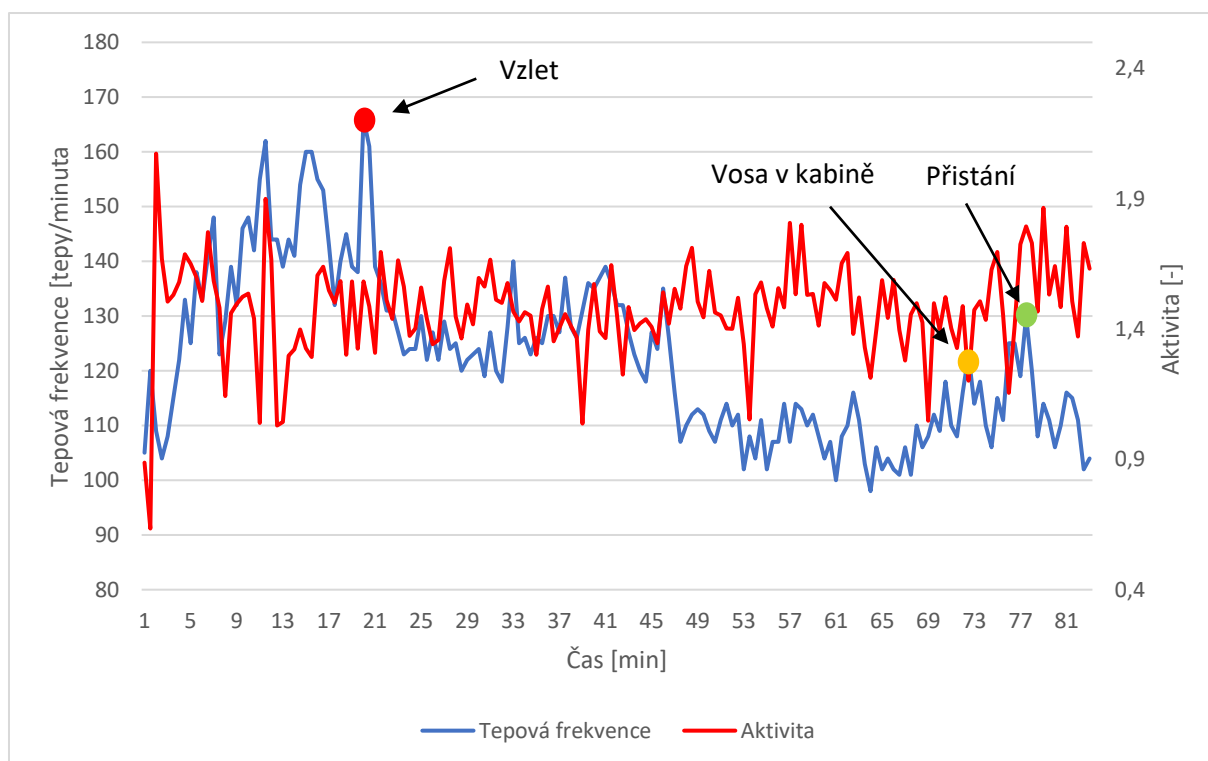
Graf č. 4 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z kamery

8.2.2. Druhý let pilota č. 1

Druhý let proběhl dne 6. 4. 2024 na letounu Z43. Odlet letounu proběhl v 11.03 LT z letiště Přerov do prostoru Jeseníků. Letoun odstartoval z dráhy 24 a pokračoval pravým okruhem směrem na Olomouc. Po 5 minutách po vzletu pilot ohlásil opuštění ATZ Přerov a přeladil na frekvenci Praha Information 136,175 MHz. Pilot stoupal do své letové hladiny FL75. Pilot letěl směrem na Praděd, avšak z důvodu nízké oblačnosti a zhoršenému počasí musel sestoupit do výšky 4500 ft a vrátit se zpět. Na cestě zpět pilot provedl sérii manévrů nad přehradou Slezská Harta a poté zamířil na hrad Sovinec, kde provedl zatáčku o 360 stupňů. Poté zamířil východním směrem k letišti Přerov. V poloze nad Velkou Bystřicí pilot přeladil zpět na frekvenci Přerov rádio 127,780 MHz. Pilot v dotaznících uvedl, že během letu pociťoval únavu, která byla způsobená nedostatkem spánku před letem. Pilot uvedl, že délka spánku byla menší než 5 hodin. Pilot také odpověděl, že se necítil po spánku odpočatý.

V grafu č. 5 je zobrazen průběh tepové frekvence (modrá křivka) a aktivity (červená křivka) pilota, zaznamenané hodinkami Apple Watch, během celého letu, od vzletu letounu po přistání. Významné okamžiky jsou v grafu č. 5 označeny barevným bodem a odpovídají následujícím situacím:

- Červeným bodem je označen začátek vzletu. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 166 tepů za minutu. To může souviset s adrenalinovou odezvou na stres z toho, že letadlo opouští zem a stoupá do vzduchu.
- Oranžový bod indikuje náhlý vrchol krátce před přistáním na dráhu 24. Tento bod odpovídá momentu, kdy se v kabině objevila vosa. Tato situace je příkladem stresového momentu, který vyvolává akutní fyziologickou odezvu. Je zde patrný nárůst srdečního tepu, který souvisí s větším množstvím stresu na pilota v konečné fázi přiblížení. Pilot tuto stresovou situaci uvedl také v dotazníku. Tato situace přispěla k vyšší pracovní zátěži.
- Zelený bod označuje průběh přistání, kde je patrný nárůst tepové frekvence a lehké navýšení aktivit. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 130 tepů za minutu. Situace opět odráží zvýšené napětí během této kritické fáze letu. Je to běžná reakce, protože přistání je často vnímáno jako jedna z nejnáročnějších částí letu.



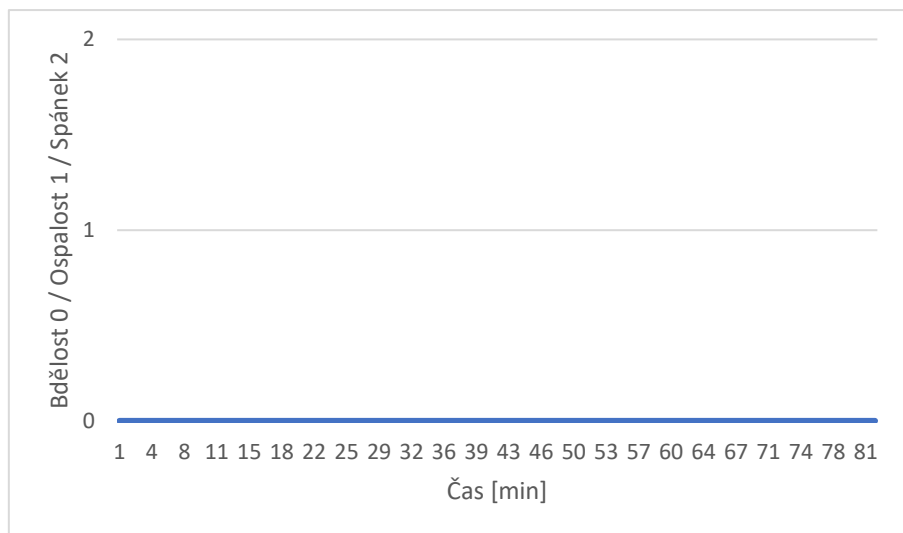
Graf č. 5 Záznam srdečního tepu a aktivity pilota zaznamenaný hodinkami Apple Watch

I přes nedostatečný spánek u pilota nejsou v grafu příznaky ospalosti ani možného usnutí detekovány, jelikož se jednalo o kratší let a pilot během letu musel komunikovat, plně ovládat letoun a soustředit se na správné držení směru a výšky letu. V některých částech grafu, například mezi 25. a 35. minutou, lze pozorovat, že tepová frekvence reaguje na aktivitu pilota. Tato situace naznačuje, že fyzická námaha nebo manévry prováděné letounem mohou ovlivňovat srdeční tep. Podobná situace se objevuje mezi 45. a 65. minutou. Zde je opět možné pozorovat zvýšenou aktivitu doprovázenou vyšší tepovou frekvencí, což může být způsobeno opakovanými manévry letounu nebo fázemi letu, které jsou fyzicky i stresově náročnější. Vysokou variabilitu křivky aktivity lze také pozorovat před samotným vzletem, v čase od 1. do 20. minuty. Tato výkyvy jsou zřejmě způsobené pohybem ruky pilota před vzletem, kdy prováděl nezbytné úkony a připravoval potřebné systémy k letu.

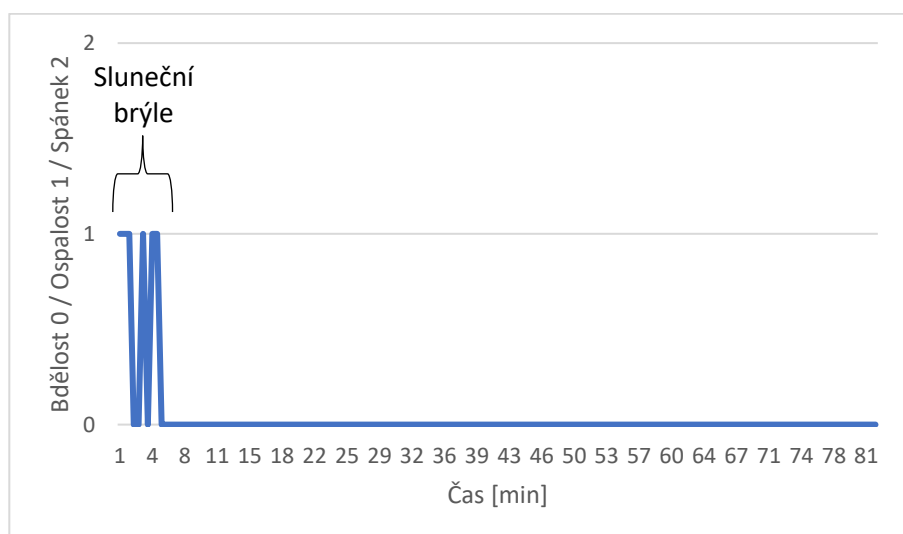
Výsledky detekce ospalosti/spánku poskytnutých firmou Honeywell International s.r.o. jsou uvedeny v grafu č. 6 pro hodinky a č. 7 pro kameru. V obou grafech hodnota 0 odpovídá bdělosti a účasti na řízení letounu. Hodnota 1 odpovídá ospalosti a hodnota 2 spánku.

Z grafu č. 6 je patrné, že nedošlo k žádné detekci ospalosti nebo spánku během letu. To je v souladu s výše popsanou analýzou tepové frekvence a aktivity pilota. Během letu byl pilot vystaven řadě situací, které nepřispívají pro výskyt ospalosti nebo spánku. To je přisuzováno relativně krátké době trvání letu, během kterého byl pilot plně zaměstnán manuálním řízením letadla bez využití autopilota. V grafu č. 7 lze pozorovat v prvních pěti minutách stav ospalosti. V tomto případě však pilot není ospalý, ale má nasazené sluneční/neprůhledné brýle. Systém tuto skutečnost vyhodnotil jako stav ospalosti. Po třech minutách letu si pilot sluneční brýle odložil a kamera ve zbylé části letu již neindikovala žádný stav ospalosti ani usnutí. Na základě zaznamenaných dat tepové frekvence doplněných o hodnoty aktivity v průběhu celého letu nebyly zjištěny žádné indikace únavy. To je přisuzováno relativně vysoké aktivitě pilota během letu, kdy byl pilot plně zaměstnán manuálním řízením letadla bez využití autopilota. Aktivní účast pilota na řízení a navigaci letu, včetně komunikace,

dodržování bezpečné vzdálenosti od terénních překážek a sledování okolního provozu v souladu s pravidly VFR zajišťovaly, že pilot zůstal po celou dobu letu vzhůru a koncentrovaný. Tato vyšší úroveň pracovní zátěže a aktivní pozornosti často pomáhá odvracet únavu, což vysvětluje minimální znaky ospalosti, jako je snížená tepová frekvence nebo poklesy ve výkonnosti. V tomto případě k ospalosti ani usnutí nedošlo.



Graf č. 6 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z hodinek Apple Watch



Graf č. 7 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z kamery

8.2.3. Třetí let pilota č. 1

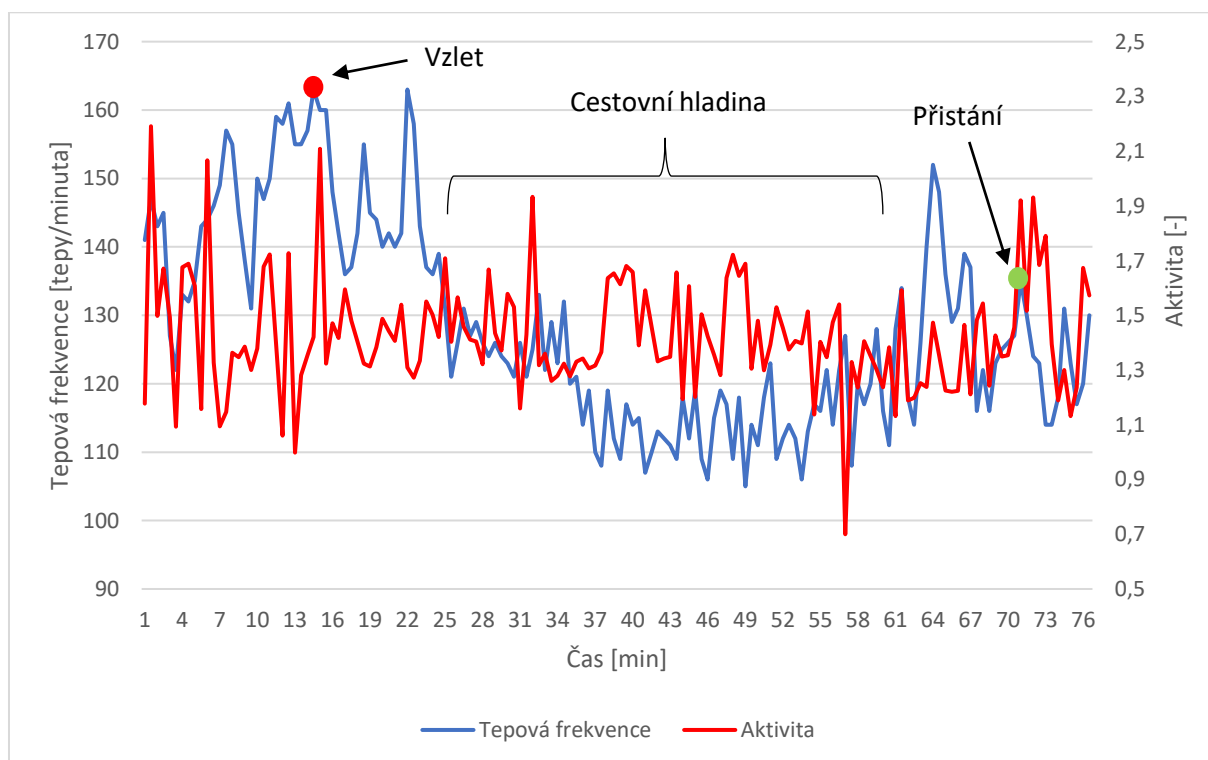
Třetí let proběhl dne 13. 4. 2024 na letounu Z43. Odlet letounu proběhl v 9.28 LT z letiště Přerov do prostoru Jeseníků s celkovým časem 56 minut. V čase odletu bylo skoro jasno s pokrytím oblačnosti 1-2/8. Pilot v dotaznících uvedl, že před letem se cítil odpočatý a nepocítuje žádné příznaky únavy nebo ospalosti. Letoun odstartoval z dráhy 24 a pokračoval pravým okruhem směrem na Olomouc. Po 5 minutách pilot ohlásil opuštění ATZ Přerov severně od letiště a přeladil na frekvenci Praha Information 136,175 MHz. Pilot stoupal do své letové hladiny FL85. Letoun dosáhl své letové hladiny v prostoru Nízkého Jeseníku a dále pokračoval nad Praděd. Let probíhal bez komplikací. Povětrnostní podmínky byly ideální,

jelikož panovala téměř jasná obloha s viditelností daleko přes 10 km a bez značného větru. Letoun za necelých 25 minut od startu dorazil nad plánovaný vzdušný prostor, tedy nad Jeseníky. V tomto prostoru provedl sérii manévru a po 10 minutách ukončil svoji činnost a pokračoval směrem k letišti odletu.

V grafu č. 8 je zobrazen průběh tepové frekvence (modrá křivka) a aktivity (červená křivka) pilota, zaznamenané hodinkami Apple Watch, během celého letu, od vzletu letounu po přistání. Významné okamžiky jsou v grafu č. 8 označeny barevným bodem a odpovídají následujícím situacím:

- Červený bod označuje začátek vzletu. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 163 tepů za minutu. To může souviset s adrenalinovou odezvou na stres z toho, že letadlo opouští zem a stoupá do vzduchu.
- Zelený bod označuje průběh přistání, kde je patrný nárůst tepové frekvence a lehké navýšení aktivity. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 134 tepů za minutu. Situace opět odráží zvýšené napětí během této kritické fáze letu. Je to běžná reakce, protože přistání je často vnímáno jako jedna z nejnáročnějších částí letu.

V grafu č. 8 je vidět výrazné zvýšení tepové frekvence již před samotným vzletem. Pilot v dotazníku po letu uvedl špatnou funkci brzd, kdy při provádění motorové zkoušky před letem nedokázal při zvýšeném výkonu motoru udržet letoun na místě. Pilot se proto rozhodnul provést motorovou zkoušku přímo na dráze 24, kde dopředný pohyb letounu nezpůsobil takový problém, jelikož dráha byla dostatečně dlouhá. Zvýšená tepová frekvence je přisuzována právě špatné funkci brzd. Ve střední části grafu lze opět pozorovat sníženou tepovou frekvenci, která odpovídá letu v cestovní hladině.

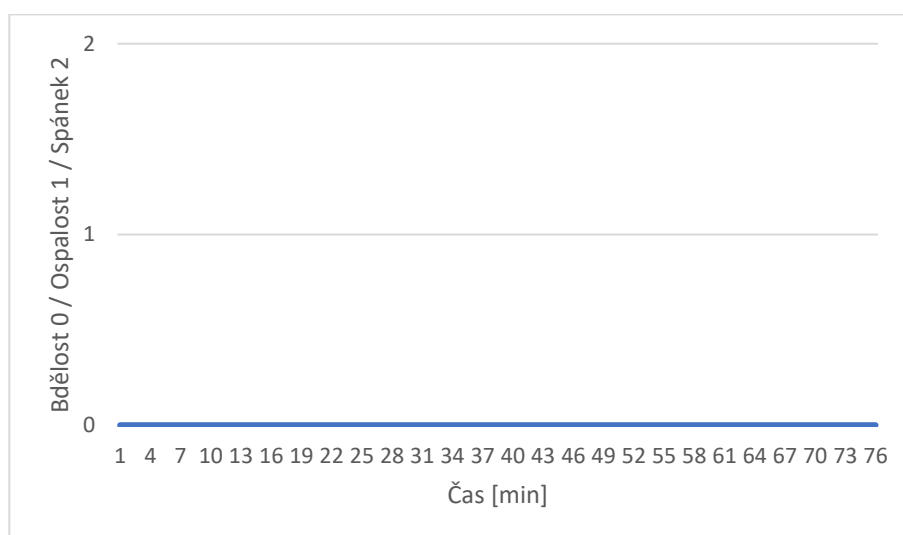


Graf č. 8 Záznam srdečního tepu a aktivity pilota zaznamenaný hodinkami Apple Watch

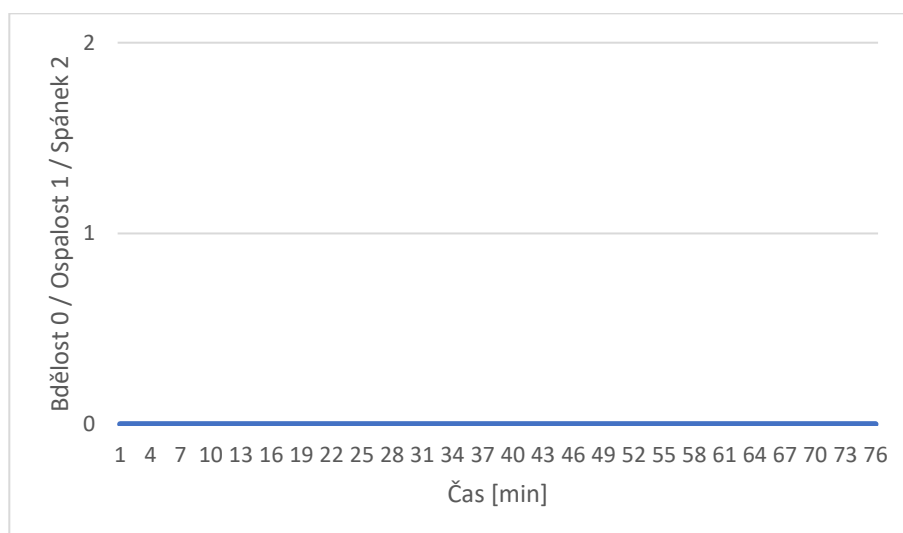
V grafu č. 8 je také zobrazena aktivita pilota během letu. V grafu lze pozorovat pravidelné a opakující se výkyvy. Například mezi 40. a 55. minutou lze pozorovat zvýšenou tepovou frekvenci reagující na aktivitu, což může naznačovat náročnější fáze během letu nebo turbulence. Z grafu je patrné, že během letu byly hodnoty tepové frekvence spolu s hodnotami aktivity vyšší, což naznačuje, že pilot byl aktivní a v bdělém stavu.

Výsledky detekce ospalosti/spánku poskytnutých firmou Honeywell International s.r.o. jsou uvedeny v grafu č. 9 pro hodinky a č. 10 pro kameru. V obou grafech hodnota 0 odpovídá bdělosti a účasti na řízení letounu. Hodnota 1 odpovídá ospalosti a hodnota 2 spánku.

Z obou grafů je patrné, že nedošlo k žádné detekci ospalosti nebo spánku během letu. To je v souladu s výše popsanou analýzou tepové frekvence a aktivity pilota. Během letu byl pilot vystaven řadě situací, které nepřispívají pro výskyt ospalosti nebo spánku. To je přisuzováno relativně krátké době trvání letu, během kterého byl pilot plně zaměstnán manuálním řízením letadla bez využití autopilota.



Graf č. 9 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z hodinek Apple Watch



Graf č. 10 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z kamery

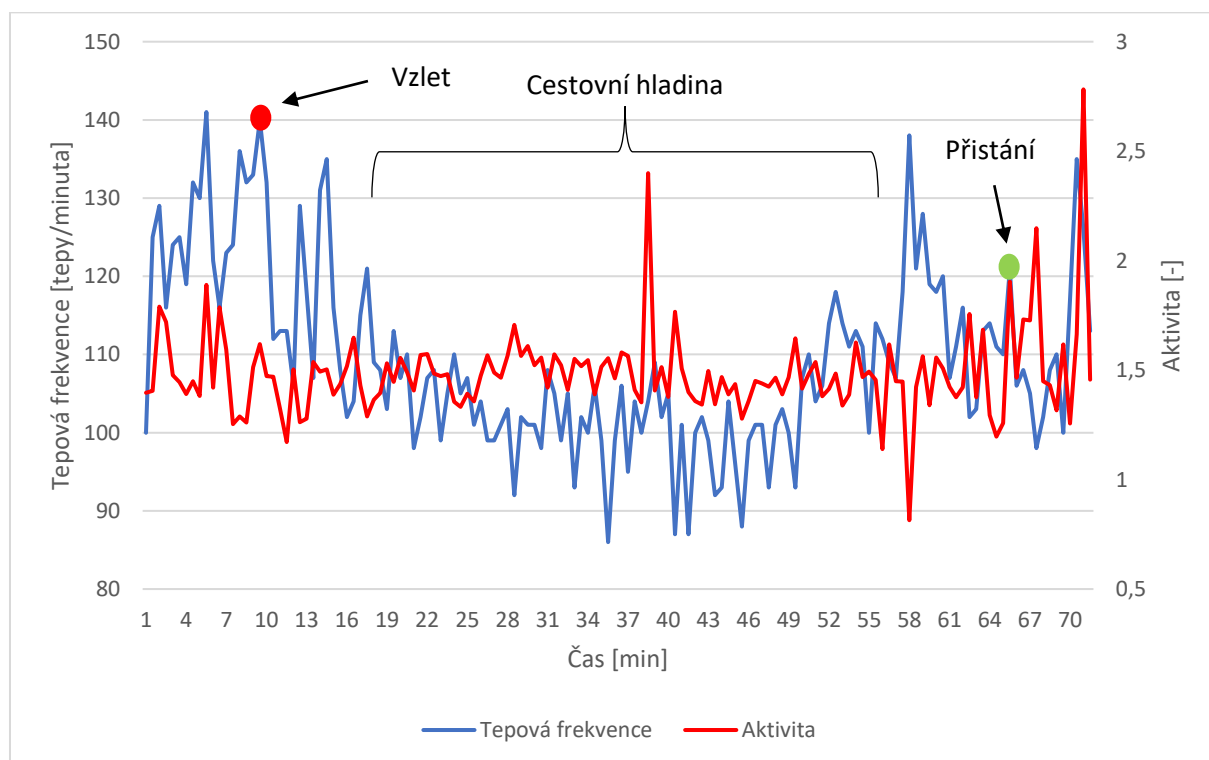
8.2.4. Čtvrtý let pilota č. 1

Čtvrtý let proběhl dne 13. 4. 2024 na letounu Z43. Jednalo se o druhý let ve stejný den. Odlet letounu proběhl v 11.35 LT z letiště Přerov a trasa letounu byla totožná s trasou třetího letu, který je popsán výše. Proto se zaměřím přímo na analýzu dat.

V grafu č. 11 je zobrazen průběh tepové frekvence (modrá křivka) a aktivity (červená křivka) pilota, zaznamenané hodinkami Apple Watch, během celého letu, od vzletu letounu po přistání. Významné okamžiky jsou v grafu č. 11 označeny barevným bodem a odpovídají následujícím situacím:

- Červený bod označuje začátek vzletu. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 140 tepů za minutu. To může souviset s adrenalinovou odezvou na stres z toho, že letadlo opouští zem a stoupá do vzduchu.
- Zelený bod označuje průběh přistání, kde je patrný nárůst tepové frekvence a lehké navýšení aktivity. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 121 tepů za minutu. Situace opět odráží zvýšené napětí během této kritické fáze letu. Je to běžná reakce, protože přistání je často vnímáno jako jedna z nejnáročnějších částí letu, jak pro piloty, tak pro pasažéry.

V průběhu letu se tepová frekvence ustálí a kolísá v rozmezí od 90 do 110 tepů za minutu s mírnými výchyly. Tato relativně stabilní tepová frekvence během cestovní hladiny naznačuje, že pilot je dobře adaptovaný na podmínky letu a není na něj kladena příliš vysoká pracovní zátěž, jako je u přistání nebo vzletu. Při přiblížení a následném přistání dochází opět k nárůstu tepové frekvence, kde hodnoty dosahují 138 tepů za minutu. Při stabilizování letounu na přistání tepová frekvence klesla a odpovídá hodnotě 121 tepů za minutu.



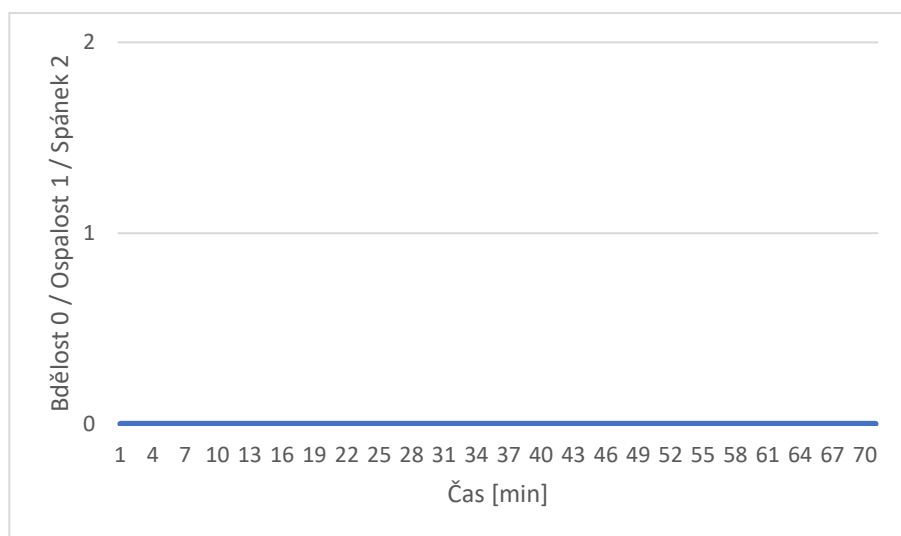
Graf č. 11 Záznam srdečního tepu a aktivity pilota zaznamenaný hodinkami Apple Watch

I tento graf zobrazuje výrazné odchylky tepové frekvence, které odpovídají klíčovým fázím letu, jako jsou vzlet, cestovní hladina a přistání. Vyšší variabilita tepové frekvence a vyšší hodnoty u třetího letu mohou naznačovat, že pilot mohl zažívat vyšší úroveň stresu nebo únavy. Obzvláště vysoké vrcholy tepové frekvence v období vzletu a přistání, které jsou typicky fyzicky a mentálně náročné, mohou být známkou toho, že pilot se potýkal s větší mírou stresu (viz. Graf č. 8). Stabilnější průběh tepové frekvence a méně výrazné špičky u čtvrtého letu naznačují, že pilot mohl být lépe odpočatý nebo byl lépe adaptovaný na požadavky letu (viz. Graf č. 11). Méně výrazné vrcholy tepové frekvence během cestovní hladiny a přistání mohou ukazovat na menší pracovní zátěž, lepší adaptaci a nižší úroveň stresu.

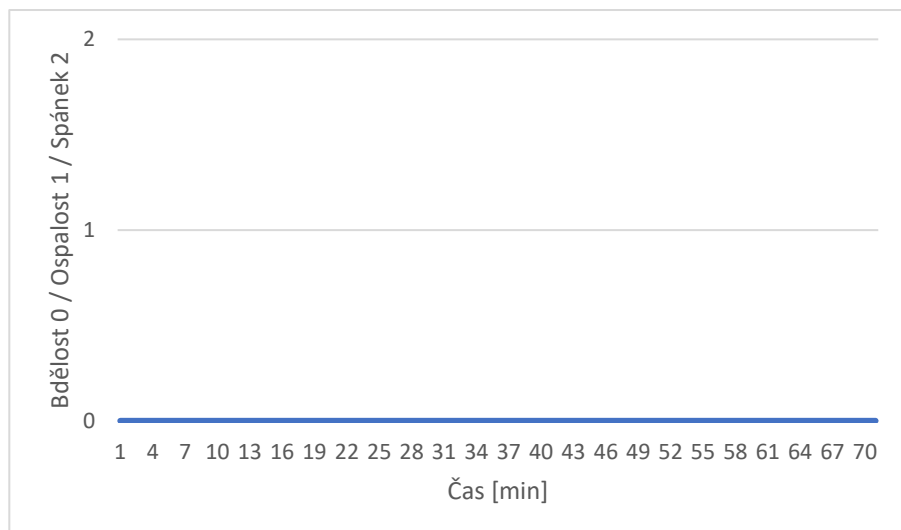
V grafu nejsou přítomné dlouhodobé poklesy tepové frekvence, které by mohly naznačovat usnutí nebo výraznou ospalost vedoucí ke spánku. Fakt, že tepová frekvence zůstává během obou letů ve vyšších hodnotách, svědčí o tom, že pilot byl celou dobu při vědomí a aktivní.

Výsledky detekce ospalosti/spánku poskytnutých firmou Honeywell International s.r.o. jsou uvedeny v grafu č. 12 pro hodinky a č. 13 pro kameru. V obou grafech hodnota 0 odpovídá bdělosti a účasti na řízení letounu. Hodnota 1 odpovídá ospalosti a hodnota 2 spánku.

Z obou grafů je patrné, že nedošlo k žádné detekci ospalosti nebo spánku během letu. To je v souladu s výše popsanou analýzou tepové frekvence a aktivity pilota. Během letu byl pilot vystaven řadě situací, které nepřispívají pro výskyt ospalosti nebo spánku. To je přisuzováno relativně krátké době trvání letu, během kterého byl pilot plně zaměstnán manuálním řízením letadla bez využití autopilota.



Graf č. 12 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z hodinek Apple Watch



Graf č. 13 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z kamery

8.3. Pilot č. 2

Jako druhý pilot, který se zúčastnil experimentu, je 19letý pilot-žák ve výcviku pro získání licence PPL/A. Pilot má na svém leteckém kontě 15 letových hodin. Více informací o pilotovi č. 2 je uvedeno v tabulce 4.

Věk	19
Typ licence	Ve výcviku
Celkový nálet	15
Nálet za posledních 90 dní	0 h
Typové kvalifikace / letouny na kterých probíhá výcvik	C172
Brýle	NE

Tab. 4 Informace o pilotovi č. 2

Pilot v dotaznících uvedl, že nepocítuje žádné zdravotní problémy ani netrpí žádnými poruchami pozornosti nebo soustředění. Dále pilot uvedl, že nepoužívá žádné korekce zraku jako jsou brýle nebo kontaktní čočky, ani netrpí žádnými očními vadami.

8.3.1. První let pilota č. 2

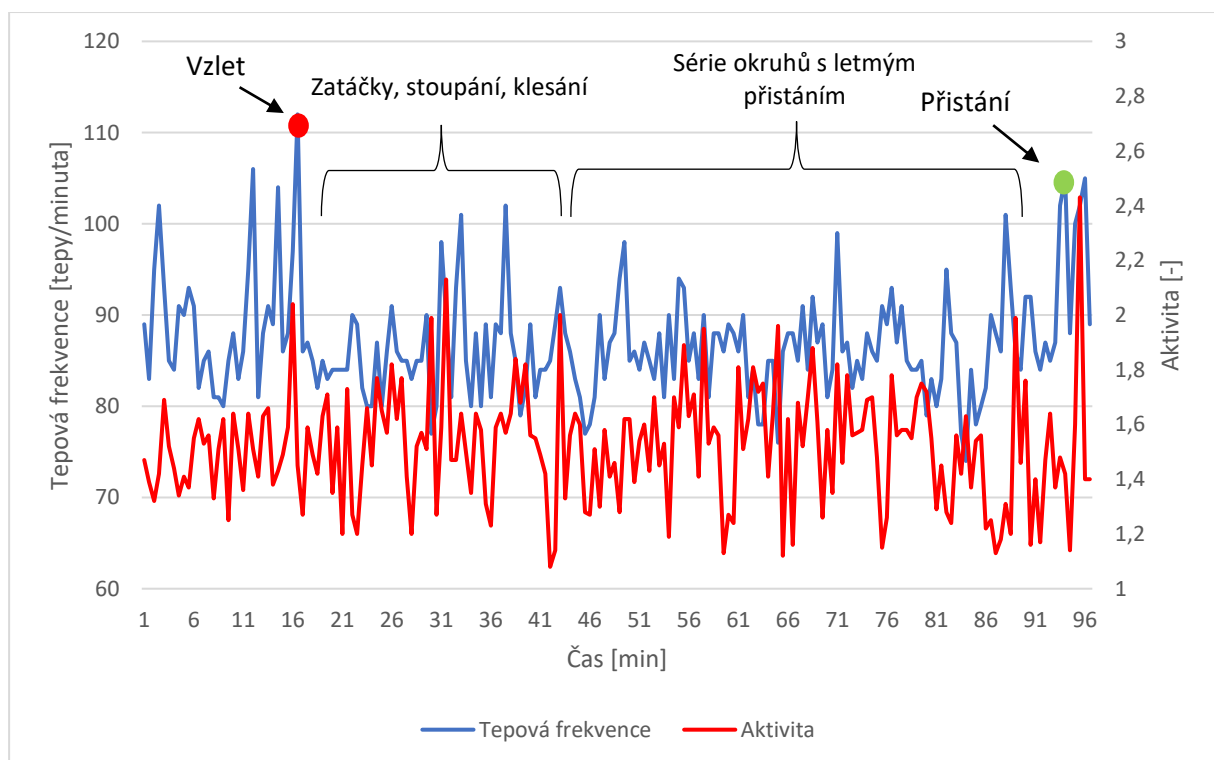
Pilot-žák s číslem 2 se připravoval na svůj první let tohoto roku. Od posledního letu uplynulo více než 90 dní. To znamenalo zopakování si a osvěžení si leteckých dovedností, které jsou nezbytné pro pokračování v leteckém výcviku. Let se uskutečnil 6.3.2024 a byl proveden na motorovém letounu C 172 s registrační značkou OK-CLL. Letoun odstartoval z letiště Křižanov ve 14.55 LT z dráhy 31 a pokračoval do prostoru Velkého Meziříčí. V rámci letu provedl pilot-žák zatáčky, stoupání a klesání. Tato série manévrů měla posoudit a potvrdit schopnost navigace, orientace v prostoru, ovládání letounu v různých konfiguracích a dodržování standardních postupů. Meteorologické podmínky v době odletu byly příznivé. Pokrytí oblačnosti se pohybovala na úrovni 4/8. Dohlednost přesahovala 10 kilometrů.

Pilot-žák se po přibližně 25 minutách letu přiblížil k letišti, kde následně provedl sérii letů po okruhu s letným přistáním. V rámci tohoto nácviku se zaměřoval na precizní provedení jednotlivých manévrů. Soustředil se převážně na správné dodržování tvaru letištního okruhu, udržování optimální rychlosti, správné zatáčky a přesné dodržování okruhové výšky. Ve

stejném okamžiku se v prostoru nacházel také druhý letoun, který rovněž prováděl nácvik letů po okruhu. Tato situace vyžadovala, aby pilot věnoval zvýšenou pozornost na dodržování rozstupů mezi oběma letouny. Tím se zvyšovaly nároky na jeho soustředění, což je také patrné z grafu č. 14. Graf znázorňuje zvýšenou tepovou frekvenci pilota během celého letu, což je důsledek zvýšené bdělosti a vyšší pracovní zátěže. Pilot také musel sledovat okolí letounu, sledovat letové přístroje a vyhledávat potenciální nebezpečný provoz. Na pilota byli kladeny značné nároky, což se projevovalo proměnlivou tepovou frekvencí.

V grafu č. 14 je zobrazen průběh tepové frekvence (modrá křivka) a aktivity (červená křivka) pilota, zaznamenané hodinkami Apple Watch, během celého letu, od vzletu letounu po přistání. Významné okamžiky jsou v grafu č. 14 označeny barevným bodem a odpovídají následujícím situacím:

- Červený bod označuje začátek vzletu. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 112 tepů za minutu. To může souviset s adrenalinovou odezvou na stres z toho, že letadlo opouští zem a stoupá do vzduchu.
- Zelený bod označuje průběh přistání, kde je patrný nárůst tepové frekvence a lehké navýšení aktivity. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 104 tepů za minutu. Situace opět odráží zvýšené napětí během této kritické fáze letu. Je to běžná reakce, protože přistání je často vnímáno jako jedna z nejnáročnějších částí letu.



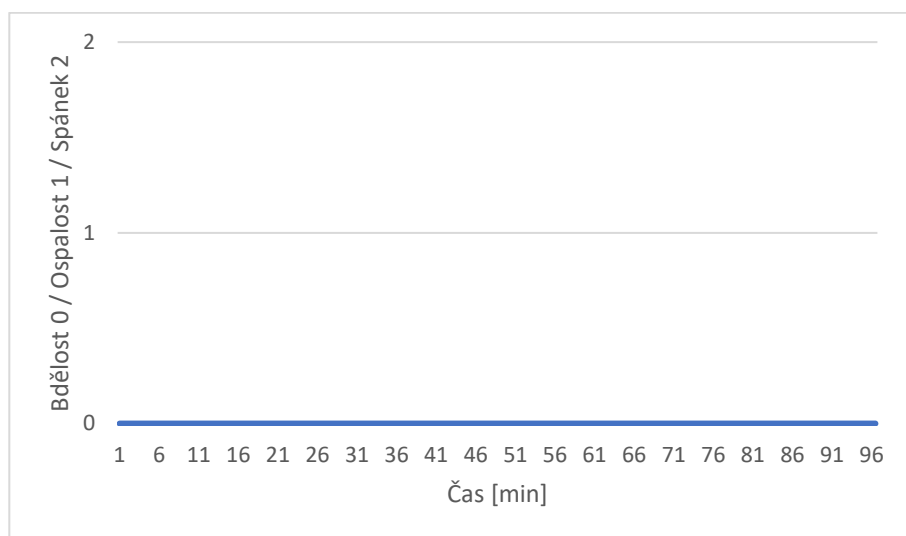
Graf č. 14 Záznam srdečního tepu a aktivity pilota zaznamenaný hodinkami Apple Watch

V grafu lze pozorovat pravidelné a opakující se výkyvy. Křivka aktivity pilota ukazuje na aktivní manipulaci s řídicími prvky letounu. Časté výkyvy také naznačují variabilitu v pohybu, která může být spojena s různými manévry, turbulencemi nebo používáním leteckých navigačních systémů. V 16. minutě provedl žák vzlet, což je patrné z hodnoty aktivity, která v tomto okamžiku odpovídá vyšší hodnotě.

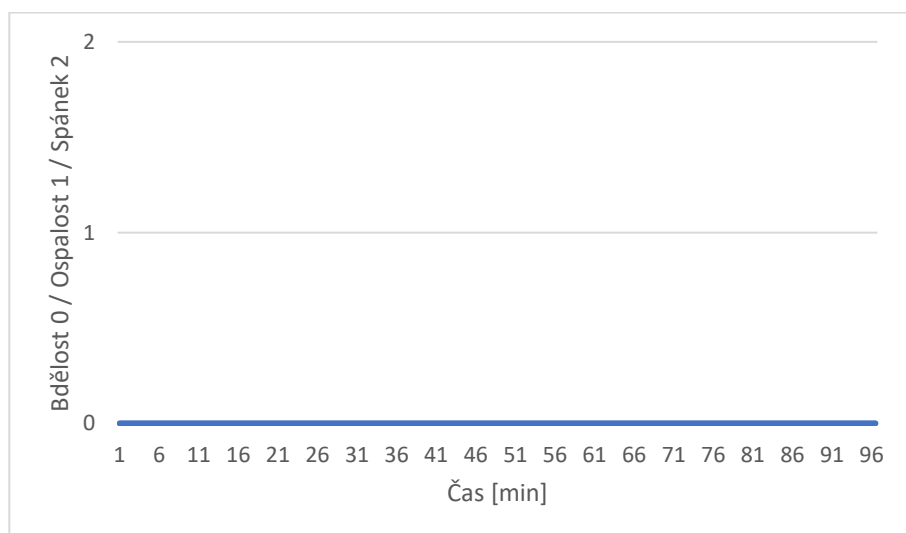
Celkově lze říci, že srdeční frekvence a hodnoty aktivity během výcvikového letu naznačují, že pilot-žák byl v některých fázích letu vystaven vyšší úrovni stresu a napětí, a to především u vzletu a přistání. I přes výskyt monotónních a dlouhotrvajících sériích letů po okruhu s letným přistáním, tepová frekvence pilota zůstala v relativně normálním rozsahu.

Výsledky detekce ospalosti/spánku poskytnutých firmou Honeywell International s.r.o. jsou uvedeny v grafu č. 15 pro hodinky a č. 16 pro kameru. V obou grafech hodnota 0 odpovídá bdělosti a účasti na řízení letounu. Hodnota 1 odpovídá ospalosti a hodnota 2 spánku.

Z obou grafů je patrné, že nedošlo k žádné detekci ospalosti nebo spánku během letu. To je v souladu s výše popsanou analýzou tepové frekvence a aktivity pilota. Během letu byl pilot vystaven řadě situací, které nepřispívají pro výskyt ospalosti nebo spánku. To je přisuzováno povaze letu a relativně krátké době trvání letu, během kterého byl pilot plně zaměstnán manuálním řízením letadla bez využití autopilota.



Graf č. 15 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z hodinek Apple Watch



Graf č. 16 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z kamery

8.3.2. Druhý let pilota č. 2

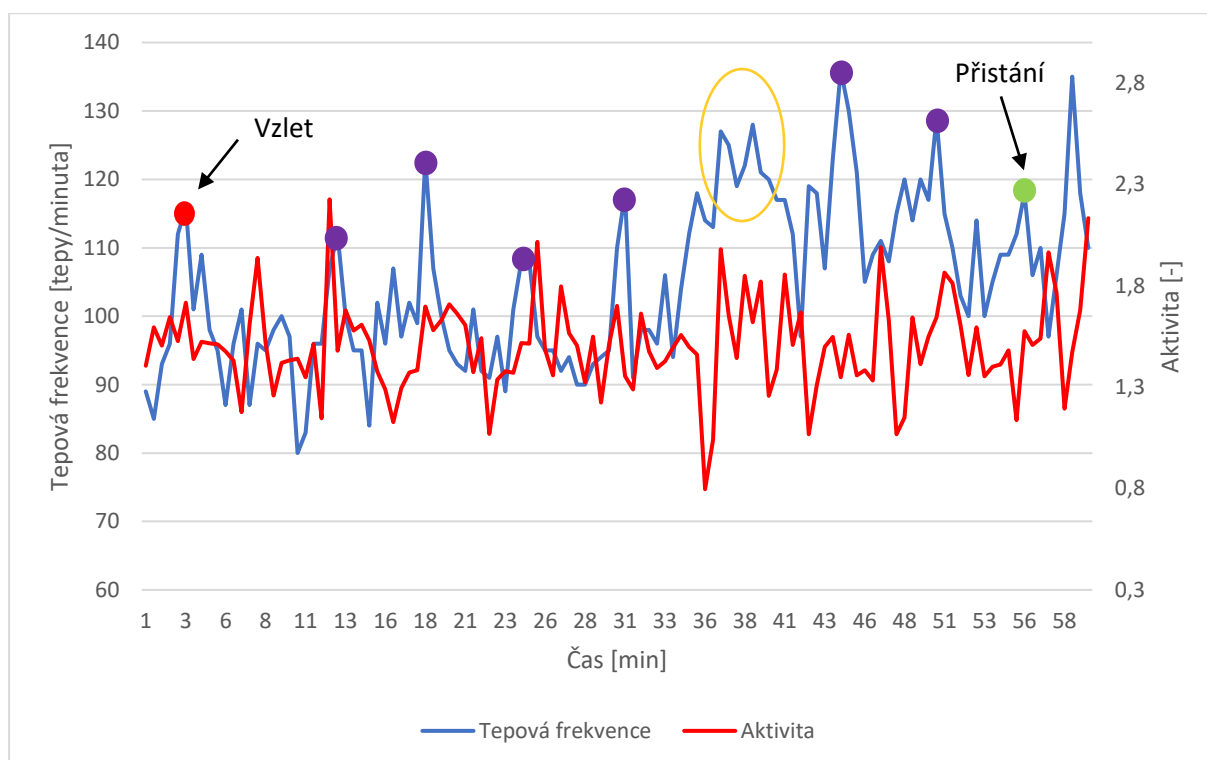
Druhý let proběhl dne 31. 3. 2024 na letounu C172 s registrací OK-CLL. Odlet letounu proběhl v 8.30 LT z letiště Křižanov z dráhy 13. Pilot-žák provedl celkem 7 okruhů s letným

přistáním z toho 4 s instruktorem na palubě a 3 sólo okruhy. V čase odletu panovali dobré povětrnostní podmínky s velkou dohledností nad 10 km bez značného větru a jasnou až skoro jasnou oblohou.

V grafu č. 17 je zobrazen průběh tepové frekvence (modrá křivka) a aktivity (červená křivka) pilota, zaznamenané hodinkami Apple Watch, během celého letu, od vzletu letounu po přistání. Významné okamžiky jsou v grafu č. 17 označeny barevným bodem a odpovídají následujícím situacím:

- Červený bod je označuje začátek vzletu. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 116 tepů za minutu a je doprovázena zvýšenou aktivitou. To může souviset s adrenalinovou odezvou na stres z toho, že letadlo opouští zem a stoupá do vzduchu.
- První 4 fialové body v grafu reprezentují letmá přistání s instruktorem a následující reprezentují okruhu již bez instruktora na palubě. Dva vrcholy, které jsou ozančeny oranžovým kruhem, souvisejí se situací, kdy po přistání letounu vystoupil instruktor a pilot-žák pokračoval v následujících okruzích samostatně. Tato situace byla pro žáka výzvou, což vedlo k výraznému nárůstu jeho tepové frekvence.
- Zelený bod označuje průběh přistání, kde je patrný nárůst tepové frekvence a lehké navýšení aktivity. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 118 tepů za minutu. Situace opět odráží zvýšené napětí během této kritické fáze letu. Je to běžná reakce, protože přistání je často vnímáno jako jedna z nejnáročnějších částí letu.

Z grafu č. 17 je patrné, že během vzletu dochází k prudkému nárůstu tepové frekvence, což je běžný jev vzhledem ke stresové povaze této fáze letu. Následující fáze letu, které zahrnovali zatáčky, stoupání, klesání a udržování výšky na letištním okruhu vykazovali značné výkyvy tepové frekvence, což naznačuje, že pilot-žák byl aktivně zapojen do řízení letounu a reagoval na změny režimu letu.

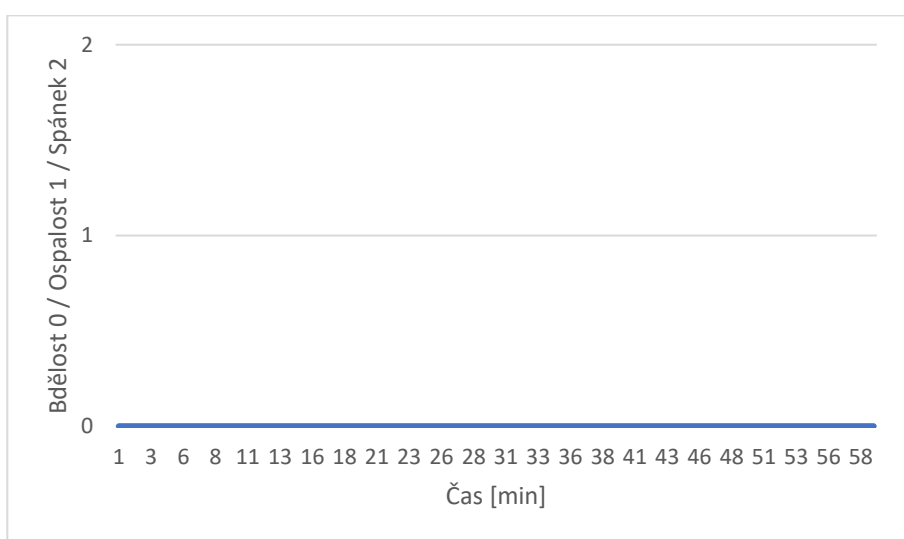


Graf č. 17 Záznam srdečního tepu a aktivity pilota zaznamenaný hodinkami Apple Watch

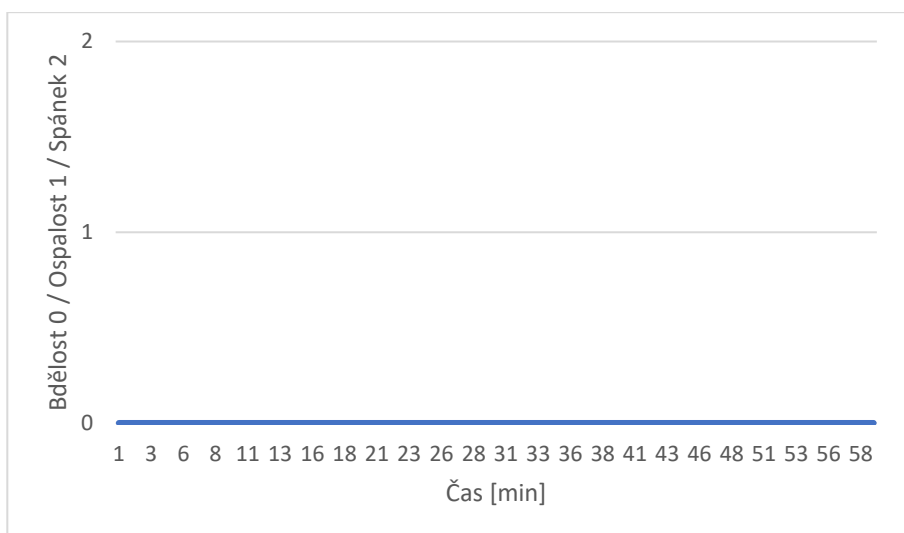
Červená křivka aktivity vykazuje značnou variabilitu, což naznačuje aktivní manipulaci s ovládacími prvky letounu. Tyto vrcholy jsou nejpravděpodobněji spojené s pohybem ruky pilota při ovládní letounu, zejména při vzletu a při přistání. To značí, že tyto fáze letu jsou pro pilota fyzicky i psychicky náročné a zvyšují i jeho tepovou frekvenci. Vzhledem k povaze a délce letu nedošlo u pilota k žádným projevům ospalosti ani nedošlo k usnutí. Data z grafu ukazují pilotovu stálou aktivitu odpovídající povaze letu.

Výsledky detekce ospalosti/spánku poskytnutých firmou Honeywell International s.r.o. jsou uvedeny v grafu č. 18 pro hodinky a č. 19 pro kameru. V obou grafech hodnota 0 odpovídá bdělosti a účasti na řízení letounu. Hodnota 1 odpovídá ospalosti a hodnota 2 spánku.

Z obou grafů je patrné, že nedošlo k žádné detekci ospalosti nebo spánku během letu. To je v souladu s výše popsanou analýzou tepové frekvence a aktivity pilota. Během letu byl pilot vystaven řadě situací, které nepřispívají pro výskyt ospalosti nebo spánku. To je přisuzováno povaze letu a relativně krátké době trvání letu, během kterého byl pilot plně zaměstnán manuálním řízením letadla bez využití autopilota.



Graf č. 18 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z hodinek Apple Watch



Graf č. 19 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z kamery

8.4. Pilot č. 3

Jako třetí pilot, který se zúčastnil experimentu, je 20letý pilot-žák ve výcviku pro získání licence PPL/A. Pilot má na svém leteckém kontě 16 letových hodin. Více informací o pilotovi č. 3 je uvedeno v tabulce 5.

Věk	20
Typ licence	Ve výcviku
Celkový nálet	16 h
Nálet za posledních 90 dní	1h 30 min
Typové kvalifikace / letouny na kterých probíhá výcvik	C172
Brýle	NE

Tab. 5 Informace o pilotovi č. 3

Pilot v dotaznících uvedl, že nepocítuje žádné zdravotní problémy ani netrpí žádnými poruchami pozornosti nebo soustředění. Dále pilot uvedl, že nepoužívá žádné korekce zraku jako jsou brýle nebo kontaktní čočky, ani netrpí žádnými očními vadami.

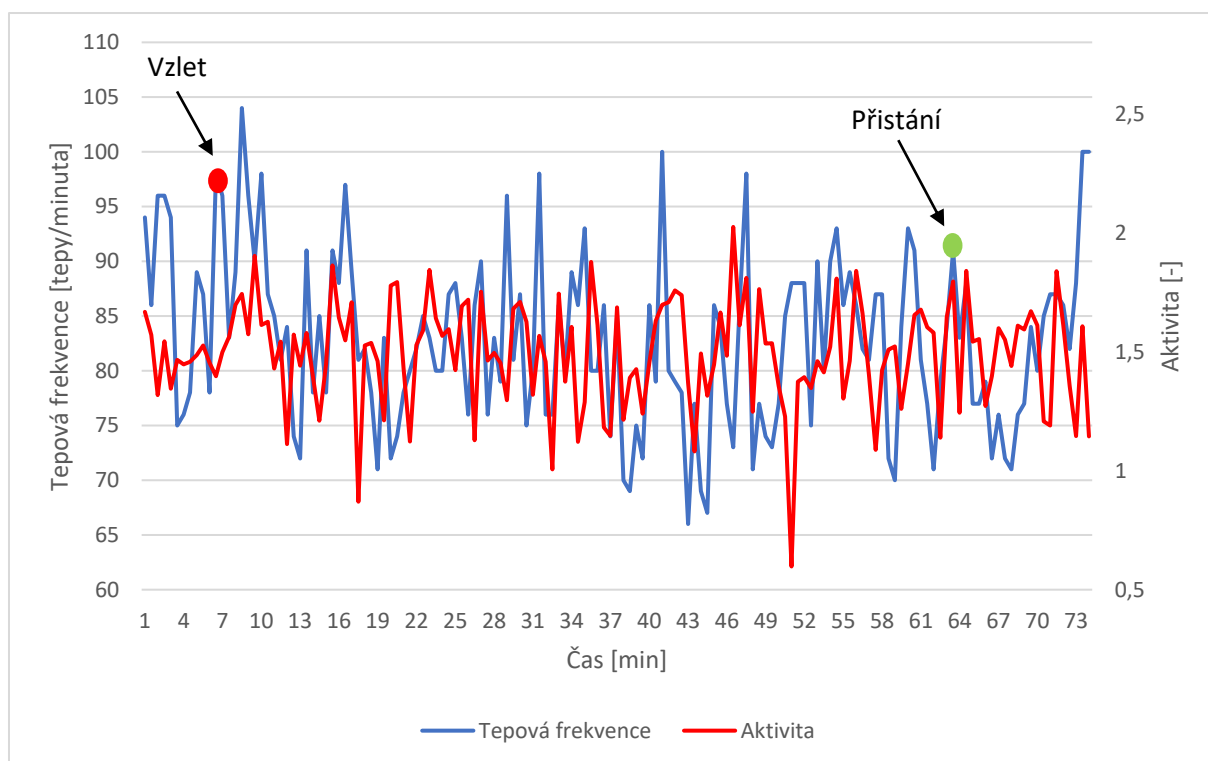
8.4.1. První let pilota č. 3

První let proběhl dne 8.3.2024 na letounu C172 s registrací OK-VUT. Odlet letounu proběhl v 8.58 LT z letiště Křižanov z dráhy 31. Žák v této letové úloze prováděl nácvik dlouhých a krátkých okruhů a nácvik nouzového přistání. V čase odletu bylo oblačno až skoro zataženo s pokrytím oblačnosti 5-7/8. Z důvodu značné oblačnosti let neprobíhal ve výšce vyšší než 2500 ft. Pilot v dotazníku uvedl, že během letu docházelo k výskytu turbulencí. Let byl dlouhý 56 minut.

V grafu č. 20 je zobrazen průběh tepové frekvence (modrá křivka) a aktivity (červená křivka) pilota, zaznamenané hodinkami Apple Watch, během celého letu, od vzletu letounu po přistání. Významné okamžiky jsou v grafu č. 20 označeny barevným bodem a odpovídají následujícím situacím:

- Červený bod označuje začátek vzletu. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 98 tepů za minutu. To může souviset s adrenalinovou odezvou na stres z toho, že letadlo opouští zem a stoupá do vzduchu.
- Zelený bod označuje průběh přistání, kde je patrný nárůst tepové frekvence a lehké navýšení aktivity. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 91 tepů za minutu. Situace opět odráží zvýšené napětí během této kritické fáze letu. Je to běžná reakce, protože přistání je často vnímáno jako jedna z nejnáročnějších částí letu, jak pro piloty, tak pro pasažéry.

Z grafu č. 20 lze vyčíst několik aspektů. Tento graf ukazuje celkově nižší úroveň srdeční frekvence v porovnání s ostatními účastníky experimentu, což může naznačovat dobrou fyzickou kondici nebo nízkou úroveň stresu pilota během prováděných manévru. V průběhu měření může pozorovat jemnější výkyvy, které odpovídají různým letovým manévru. Tyto manévry vyžadují různé úrovně zatížení a koncentrace, což se odráží v mírně zvýšené tepové frekvenci. Vrcholy v grafu, které překračují průměrnou tepovou frekvenci během tohoto měření, jsou pravděpodobně spojeny s náročnějšími fázemi letu, jako je nácvik nouzového přistání, kde může docházet i k nárůstu stresu. I když došlo k mírným výkyvům srdeční frekvence, udržovaly se tyto hodnoty v relativně stabilním rozmezí.



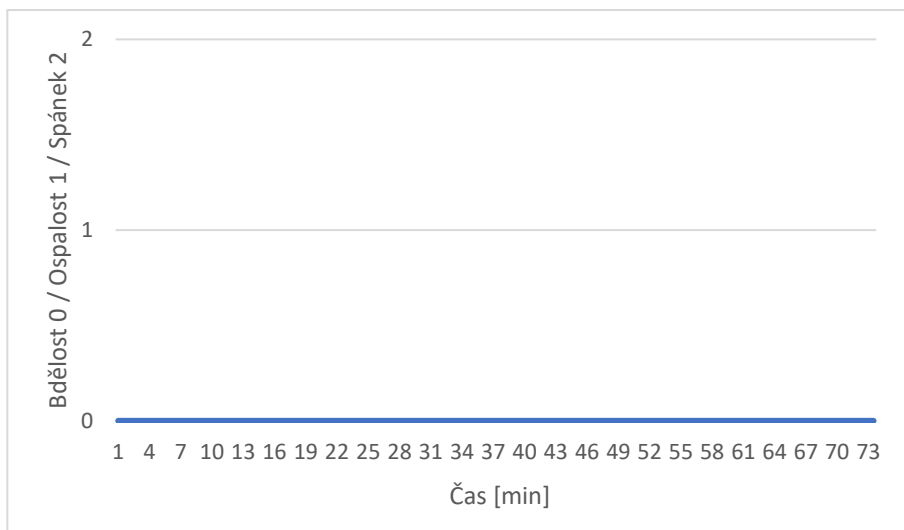
Graf č. 20 Záznam srdečního tepu a aktivity pilota zaznamenaný hodinkami Apple Watch

Hodnota aktivity znázorněna červenou křivkou odpovídá zvýšené tepové frekvenci, což naznačuje fyzické úsilí spojené s ovládáním letounu a reakci na turbulenci. Vyšší zaznamenané hodnoty aktivity mohou odpovídat složitějším manévřům, které v tomto případě souvisejí s nácvičkem nouzového přistání.

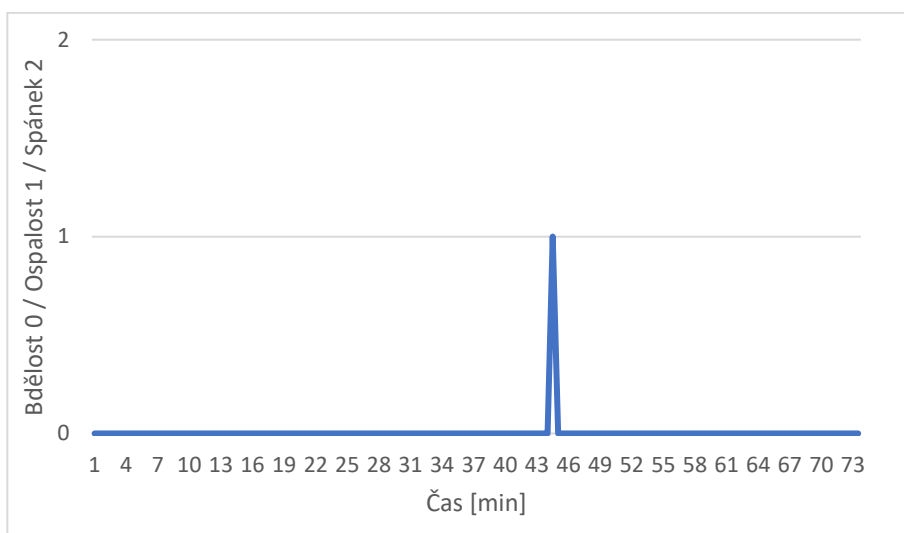
Z grafu vyplývá, že hodnoty se udržují v normálním rozmezí pro stav bdělosti, bez náhlých poklesů, které by naznačovaly pokles pracovní výkonnosti nebo snížení bdělosti, vedoucí k ospalosti nebo usnutí. Přestože pilot v dotazníku uvedl, že se po spánku necítil odpočatý, během letu zůstává ve střehu a pravděpodobnost, že by usnul, je minimální.

Výsledky detekce ospalosti/spánku poskytnutých firmou Honeywell International s.r.o. jsou uvedeny v grafu č. 21 pro hodinky a č. 22 pro kameru. V obou grafech hodnota 0 odpovídá bdělosti a účasti na řízení letounu. Hodnota 1 odpovídá ospalosti a hodnota 2 spánku.

V grafu č. 21 jsou zobrazeny výsledky z hodinek Apple Watch, které nezaznamenaly ospalost ani usnutí. Během celého letu indikují výsledky hodnotu 0, tedy stav bdělosti, což odpovídá aktivnímu zapojení pilota do řízení letounu. V grafu č. 22 jsou pak zobrazeny výsledky z kamery, kde byla ve 45 minutě po vzletu indikována ospalost. Po bližším prozkoumání videa se pilot po delší dobu díval na levou stranu a kamera tuto situaci vyhodnotila hodnotou 1, jak je patrné v grafu č. 22. Pilot však byl během celého letu aktivní a v bdělém stavu a ani v tomto případě riziko ospalosti ani usnutí nenastalo.



Graf č. 21 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z hodinek Apple Watch



Graf č. 22 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z kamery

8.4.2. Druhý let pilota č. 3

Druhý let proběhl dne 22. 3. 2024 na letounu C172 s registrací OK-VUT. Odlet letounu proběhl v 8.20 LT z letiště Křižanov z dráhy 31. Žák v této letové úloze prováděl nácvik vstupu a výstupu z ATZ. Jednalo se o 2hodinový výcvikový let. V čase odletu bylo oblačno až zataženo s pokrytím oblačnosti 8/8. Z důvodu značné oblačnosti let neprobíhal ve výšce vyšší než 3000 ft. Pilot v dotazníku uvedl, že během letu docházelo k výskytu turbulencí.

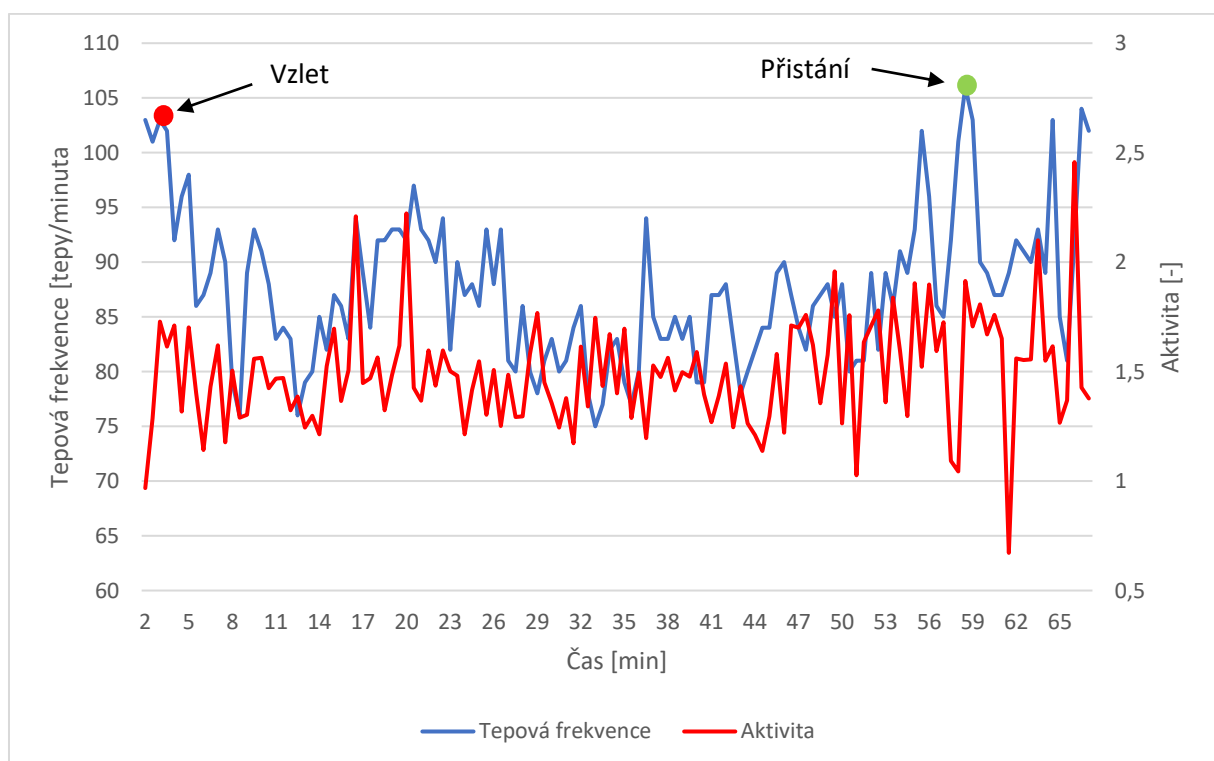
První část letu trvala 55 minut. Pilot provedl sérii letů do prostoru s nácvikem správné komunikace zejména při opuštění ATZ a při vstupu do ATZ. Také musel dbát na dodržování postupů radiotelefonie a správné frazeologie. Po dobu letu musel udržovat letoun ve správném kurzu, bezpečnou rychlost a také udržovat neustálý vizuální kontakt se zemí, aby nedošlo ke ztrátě orientace. Po dobu probíhání této letové úlohy byl na letišti instruktor, který kontroloval polohu letounu na mapě v telefonu a udržoval se žákem neustálé oboustranné radiové spojení.

V grafu č. 23 je zobrazen průběh tepové frekvence (modrá křivka) a aktivity (červená křivka) pilota, zaznamenané hodinkami Apple Watch, během celého letu, od vzletu letounu po

přistání. Významné okamžiky jsou v grafu č. 23 označeny barevným bodem a odpovídají následujícím situacím:

- Červený bod označuje začátek vzletu. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 102 tepů za minutu. To může souviset s adrenalinovou odezvou na stres z toho, že letadlo opouští zem a stoupá do vzduchu.
- Zelený bod označuje průběh přistání, kde je patrný nárůst tepové frekvence a lehké navýšení aktivit. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 106 tepů za minutu. Situace opět odráží zvýšené napětí během této kritické fáze letu. Je to běžná reakce, protože přistání je často vnímáno jako jedna z nejnáročnějších částí letu, jak pro piloty, tak pro pasažéry.

Z grafu č. 23 je patrné, že během letu došlo k několika výkyvům. Na grafu lze vidět nárůst tepové frekvence v 55. minutě, který může být spojen s návratem do ATZ, jelikož pilot musel dbát na správnou frazeologii při komunikaci a soustředit se na přesné postupy při vstupu do letištní zóny. Fakt, že instruktor byl během letu přítomen na letišti a kontroloval polohu letounu na telefonu a udržoval s žákem radiové spojení, mohl žáka částečně uklidnit, ale zároveň zvyšovat tlak na jeho přesné výkony, což mohlo vést ke zvýšení míry stresu a případné ospalosti. Křivka aktivity vykazuje větší míru variability ve srovnání s modrou křivkou tepové frekvence, což může odrážet proměnlivost fyzické aktivity a náročnost prováděných manévřů během letu.

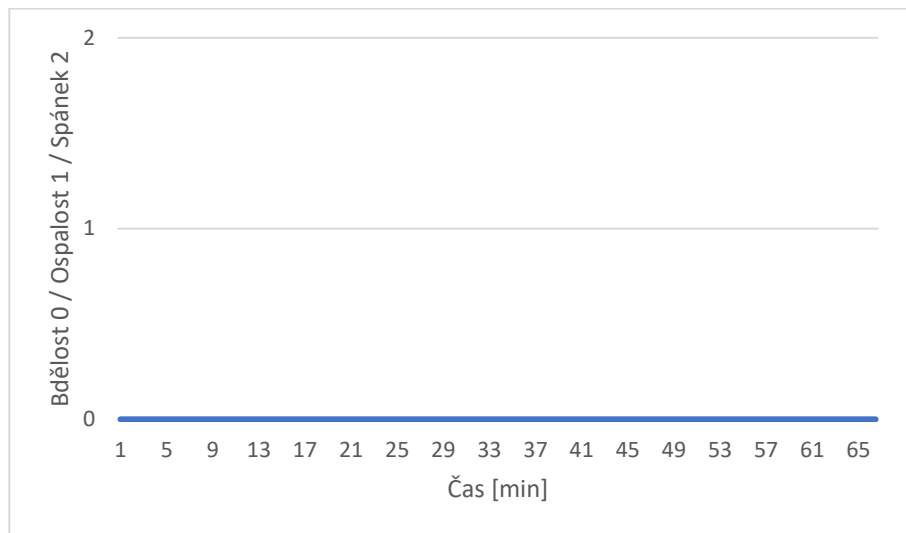


Graf č. 23 Záznam srdečního tepu a aktivity pilota zaznamenaný hodinkami Apple Watch

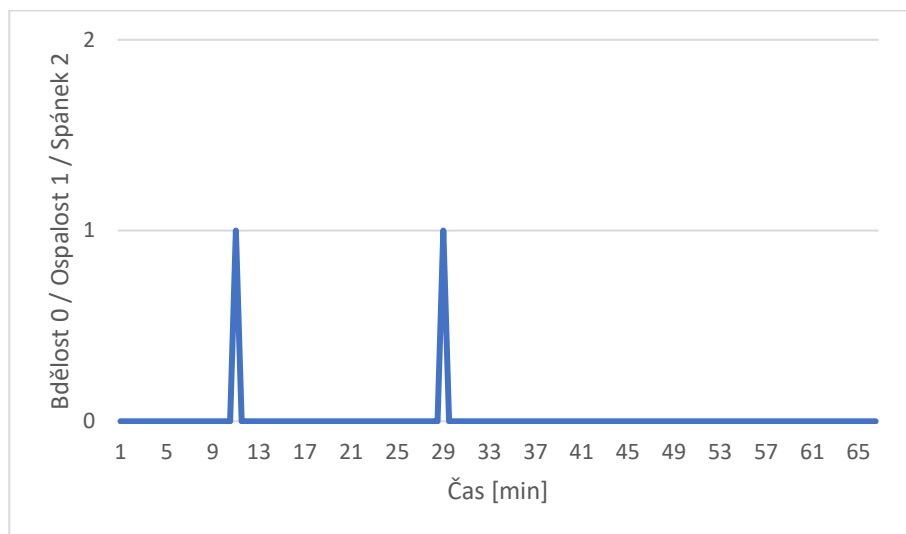
Navzdory tomu zůstává tepová frekvence žáka relativně stabilní a s mírnými výkyvy, což může naznačovat, že žák byl schopen udržet potřebnou úroveň bdělosti a soustředění.

Výsledky detekce ospalosti/spánku poskytnutých firmou Honeywell International s.r.o. jsou uvedeny v grafu č. 24 pro hodinky a č. 25 pro kameru. V obou grafech hodnota 0 odpovídá bdělosti a účasti na řízení letounu. Hodnota 1 odpovídá ospalosti a hodnota 2 spánku.

V grafu č. 24 jsou zobrazeny výsledky z hodinek Apple Watch, které nezaznamenaly ospalost ani usnutí. Během celého letu indikují výsledky hodnotu 0, tedy stav bdělosti, což odpovídá aktivní zapojení pilota do řízení letounu. V grafu č. 25 jsou pak zobrazeny výsledky z kamery, kde byla ve 11. a 29. minutě indikována ospalost. Po zhlédnutí videa lze dospět k závěru, že pilotův pohled v těchto časech nebyl přímo dopředu z kabiny letounu, ale mimo něj, což mohlo způsobit zkreslené výsledky a chybné vyhodnocení. Závěrem lze dodat, že žák byl během letu aktivní a ospalost ani usnutí v tomto případě nenastali.



Graf č. 24 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z hodinek Apple Watch



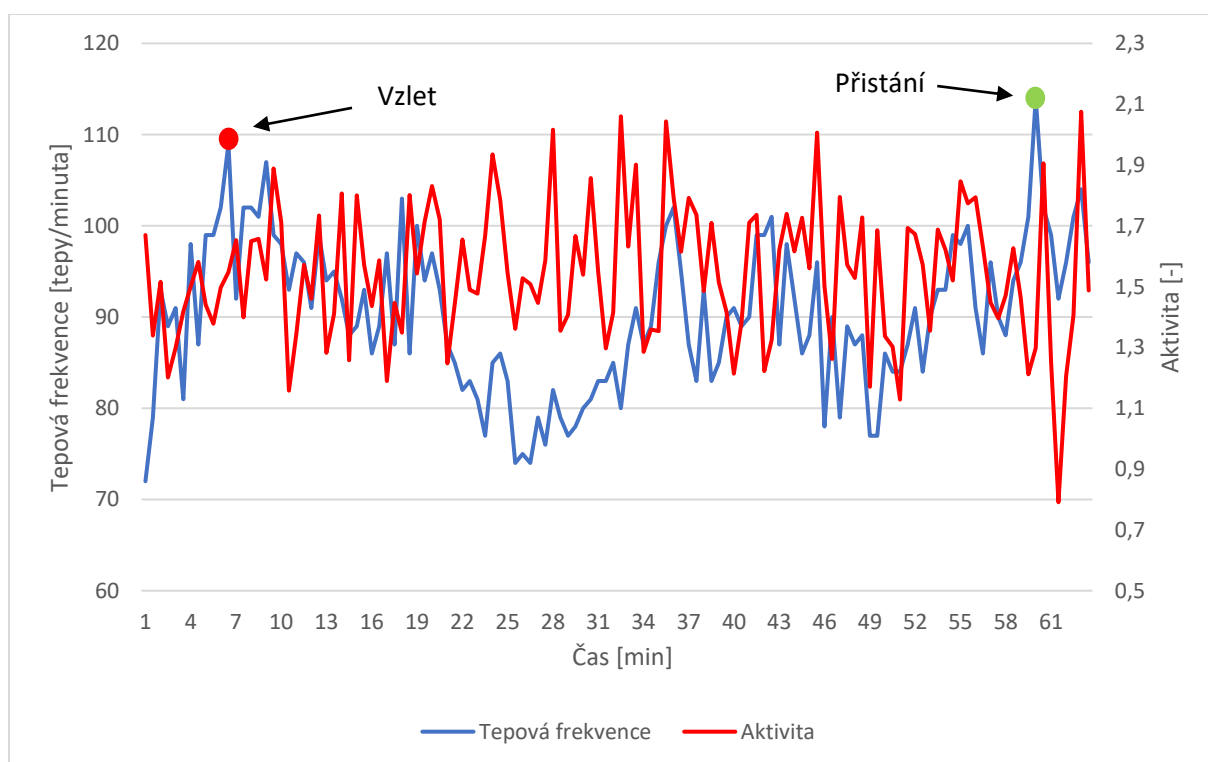
Graf č. 25 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z kamery

V druhém letu pilot-žák prováděl stejnou letovou úlohu jako při prvním letu. Jednalo se o nácvik vstupu a opuštění příslušného ATZ. Letoun odstartoval v 9.30 LT z dráhy 31 a byl dlouhý 54 minut. Jelikož se jednalo o stejný postup, nebudu tuto úlohu více rozepisovat.

V grafu č. 26 je zobrazen průběh tepové frekvence (modrá křivka) a aktivity (červená křivka) pilota, zaznamenané hodinkami Apple Watch, během celého letu, od vzletu letounu po přistání. Významné okamžiky jsou v grafu č. 26 označeny barevným bodem a odpovídají následujícím situacím:

- Červený bod označuje začátek vzletu. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 109 tepů za minutu. To může souviset s adrenalinovou odezvou na stres z toho, že letadlo opouští zem a stoupá do vzduchu.
- Zelený bod označuje průběh přistání, kde je patrný nárůst tepové frekvence a lehké navýšení aktivit. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 114 tepů za minutu. Situace opět odráží zvýšené napětí během této kritické fáze letu. Je to běžná reakce, protože přistání je často vnímáno jako jedna z nejnáročnějších částí letu, jak pro piloty, tak pro pasažéry.

V tomto druhém letu pilot vykazuje vyšší úroveň tepové frekvence a také výraznější vrcholy při vzletu a přistání. To může naznačovat vyšší úroveň pracovní zátěže na palubě. Po vzletu tepová frekvence postupně klesá a stabilizuje se, což může signalizovat adaptaci pilota na letové podmínky. Z grafu č. 26 je vidět rychlejší a vyšší nárůst tepové frekvence při vzletu než v grafu č. 23. Tepová frekvence po vzletu postupně klesá a pak kolísá mezi menšími amplitudami než v grafu č. 23, ale obecně s vyššími hodnotami. Přistání je doprovázeno nárůstem tepové frekvence až na 114 tepů za minutu, což je nejvyšší hodnota z obou grafů. Zvýšení tepové frekvence u přistání také odpovídá zvýšené aktivitě pilota, indikující zvýšenou manipulaci s řídicími prvky letounu. Z grafu č. 26 lze také usoudit, že modrá křivka vykazuje nižší variabilitu ve srovnání s aktivitou.



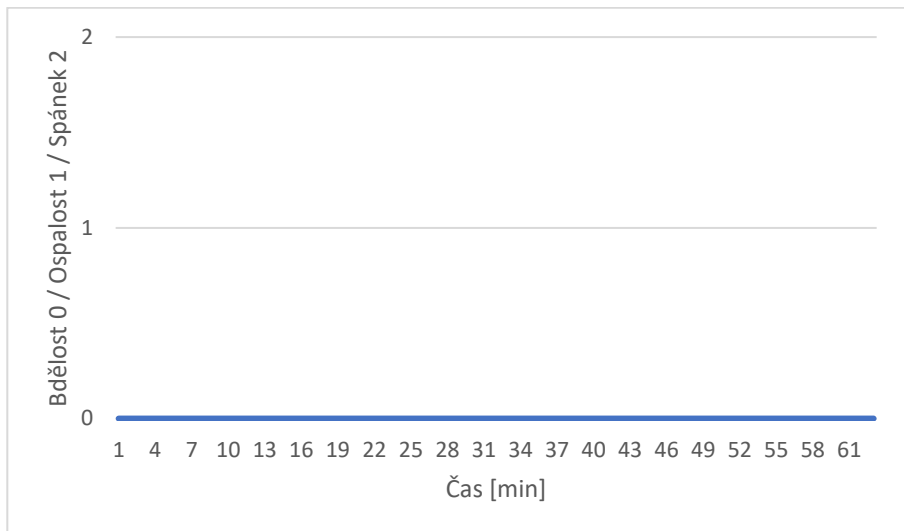
Graf č. 26 Záznam srdečního tepu a aktivity pilota zaznamenaný hodinkami Apple Watch

Na základě analýzy tepové frekvence a aktivity lze konstatovat, že pilot byl během celého letu fyzicky aktivní a koncentrovaný a riziko usnutí v tomto případě nehrozilo.

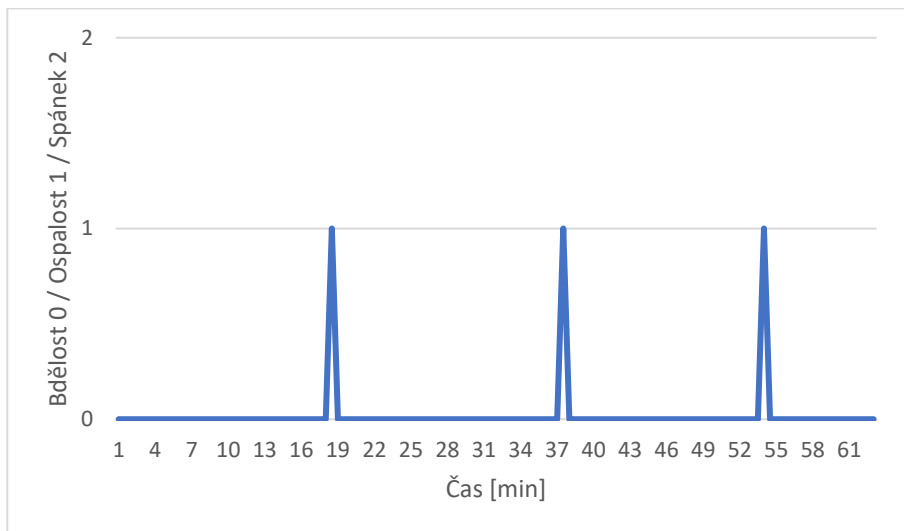
Výsledky detekce ospalosti/spánku poskytnutých firmou Honeywell International s.r.o. jsou uvedeny v grafu č. 27 pro hodinky a č. 28 pro kameru. V obou grafech hodnota 0 odpovídá bdělosti a účasti na řízení letounu. Hodnota 1 odpovídá ospalosti a hodnota 2 spánku.

V grafu č. 27 jsou zobrazeny výsledky z hodinek Apple Watch, které nezaznamenaly ospalost ani usnutí. Během celého letu indikují výsledky hodnotu 0, tedy stav bdělosti, což odpovídá

aktivní zapojení pilota do řízení letounu. V grafu č. 28 jsou pak zobrazeny výsledky z kamery, kde byla ve 18,5, 37,5 a 54. minutě indikována ospalost. Po zhlédnutí videa lze dospět k závěru, že pilotův pohled v těchto časech nebyl přímo dopředu z kabiny letounu, ale mimo něj, což mohlo způsobit zkreslené výsledky a chybné vyhodnocení. Závěrem lze dodat, že žák byl během letu aktivní a ospalost ani usnutí v tomto případě nenastali.



Graf č. 27 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z hodinek Apple Watch



Graf č. 28 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z kamery

8.5. Pilot č. 4

Čtvrtým účastníkem měření je dvacetiletý pilot-žák, který má nalétáno celkem 20 letových hodin a je ve výcviku pro získání licence PLA(A). Více informací o pilotovi č. 4 je uvedeno v tabulce 6.

Věk	19
Typ licence	Ve výcviku
Celkový nálet	20 h
Nálet za posledních 90 dní	4 h
Typové kvalifikace / letouny na kterých probíhá výcvik	C172
Brýle	ANO

Tab. 6 Informace o pilotovi č. 4

Pilot v dotaznících uvedl, že nepocítuje žádné zdravotní problémy ani netrpí žádnými poruchami pozornosti nebo soustředění. Dále pilot uvedl, že ke korekci zraku používá brýle kvůli dalekozrakosti.

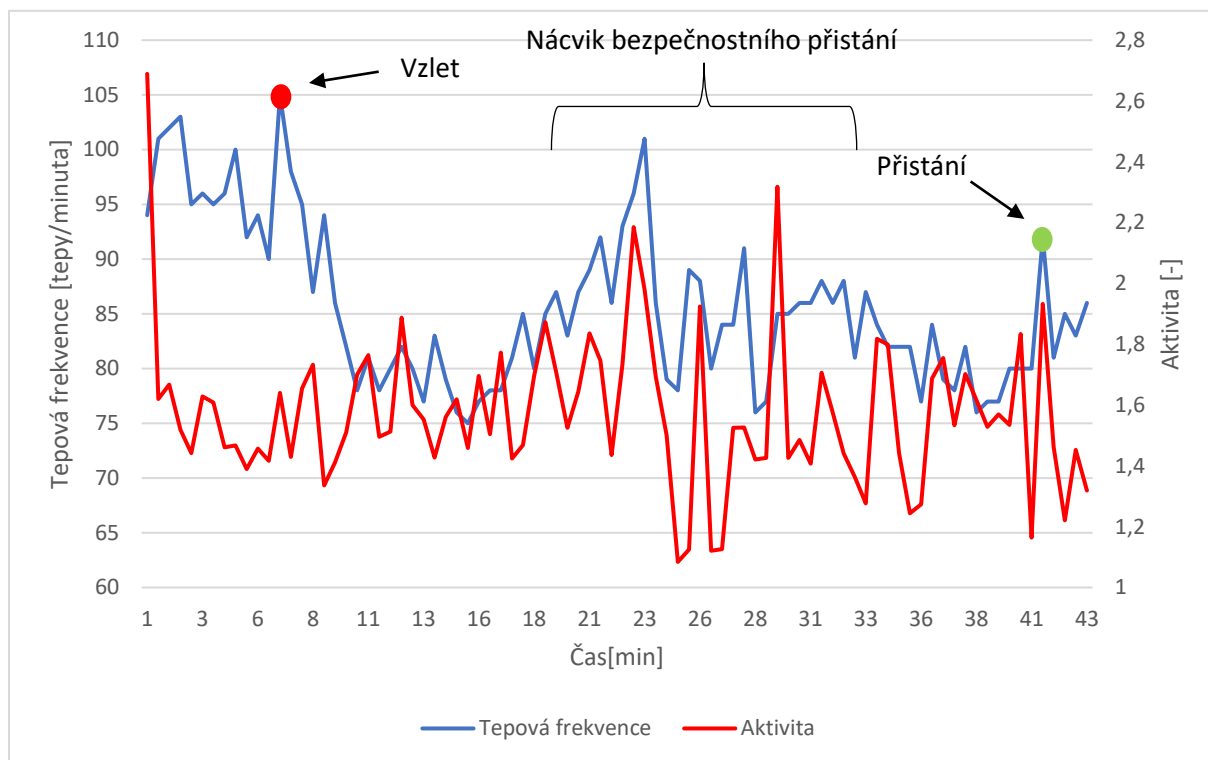
8.5.1. První let pilota č. 4

První let proběhl dne 8. 3. 2024 na letounu C172. Pilot v rámci výcviku nacvičoval bezpečnostní přistání. Let byl plánován na 30 minut. V čase odletu bylo zataženo s pokrytím oblačnosti 8/8. Pilot v dotazníku uvedl, že z důvodu značné oblačnosti let neprobíhal ve výšce vyšší než 1000 ft AGL. Pilot také uvedl, že během letu docházelo k výskytu turbulencí. Jednalo se o výcvikový let s instruktorem na palubě. Během nácviku bezpečnostního přistání byl pilot-žák vystaven několika stresorům, které mohly mít vliv na jeho fyziologický stav. Zvláště nízká oblačnost vyžadující pozornost a přizpůsobení letu mohla zvýšit stres a následnou ospalost.

V grafu č. 29 je zobrazen průběh tepové frekvence (modrá křivka) a aktivity (červená křivka) pilota, zaznamenané hodinkami Apple Watch, během celého letu, od vzletu letounu po přistání. Významné okamžiky jsou v grafu č. 29 označeny barevným bodem a odpovídají následujícím situacím:

- Červený bod označuje začátek vzletu. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 105 tepů za minutu. To může souviset s adrenalinovou odezvou na stres z toho, že letadlo opouští zem a stoupá do vzduchu.
- Zelený bod označuje průběh přistání, kde je patrný nárůst tepové frekvence a lehké navýšení aktivity. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 92 tepů za minutu. Situace opět odráží zvýšené napětí během této kritické fáze letu. Je to běžná reakce, protože přistání je často vnímáno jako jedna z nejnáročnějších částí letu, jak pro piloty, tak pro pasažéry.

Z grafu č. 29 je patrné, že tepová frekvence během letu vykazovala výrazné odchylky. Tyto změny v tepové frekvenci lze považovat za fyziologické reakce na stres a případnou únavu, která se během letu mohla u pilota vyskytnout. Na otázku, zda se pilot cítil po spánku odpočatý, odpověděl záporně.

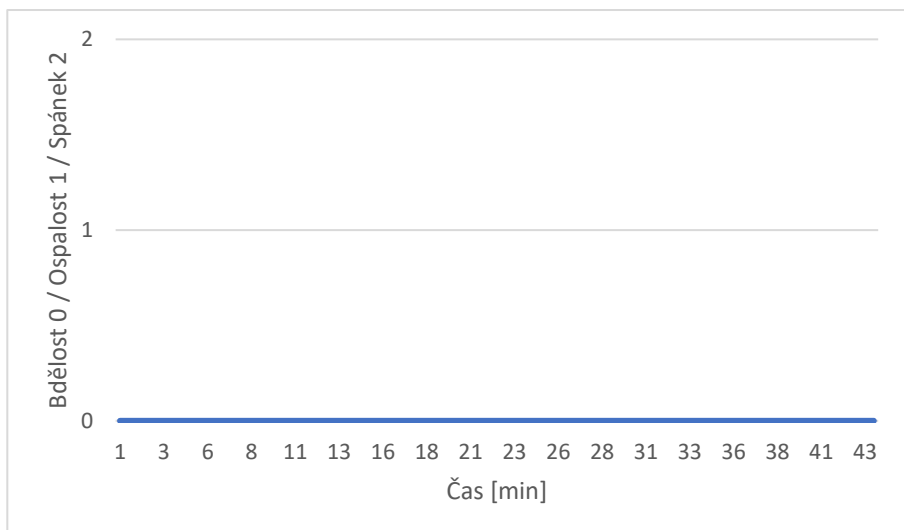


Graf č. 29 Záznam srdečního tepu a aktivity pilota zaznamenaný hodinkami Apple Watch

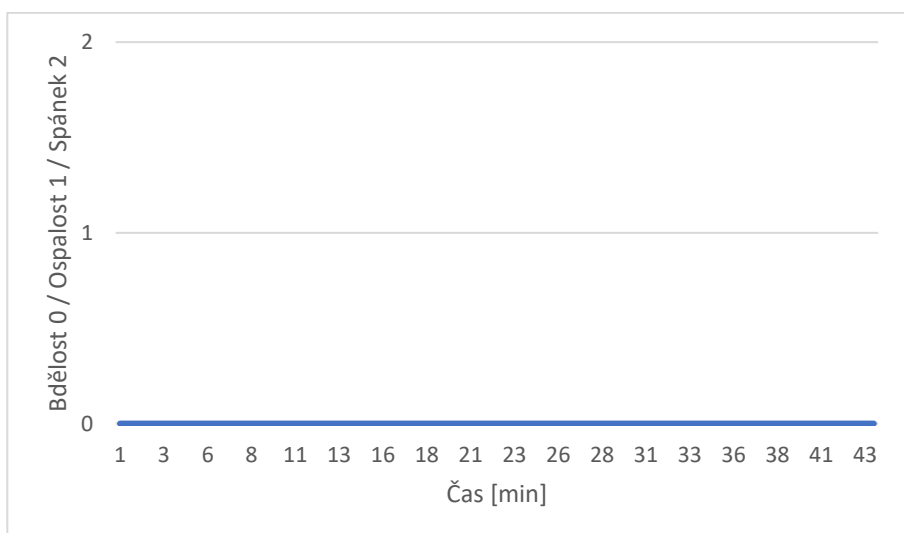
V první čtvrtině letu je vidět výrazný pokles srdeční frekvence, což by mohlo odpovídat adaptaci na letové podmínky. Následující část grafu znázorňuje zvýšení srdeční frekvence, což může signalizovat zvýšenou pracovní zátěž a fyzické napětí pilota, zejména v době, kdy prováděl nácvik bezpečnostního přistání. Data aktivity, která jsou zobrazena červenou křivkou, vykazují výrazné výchylky v časech, které odpovídají období zvýšené tepové frekvence pilota. Především se jedná o čas mezi 20. a 28. minutou letu. Současný vzestup obou křivek naznačuje, že intenzivní fyzická aktivita a manévry s letounem mohly způsobit zvýšení, jak srdečního tepu pilota, tak jeho aktivity. Tyto výchylky naznačují, že pilot během těchto okamžiků prováděl aktivní a náročné manévry s letounem. Tepová frekvence zůstala u pilota po celou dobu letu na vyšších hodnotách, což značí stav bdělosti a aktivní účast na řízení letounu. Z dostupných dat, včetně srdečního tepu a hodnot aktivity, je možné dospět k závěru, že pilot během letu neusnul ani neměl tendenci usínat.

Výsledky detekce ospalosti/spánku poskytnutých firmou Honeywell International s.r.o. jsou uvedeny v grafu č. 30 pro hodinky a č. 31 pro kameru. V obou grafech hodnota 0 odpovídá bdělosti a účasti na řízení letounu. Hodnota 1 odpovídá ospalosti a hodnota 2 spánku.

Z obou grafů je patrné, že nedošlo k žádné detekci ospalosti nebo spánku během letu. To je v souladu s výše popsanou analýzou tepové frekvence a aktivity pilota. Během letu byl pilot vystaven řadě situací, které nepřispívají pro výskyt ospalosti nebo spánku. To je přisuzováno povaze letu a relativně krátké době trvání letu, během kterého byl pilot plně zaměstnán manuálním řízením letadla bez využití autopilota.



Graf č. 30 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z hodinek Apple Watch



Graf č. 31 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z kamery

8.5.2. Druhý let pilota č. 4

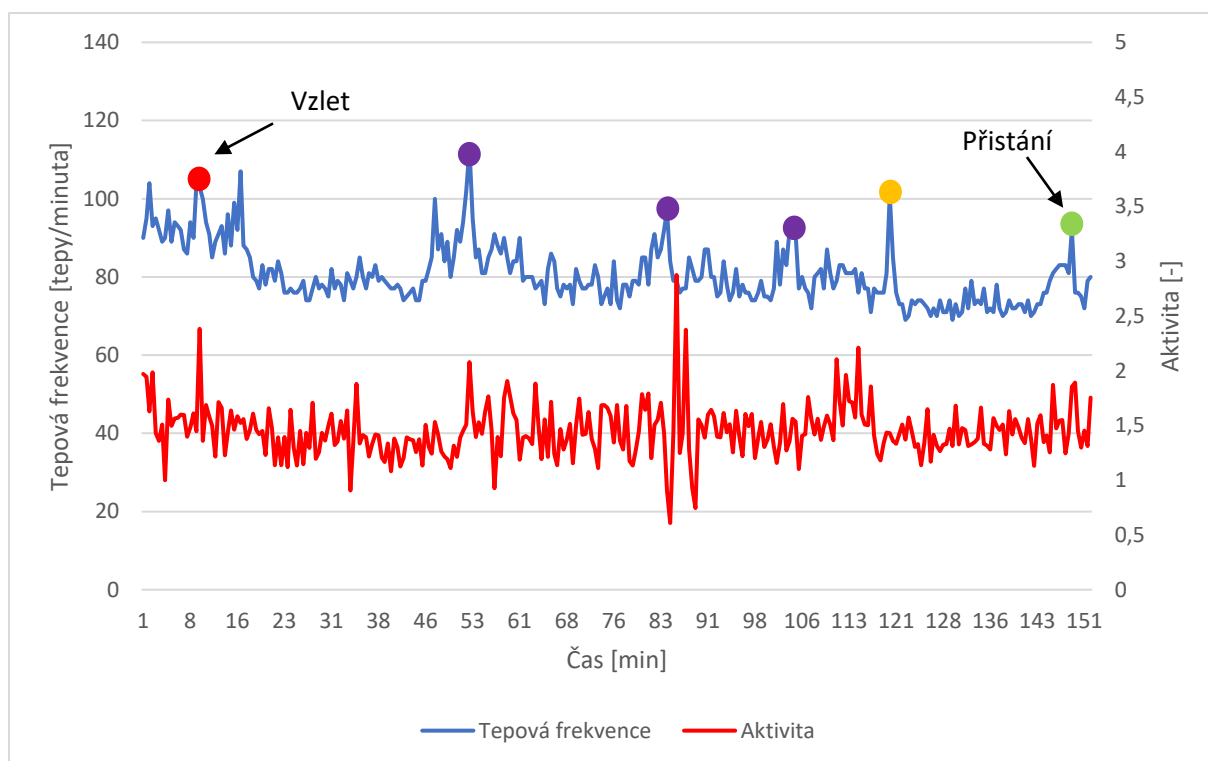
Druhý let proběhl dne 5. 4. 2024 na letounu C172. Pilot v rámci výcviku absolvoval navigační let z letiště Křižanov, přes obec Luka nad Jihlavou, letiště Znojmo, letiště Břeclav, Letiště Kyjov a poté zpět přes TMA Brno na letiště Křižanov. Letoun odstartoval v čase 13.30 LT a pokračoval na 2 hodiny a 20 minut dlouhý let. V čase odletu bylo skoro jasno s pokrytím oblačnosti 1-2/8. Let probíhal do výšky 3000 ft. Pilot také uvedl, že během letu docházelo k výskytu turbulencí. Pilot po celou dobu letu letěl podle VFR pravidel, tedy za viditelnosti země.

Letoun po odletu z letiště Křižanov pokračoval přes obec Luka nad Jihlavou a poté zamířil na jihovýchod směrem k letišti Znojmo. Po přibližně 45 minutách letu pilot provedl plné přistání na dráhu 26 ve Znojmě. Letoun po přistání pokračoval na vyčkávací místo dráhy 26 kde provedl vzlet a pokračoval na místo dalšího navigačního bodu, tedy letiště v Břeclavi. Na letiště v Břeclavi letoun provedl opět plné přistání také na dráhu 26. Po přistání pilot pokračoval na vyčkávací místo dráhy 26, kde si připravil potřebnou dokumentaci k navigaci

na další letiště. Všechna přistání v rámci tohoto navigačního letu poskytlo pilotovi příležitost procvičit si postupy přiblížení a přistání v jiném prostředí než na domácím letišti. Po odletu z Břeclavi pilot pokračoval severovýchodním směrem k letišti Kyjov, kde opět provedl plné přistání na dráhu 33. Po přistání pilot pojížděl na vyčkávací místo dráhy 33, kde provedl nezbytné úkony před vzletem a připravil si potřebnou dokumentaci na poslední část letu. Po odletu z letiště Kyjov pilot pokračoval západním směrem přes TMA a CTR Brno. V této části letu pilot musel dbát na přesnou frazeologii a dodržování veškerých postupů. Po průletu CTR a TMA Brno pilot pokračoval na cílové letiště Křižanov. Na letišti v Křižanově letoun přistál po 2 hodinách a 20 minutách.

V grafu č. 32 je zobrazen průběh tepové frekvence (modrá křivka) a aktivity (červená křivka) pilota, zaznamenané hodinkami Apple Watch, během celého letu, od vzletu letounu po přistání. Významné okamžiky jsou v grafu č. 32 označeny barevným bodem a odpovídají následujícím situacím:

- Červený bod je označuje začátek vzletu. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 103 tepů za minutu a je doprovázena zvýšenou aktivitou. To může souviset s adrenalinovou odezvou na stres z toho, že letadlo opouští zem a stoupá do vzduchu.
- Jednotlivá přistání ve Znojmě, Břeclavi a Kyjově jsou označena fialovým bodem a naznačují zvýšenou pracovní zátěž pilota a fyzickou námahu. Toto zvýšení tepové frekvence je typické pro přistávací manévry, protože od pilota se vyžaduje zvýšená koncentrace a koordinace při pilotování. Na grafu č. 32 lze vidět postupné snižování horní hranice srdeční frekvence při jednotlivých mezipřistání. Tento jev může být způsoben se zvyšující se zkušeností a sebejistotou pilota, lepší adaptací na stres při provádění přistávacího manévru, únavou pilota a také se zlepšující se přistávací technikou.
- Oranžový bod v grafu znázorňuje přelet TMA a CTR letiště Brna a je doprovázen s výrazným nárůstem a poté následným poklesem tepové frekvence. Tento nárůst mohou způsobit zvýšené požadavky na navigaci v prostoru letiště, jelikož pilot musí dodržovat přesné pokyny od řídicího letového provozu, jako jsou výška, rychlost a směr letu. Pilot také musí komunikovat s řízením letového provozu a být schopen rychlé reakce. Musí také dbát na zvýšený pohyb letadel v této oblasti, což způsobí nárůst tepové frekvence. Po úspěšném navázání kontaktu s řídicím letového provozu pilot pocítí úlevu a snížení stresu, což se projeví poklesem tepové frekvence. Pozorovaný nárůst a následný pokles tepové frekvence v této oblasti lze přisuzovat reakci na zvýšené nároky při přeletu řízené oblasti kolem Brna.
- Zelený bod označuje průběh přistání v Křižanově, kde je patrný nárůst tepové frekvence a lehké navýšení aktivity. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 92 tepů za minutu. Situace opět odráží zvýšené napětí během této kritické fáze letu.



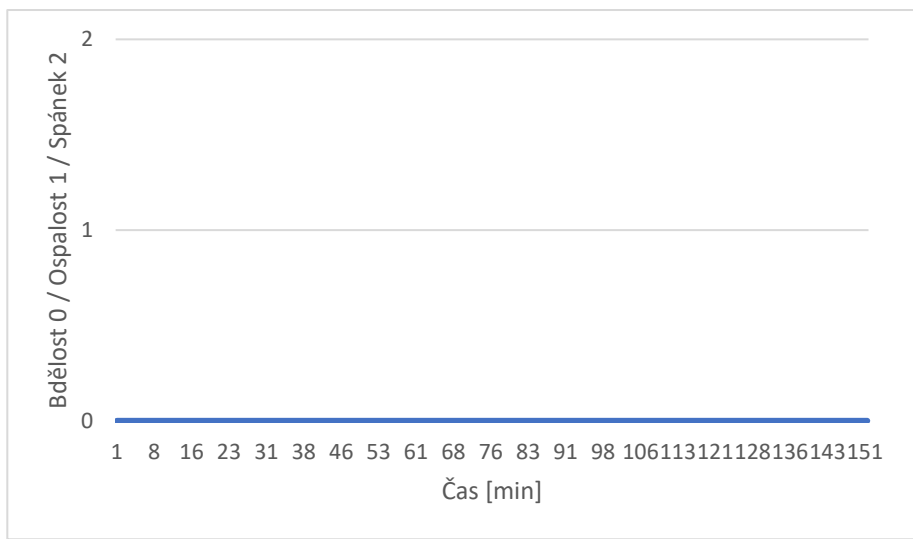
Graf č. 32 Záznam srdečního tepu a aktivity pilota zaznamenaný hodinkami Apple Watch

Aktivita vykazuje větší variabilitu s několika vrcholy. Zvláště výrazný nárůst lze pozorovat po přistání letounu v Břeclavi, kde dosahuje nejvyšších hodnot. Tento nárůst hodnot může být spojen s aktivitami pilota, jako je manipulace s leteckou dokumentací a provádění předletových příprav na zbylé části letu. Celkově lze konstatovat, že po přistání je výrazný nárůst v hodnotách aktivity spojen s aktivitami pilota po přistání.

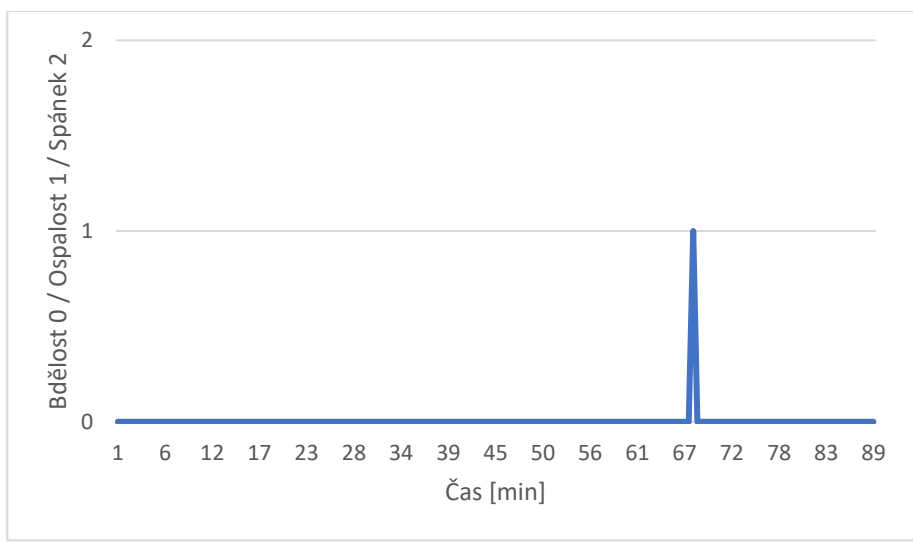
Na základě tepové frekvence a aktivity graf naznačuje, že nejvyšší úroveň stresu a náročnosti pro pilota odpovídá fázi přistání a vzletu, kde tepová frekvence dosahovala svých vrcholů. Naopak, nižší tepové frekvence odpovídají letu v cestovní hladině a mohou způsobit ospalost a sníženou bdělost, což je nebezpečné vzhledem k riziku ospalosti.

Výsledky detekce ospalosti/spánku poskytnutých firmou Honeywell International s.r.o. jsou uvedeny v grafu č. 33 pro hodinky a č. 34 pro kameru. V obou grafech hodnota 0 odpovídá bdělosti a účasti na řízení letounu. Hodnota 1 odpovídá ospalosti a hodnota 2 spánku.

V grafu č. 33 jsou zobrazeny výsledky z hodinek Apple Watch, které nezaznamenaly ospalost ani usnutí. Během celého letu indikují výsledky hodnotu 0, tedy stav bdělosti, což odpovídá aktivnímu zapojení pilota do řízení letounu. V grafu č. 34 jsou pak zobrazeny výsledky z kamery, kde byla v 67. minutě indikována ospalost. V tomto čase pilot vyhledával určitá místa na mapě a studoval navigaci. Jeho směr pohledu směřoval dolů do mapy, což systém vyhodnotil jako ospalost. Časová osa v tomto grafu je pouze do 88,5. minuty, jelikož se po této době vybila baterie. Po této době pokračovalo monitorování pouze prostřednictvím hodinek Apple Watch. Závěrem lze konstatovat, že během tohoto letu k ospalosti/usnutí nedošlo, jelikož byl pilot plně zaměstnaný řízením letounu, navigací a komunikací během letu.



Graf č. 33 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z hodinek Apple Watch



Graf č. 34 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z kamery

8.6. Pilot č. 5

Pátým účastníkem měření je dvacetiletá pilotní-žákyně, který má nalétáno celkem 25 letových hodin a je ve výcviku pro získání licence PLA(A). Více informací o pilotce č. 5 je uvedeno v tabulce 7.

Věk	20
Typ licence	Ve výcviku
Celkový nálet	25 h
Nálet za posledních 90 dní	7 h
Typové kvalifikace / letouny na kterých probíhá výcvik	C172
Brýle	NE

Tab. 7 Informace o pilotovi č. 5

Pilotka v dotaznících uvedla, že nepocítuje žádné zdravotní problémy ani netrpí žádnými poruchami pozornosti nebo soustředění. Dále uvedla, že nepoužívá žádné korekce zraku jako jsou brýle nebo kontaktní čočky, ani netrpí žádnými očními vadami.

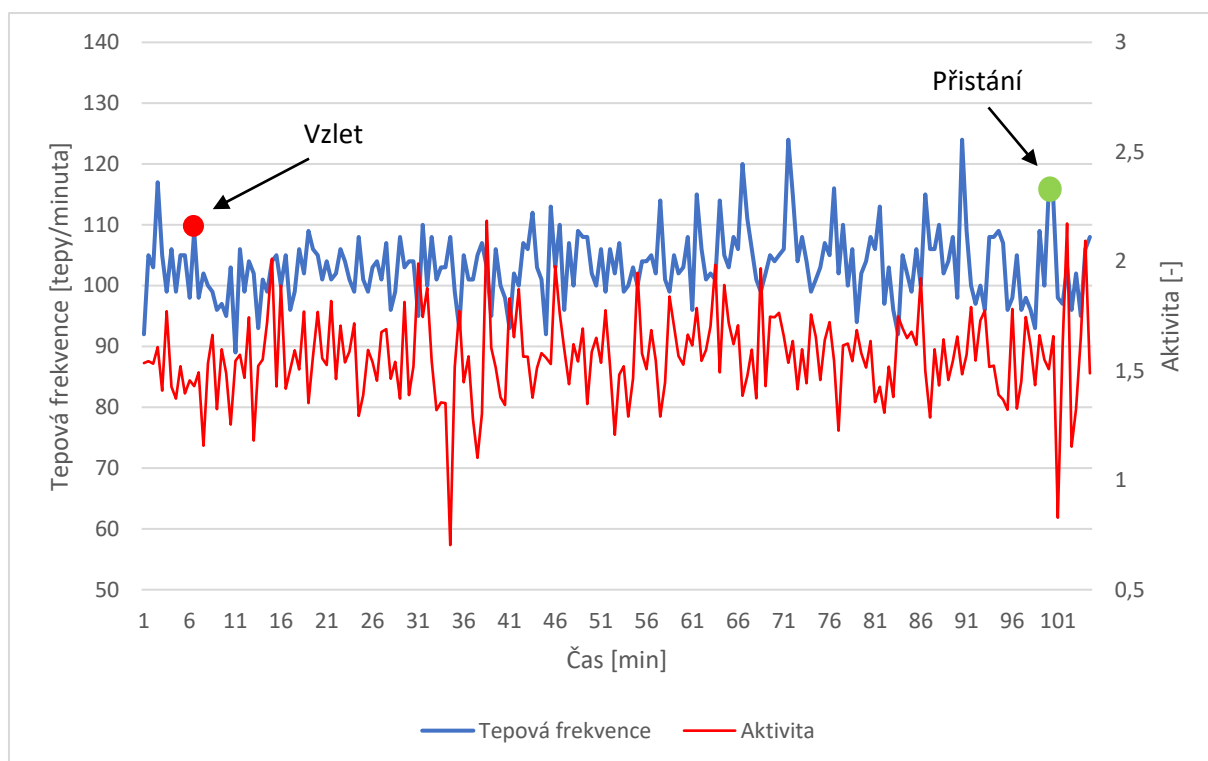
8.6.1. První let pilota č. 5

První let proběhl dne 22. 3. 2024 na letounu C172. Pilotka v rámci výcviku nacvičovala letištní okruhy. Let byl plánován na 1,5 hodiny. Na otázku, zda pocítuje nějaké aktuální zdravotní problémy, uvedla bolest zad. V čase odletu bylo oblačno až skoro zataženo s pokrytím oblačnosti 6/8. Během letu nedocházelo k turbulencím.

V grafu č. 35 je zobrazen průběh tepové frekvence (modrá křivka) a aktivity (červená křivka) pilota, zaznamenané hodinkami Apple Watch, během celého letu, od vzletu letounu po přistání. Významné okamžiky jsou v grafu č. 35 označeny barevným bodem a odpovídají následujícím situacím:

- Červený bod označuje začátek vzletu. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 107 tepů za minutu. To může souviset s adrenalinovou odezvou na stres z toho, že letadlo opouští zem a stoupá do vzduchu.
- Zelený bod označuje průběh přistání, kde je patrný nárůst tepové frekvence a lehké navýšení aktivity. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 116 tepů za minutu. Situace opět odráží zvýšené napětí během této kritické fáze letu. Je to běžná reakce, protože přistání je často vnímáno jako jedna z nejnáročnějších částí letu.

V grafu č. 35 je zobrazen průběh tepové frekvence během letu s rozsahem hodnot od 89 do 124 tepů za minutu. V první části grafu začíná tepová frekvence vysoko s vrcholem přesahující 110 tepů za minutu, což naznačuje zvýšený stres nebo nervozitu spojenou se vzletem. V druhé části grafu je tepová frekvence relativně stabilní s průměrnými hodnotami 100 tepů za minutu, což naznačuje udržovanou koncentraci a aktivní zapojení do řízení letounu. Ve třetí části grafu lze vidět několik výraznějších špiček, což může poukazovat na zvýšený stres a zvýšenou fyzickou námahu. Tepová frekvence v této části grafu dosahuje hodnot do 124 tepů za minutu.

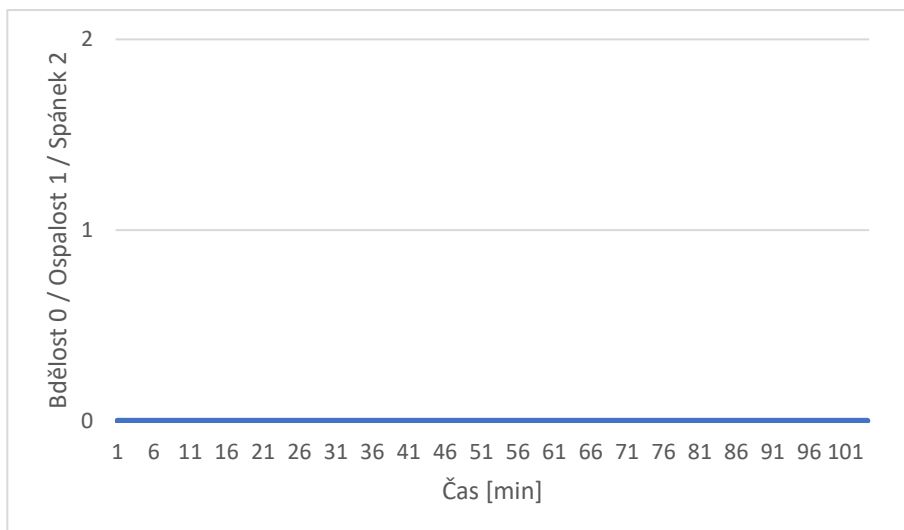


Graf č. 35 Záznam srdečního tepu a aktivity pilota zaznamenaný hodinkami Apple Watch

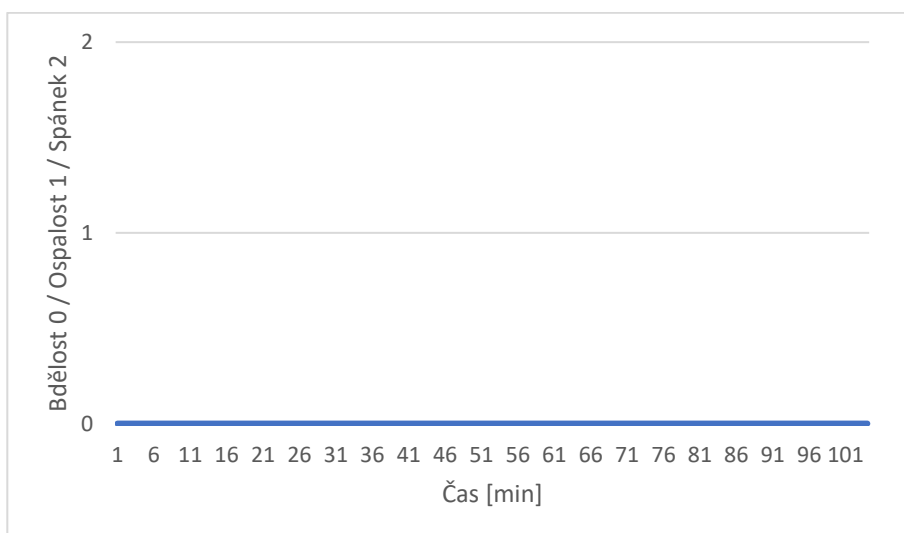
Na grafu č. 35 je také znázorněna aktivita. V tomto případě jsou data aktivity a tepové frekvence relativně podobné, což ukazuje, že ovládání letounu při určitých fázích letu má určitý vliv na srdeční frekvenci. Maximální hodnota aktivity v tomto případě odpovídá aktivní manipulaci s ovládacími prvky letounu při přistání a současně reakci pilota na aktuální letové podmínky nebo manévry. Vysoké špičky na začátku a v závěrečných fázích letu mohou poukazovat na zvýšenou nervozitu a stres. Tyto momenty jsou pravděpodobně spojené s nástupem na let a s komplikovanějšími manévry při přistání. Vzhledem k proměnlivému, ale relativně vysokému průběhu tepové frekvence je možné vyloučit, že by došlo k usnutí během letu.

Výsledky detekce ospalosti/spánku poskytnutých firmou Honeywell International s.r.o. jsou uvedeny v grafu č. 36 pro hodinky a č. 37 pro kameru. V obou grafech hodnota 0 odpovídá bdělosti a účasti na řízení letounu. Hodnota 1 odpovídá ospalosti a hodnota 2 spánku.

Z obou grafů je patrné, že nedošlo k žádné detekci ospalosti nebo spánku během letu. To je v souladu s výše popsanou analýzou tepové frekvence a aktivity pilota. Během letu byl pilot vystaven řadě situací, které nepřispívají pro výskyt ospalosti nebo spánku. To je přisuzováno povaze letu a relativně krátké době trvání letu, během kterého byl pilot plně zaměstnán manuálním řízením letadla bez využití autopilota.



Graf č. 36 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z hodinek Apple Watch



Graf č. 37 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z kamery

8.7. Pilot č. 6

Šestým pilotem, který se zúčastnil experimentu, je 23letý pilot-žák ve výcviku pro získání licence PPL/A. Pilot má celkem nalétáno 23 letových hodin. Více informací o pilotovi č. 6 je uvedeno v tabulce 8.

Věk	23
Typ licence	Ve výcviku
Celkový nálet	23 h
Nálet za posledních 90 dní	6 h 43 min
Typové kvalifikace / letouny na kterých probíhá výcvik	C172
Brýle	NE

Tab. 8 Informace o pilotovi č. 6

Pilot v dotaznících uvedl, že nepocítuje žádné zdravotní problémy ani netrpí žádnými poruchami pozornosti nebo soustředění. Dále pilot uvedl, že nepoužívá žádné korekce zraku jako jsou brýle nebo kontaktní čočky, ani netrpí žádnými očními vadami.

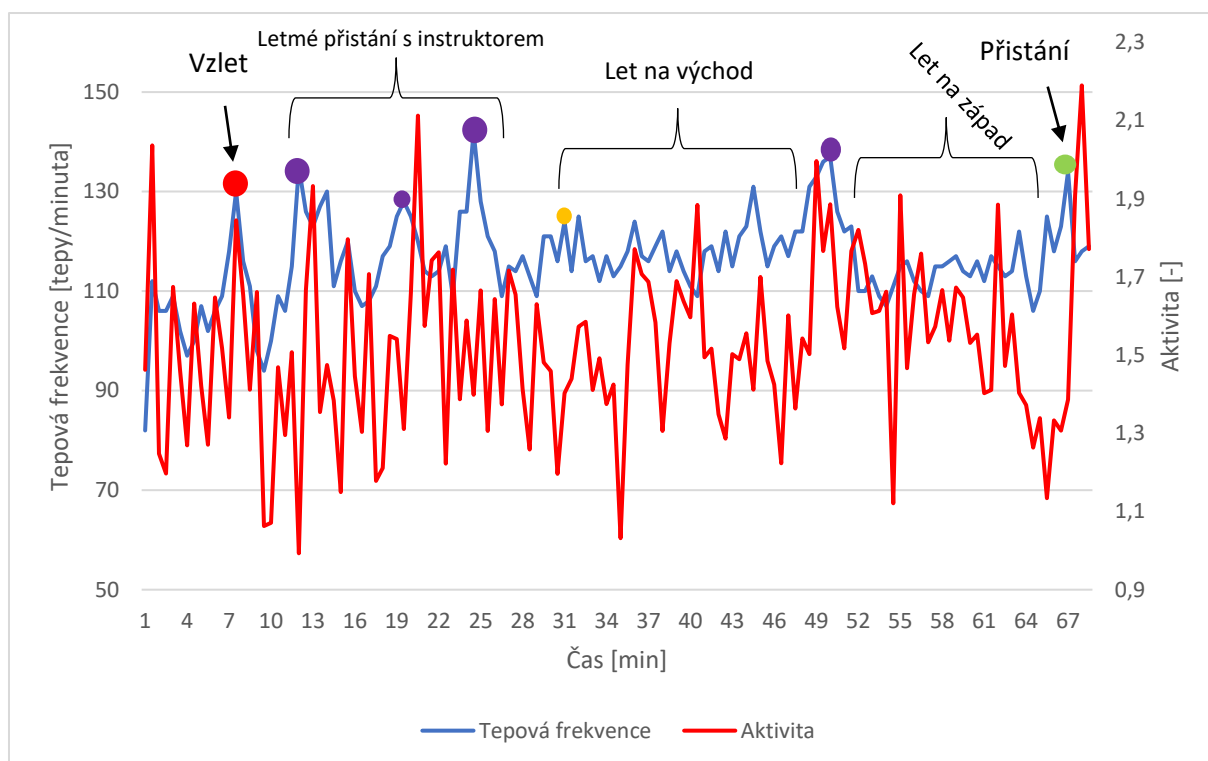
8.7.1. První let pilota č. 6

První let proběhl dne 5.4.2024 na letounu C172. Pilot v rámci výcviku nacvičoval opuštění a vstup do ATZ. V čase odletu bylo počasí s pokrytím oblačnosti 4/8. Pilot v dotazníku uvedl, že během letu nedošlo k žádné nestandardní nebo stresové situaci. Pilot také uvedl, že během letu nedošlo k výskytu turbulencí.

V grafu č. 38 je zobrazen průběh tepové frekvence (modrá křivka) a aktivity (červená křivka) pilota, zaznamenané hodinkami Apple Watch, během celého letu, od vzletu letounu po přistání. Významné okamžiky jsou v grafu č. 38 označeny barevným bodem a odpovídají následujícím situacím:

- Červený bod je označuje začátek vzletu. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 130 tepů za minutu a je doprovázena zvýšenou aktivitou. To může souviset s adrenalinovou odezvou na stres z toho, že letadlo opouští zem a stoupá do vzduchu.
- První 3 fialové body v grafu reprezentují 3 letmá přistání s instruktorem na palubě a následující fialový bod reprezentuje přistání bez instruktora na palubě.
- Oranžový bod v grafu znázorňuje první vzlet bez instruktora na palubě.
- Zelený bod označuje průběh přistání, kde je patrný nárůst tepové frekvence. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 134 tepů za minutu. Situace opět odráží zvýšené napětí během této kritické fáze letu. Je to běžná reakce, protože přistání je často vnímáno jako jedna z nejnáročnějších částí letu.

Tepová frekvence v průběhu letu kolísá mezi 94 a 142 tepy za minutu. V první části letu provedl pilot-žák 3 letmá přistání s instruktorem na palubě. U vzletu byla dosažena tepová frekvence 130 tepů za minutu, což naznačuje zvýšenou nervozitu z počáteční fáze letu. Pilot poté provede celkově 3 okruhy s letným přistáním, které jsou na grafu znázorněny fialovým bodem. Pro tyto body je také typická zvýšená tepová frekvence spojená s adrenalinem a vyšší pracovní zátěží kladenou na pilota. Oranžový bod v grafu znázorňuje vzlet bez instruktora na palubě. Pilot podle plánu poté pokračuje východním směrem na Velkou Bíteš. Tato fáze je charakteristická snížením tepové frekvence, která naznačuje možnou adaptaci na letové podmínky. Nad Velkou Bíteší pilot provede zatáčku a vrací se zpět na letiště. Pilot po zhruba 20 minutách opět přistává na letišti v Křižanově. Přistání je opět charakterizováno nárůstem tepové frekvence, která dosahuje maxima 137 tepů za minutu. Pilot provede letmé přistání a pokračuje západním směrem do prostoru Ostrova nad Oslavou. Po 17 minutách pilot přistává na dráhu 13 na letišti v Křižanově.

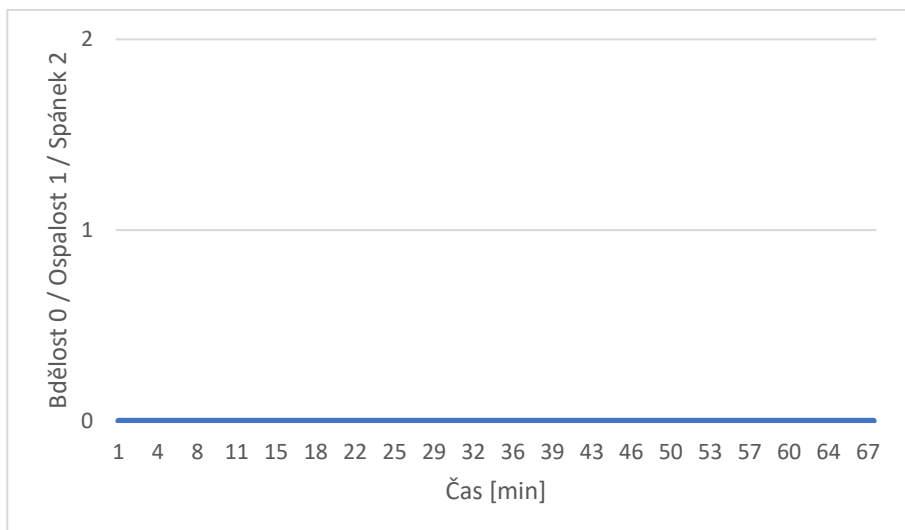


Graf č. 38 Záznam srdečního tepu a aktivity pilota zaznamenaný hodinkami Apple Watch

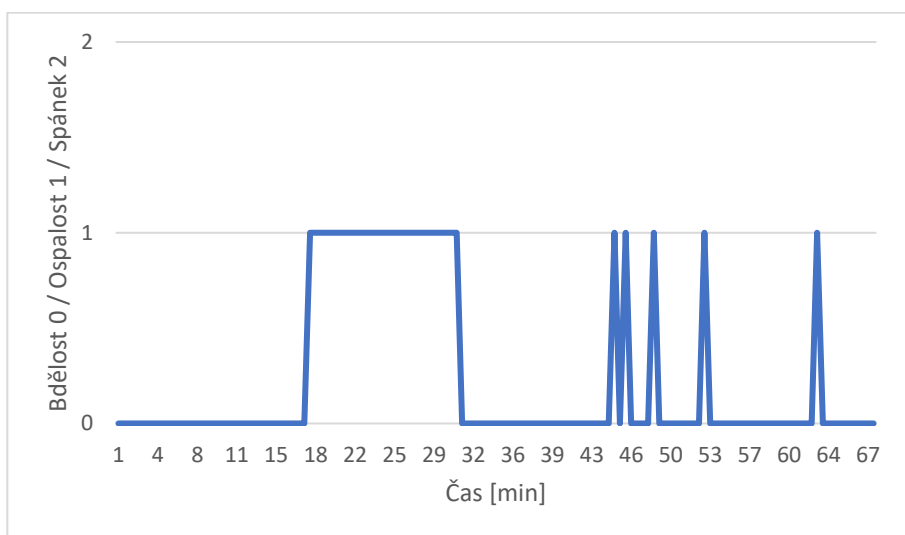
V grafu lze pozorovat vyšší hodnoty aktivity během přistávací fáze, což odpovídá značnému pohybu pilota spojeného s ovládacími prvky letounu při přistání. V grafu nejsou znatelné dlouhodobé snížení tepové frekvence, které by naznačovaly ospalost nebo počínající spánek. Naopak vysoké a proměnlivé hodnoty tepové frekvence během celého letu spíše ukazují na udržování aktivní pozornosti a fyzickou aktivitu spojenou s řízením letounu.

Výsledky detekce ospalosti/spánku poskytnutých firmou Honeywell International s.r.o. jsou uvedeny v grafu č. 39 pro hodinky a č. 40 pro kameru. V obou grafech hodnota 0 odpovídá bdělosti a účasti na řízení letounu. Hodnota 1 odpovídá ospalosti a hodnota 2 spánku.

V grafu č. 39 jsou zobrazeny výsledky z hodinek Apple Watch, které nezaznamenaly ospalost ani usnutí. Během celého letu indikují výsledky hodnotu 0, tedy stav bdělosti, což odpovídá aktivnímu zapojení pilota do řízení letounu. V grafu č. 40 jsou pak zobrazeny výsledky z kamery, kde byla indikována ospalost. Tento stav byl však způsoben brýlemi, které měl pilot nasazené při první části letu. V další části letu, přesněji v 46. až 63. minutě letu, jsou indikovány také známky ospalosti, které byly pravděpodobně způsobeny silným slunečním svitem což způsobilo přivírání očí pilota. Systém detekce tuto skutečnost vyhodnotil jako ospalost. Na základě všech skutečností lze konstatovat, že i v tomto případě k indikacím únavy, které by naznačovaly tendenci pilota usínat nebo zcela usnout nedošlo.



Graf č. 39 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z hodinek Apple Watch



Graf č. 40 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z kamery

8.8. Pilot č. 7

Sedmým účastníkem měření je 77letý soukromý pilot letoun s platnou licencí PPL(A), který má nalétáno celkem 1500 letových hodin. Více informací o pilotovi č. 7 je uvedeno v tabulce 9.

Věk	77
Typ licence	PPL(A)
Celkový nálet	1500 h
Nálet za posledních 90 dní	5 h
Typové kvalifikace / letouny na kterých probíhá výcvik	AN-2, Z-126, Z-226, Z-43
Brýle	ANO

Tab. 9 Informace o pilotovi č. 7

Pilot v dotaznících uvedl, že nepociťuje žádné zdravotní problémy ani netrpí žádnými poruchami pozornosti nebo soustředění. Dále pilot uvedl, že ke korekci zraku používá brýle, a to pouze na čtení, nikoliv na pilotování.

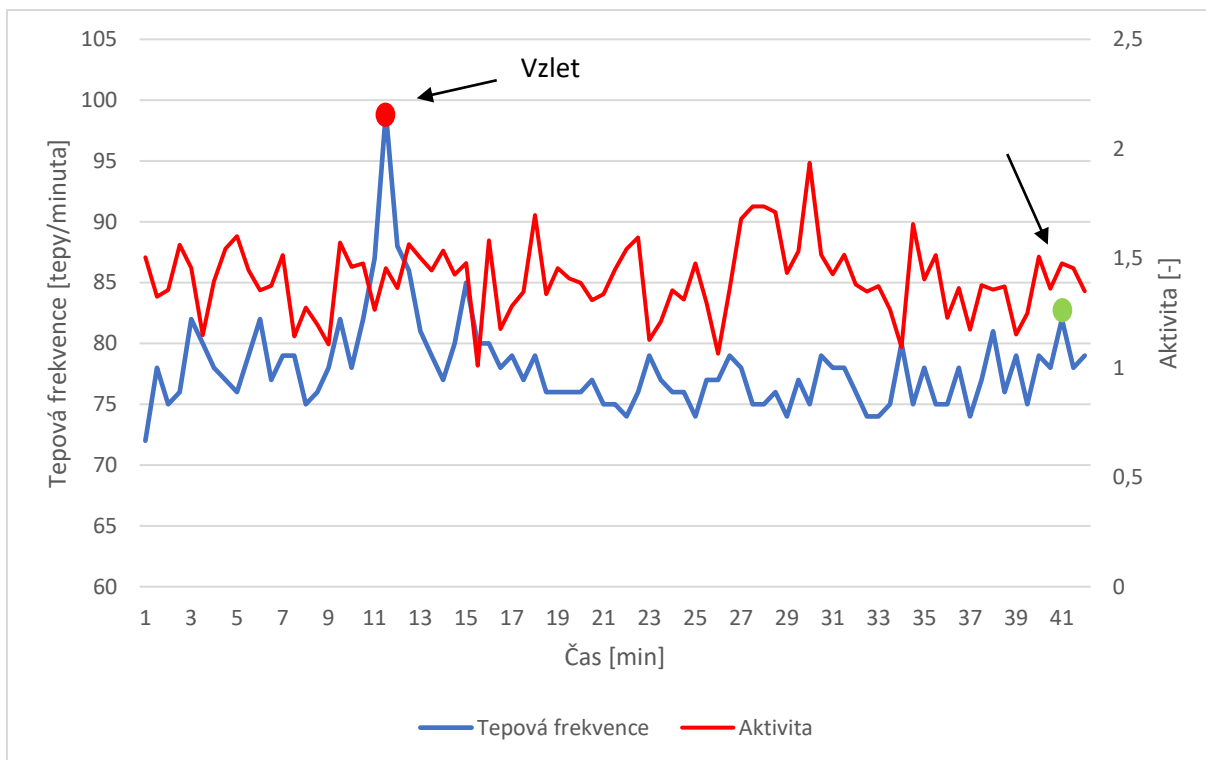
8.8.1. První let pilota č. 7

První let proběhl dne 6. 4. 2024 na letounu Z-43. Jednalo se o kondiční 30minutový let s odletem z letiště Přerov do prostoru Hranice na Moravě, a poté přes Velkou Bystřici zpět do Přerova. V čase odletu bylo polojasno s pokrytím oblačnosti 4/8. Pilot také uvedl, že během letu nedocházelo k výskytu turbulencí.

V grafu č. 41 je zobrazen průběh tepové frekvence (modrá křivka) a aktivity (červená křivka) pilota, zaznamenané hodinkami Apple Watch, během celého letu, od vzletu letounu po přistání. Významné okamžiky jsou v grafu č. 41 označeny barevným bodem a odpovídají následujícím situacím:

- Červený bod označuje začátek vzletu. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 99 tepů za minutu. To může souviset s adrenalinovou odezvou na stres z toho, že letadlo opouští zem a stoupá do vzduchu.
- Zelený bod označuje průběh přistání, kde je patrný nárůst tepové frekvence a lehké navýšení aktivity. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 82 tepů za minutu. Situace opět odráží zvýšené napětí během této kritické fáze letu. Je to běžná reakce, protože přistání je často vnímáno jako jedna z nejnáročnějších částí letu.

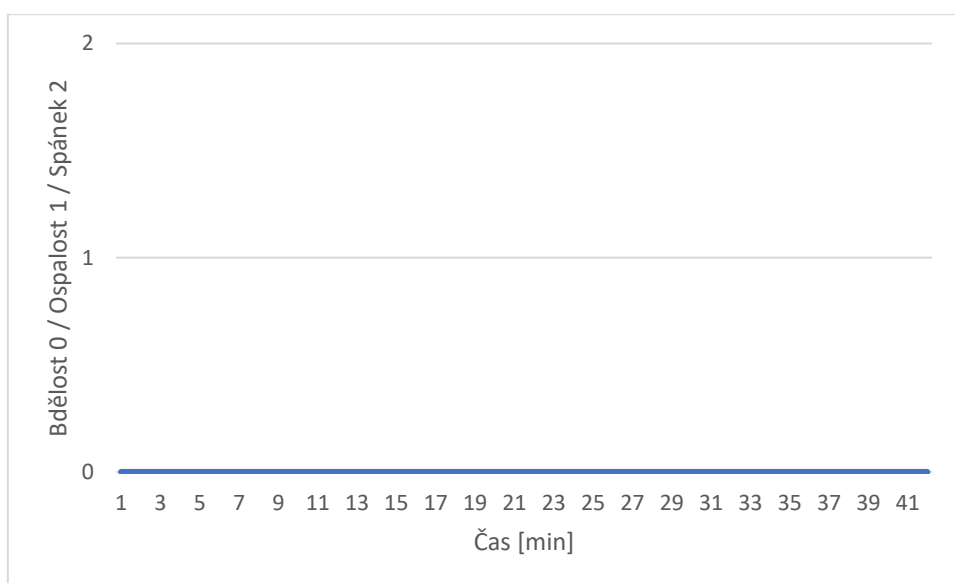
Z grafu lze usoudit, že tepová frekvence se udržovala relativně stabilní, což naznačuje, že pilot byl ve většinu času v klidovém stavu. Hodnoty tepové frekvence se během letu pohybovali mezi 75 a 85 tepy za minutu. Stabilita tepové frekvence během letu může naznačovat značnou zkušenost a dobrou adaptaci na letové prostředí. Z předchozích grafů je patrné, že tepová frekvence mladších pilotů ve výcviku měla tendenci k větší variabilitě, zatímco u starších a zkušenějších pilotů je obvykle nižší a stabilnější. Během vzletu a přistání nejsou patrné žádné výrazné výkyvy v hodnotách aktivity, což naznačuje, že pilot nevykonává žádné prudké nebo rychlé pohyby. Tento klidný průběh můžeme přisuzovat ke zkušenému pilotovi, který provádí vzlet a přistání s velkou přesností. Nízké hodnoty tepové frekvence obvykle mohou být indikátorem ospalosti, avšak v tomto konkrétním případě, kdy se jednalo o krátký let, k usnutí nedošlo.



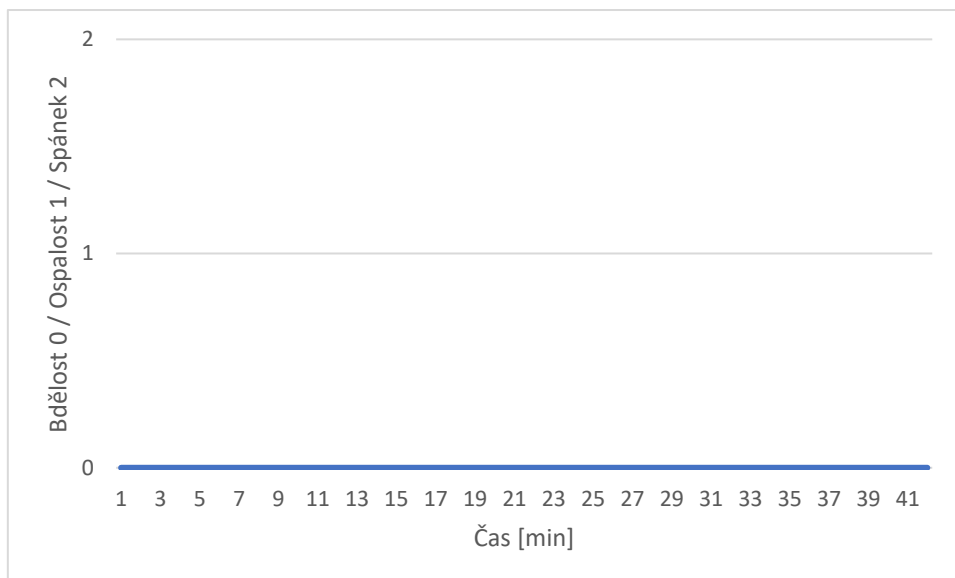
Graf č. 41 Záznam srdečního tepu a aktivity pilota zaznamenaný hodinkami Apple Watch

Výsledky detekce ospalosti/spánku poskytnutých firmou Honeywell International s.r.o. jsou uvedeny v grafu č. 42 pro hodinky a č. 43 pro kameru. V obou grafech hodnota 0 odpovídá bdělosti a účasti na řízení letounu. Hodnota 1 odpovídá ospalosti a hodnota 2 spánku.

Z obou grafů je patrné, že nedošlo k žádné detekci ospalosti nebo spánku během letu. To je v souladu s výše popsanou analýzou tepové frekvence a aktivity pilota. Výsledky jsou přisuzovány také povaze letu a relativně krátké době trvání letu, během kterého byl pilot plně zaměstnán manuálním řízením letadla bez využití autopilota. Proto ani v tomto případě k ospalosti/usnutí nedošlo.



Graf č. 42 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z hodinek Apple Watch



Graf č. 43 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z kamery

8.9. Pilot č. 8

Jako osmý pilot, který se zúčastnil experimentu, je 67letý pilot-instruktor s licencií obchodního pilota CPL(A). Pilot má na svém leteckém kontě 3 480 letových hodin. Více informací o pilotovi č. 8 je uvedeno v tabulce 10.

Věk	67
Typ licence	CPL(A)
Celkový nálet	3 480 h
Nálet za posledních 90 dní	45 h
Typové kvalifikace / letouny na kterých probíhá výcvik	Z43, Z42, Z142, Z143, Z242, C150, C172, L200
Brýle	NE

Tab. 10 Informace o pilotovi č. 8

Pilot v dotaznících uvedl, že nepociťuje žádné zdravotní problémy ani netrpí žádnými poruchami pozornosti nebo soustředění. Dále pilot uvedl, že ke korekci zraku používá brýle, a to pouze na čtení, nikoliv na pilotování.

8.9.1. První let pilota č. 8

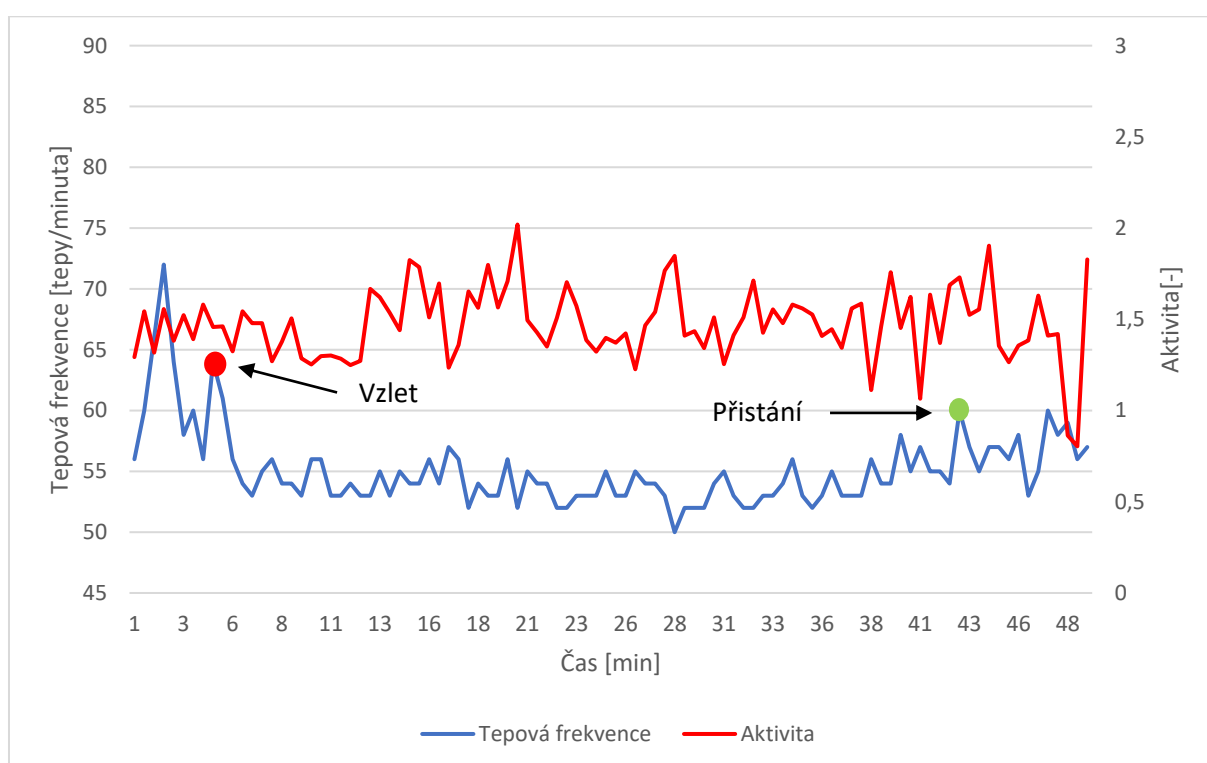
První let proběhl dne 13. 4. 2024 na letounu Z-43. Jednalo se o 38minutový seznamovací let se 4 osobami na palubě. Letoun odstartoval z letiště Přerov v 10.30 LT a následně pokračoval do prostoru Hranice na Moravě, Bystřice pod Hostýnem a zpět do Přerova. V čase odletu bylo skoro jasno s pokrytím oblačnosti 1-2/8. Pilot také uvedl, že během letu nedocházelo k výskytu turbulencí.

V grafu č. 44 je zobrazen průběh tepové frekvence (modrá křivka) a aktivity (červená křivka) pilota, zaznamenané hodinkami Apple Watch, během celého letu, od vzletu letounu po přistání. Významné okamžiky jsou v grafu č. 44 označeny barevným bodem a odpovídají následujícím situacím:

- Červený bod označuje začátek vzletu. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 64 tepů za minutu. Tato hodnota je nejnižší hodnotou zaznamenanou při vzletu ze všech zúčastněných pilotů.

- Zelený bod označuje průběh přistání. V tomto bodě je nepatrný nárůst tepové frekvence oproti ostatním pilotům účastnícím se měření. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 60 tepů za minutu.

Z grafu č. 44 lze vidět nárůst tepové frekvence pilota v části vzletu, kdy hodnota stoupla na 70 tepů za minutu. Tato hodnota souvisí s přiměřenou mírou stresu před vzletem. Vzhledem ke zkušenostem pilota můžeme předpokládat, že tato reakce není zapříčiněna nedostatkem zkušeností, ale spíše běžnou fyziologickou reakcí na zátěžovou situaci. Po vzletu srdeční frekvence klesla a stabilizovala se mezi 50 a 60 tepy za minutu, což naznačuje, že pilot je relativně uvolněný a v klidovém stavu. Vzhledem k tomu, že během letu si tento pilot udržel nízkou tepovou frekvenci ve srovnání s ostatními piloty v tomto měření, je zřejmé, že je zkušený a dobře adaptovaný na letové podmínky. Jeho schopnost udržet klid a efektivně zvládat běžný letový stres svědčí o jeho zkušenostech a profesionálním přístupu k pilotování ve srovnání s ostatními účastníky, u kterých byla tepová frekvence o dost vyšší. Těsně před přistáním došlo k mírnému zvýšení tepové frekvence, což je znovu předpokládaná reakce na zvýšenou zátěž během této fáze letu.



Graf č. 44 Záznam srdečního tepu zaznamenaný hodinkami Apple Watch

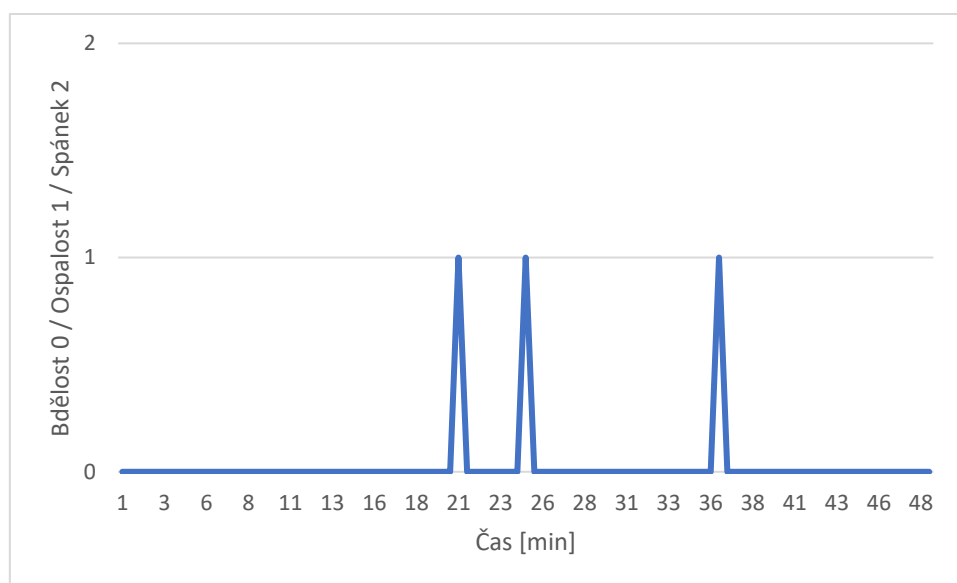
V grafu je také znázorněn průběh aktivity pilota během letu. Porovnáním obou křivek můžeme analyzovat, jak se pohyb ruky pilota odráží ve změnách srdeční frekvence a co to může naznačovat o pilotově aktivitě během letu. Z grafu je patrné, že vzlet je znázorněn přiměřenou variabilitou obou křivek, což indikuje standardní aktivitu a pracovní zátěž. Přistání je obdobné, ale méně výrazné v srdeční frekvenci. Výkyvy v červené křivce během letu mohou odpovídat momentům, kdy pilot musel aktivně manipulovat s ovládacími prvky letounu nebo kdy došlo k mírné turbulenci.

Vzhledem k délce letu, zkušenostem pilota a stabilním hodnotám tepové frekvence a aktivity je malá pravděpodobnost, že by pilot pocítoval ospalost nebo že by usnul. Tento závěr je podpořen i pilotovou odpovědí v dotazníku kde uvedl, že se po dnešním spánku se cítí

odpočatý a je dobře připravený na let. Tyto informace společně posilují názor, že pilot byl během celého letu ve výborné psychické i fyzické kondici.

Výsledky detekce ospalosti/spánku z hodinek poskytnutých firmou Honeywell International s.r.o. jsou uvedeny v grafu č. 45. V grafu hodnota 0 odpovídá bdělosti a účasti na řízení letounu. Hodnota 1 odpovídá ospalosti a hodnota 2 spánku. V tomto letu jsou k dispozici pouze výsledky ospalosti/spánku z hodinek. Výsledky z kamery zde nejsou uvedeny, a to z důvodu používání slunečních brýlí u pilota po celou dobu letu.

Výsledky z hodinek zaznamenaly ospalost v 21, 25 a 36. minutě. Tato indikace ospalosti je zapříčiněná příliš nízkou tepovou frekvencí pilota. Tyto hodnoty tepové frekvence jsou přisuzovány zkušenostem pilota. Proto je nepravděpodobné, že by se u pilota mohla ospalost a spánek vyskytnout. V tomto případě je detekce ospalosti indikována v rámci časového intervalu 30 sekund. Tento časový úsek byl zvolen tak, aby bylo možné určit první možné znaky ospalosti. V situace. Kdy by došlo k aktivaci upozornění pilota z důvodu detekované ospalosti, je však výhodnější prodloužit délku detekčního okna na více než 30 sekund. Toto opatření má za cíl minimalizovat riziko falešných poplachů, což zvyšuje spolehlivost a přesnost celého systému. Závěrem lze konstatovat, že i v tomto případě k ospalosti nedošlo.



Graf č. 45 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z hodinek Apple Watch

8.10. Pilot č. 9

Poslední pilot, který se zúčastnil měření, je 20letý pilot s platnou licenci PPL/A. Pilot má na svém leteckém kontě 130 letových hodin. Více informací o pilotovi č. 9 je uvedeno v tabulce 11.

Věk	26
Typ licence	PPL(A), ULL(A)
Celkový nálet	130 h
Nálet za posledních 90 dní	6 h
Typové kvalifikace / letouny na kterých probíhá výcvik	C150, C172
Brýle	NE

Tab. 11 Informace o pilotovi č. 9

8.10.1. První let pilota č. 9

Let se uskutečnil 27. 4. 2024 a byl proveden na ultralehkém letounu Bristell NG-5 s poznávací značkou OK-VAR 19. Letoun odstartoval z letiště Hranice v 11.05 LT z dráhy 23 a pokračoval jižním směrem na Lipník nad Bečvou, Bystřici pod Hostýnem, Kroměříž, Kojetín, Přerov a zpět do Hranic. Povětrnostní podmínky byly téměř ideální, s jasnou oblohou a teplotou kolem 20 stupňů. Ovšem bylo větrno, s výraznými turbulencemi zejména během startu a přistání.

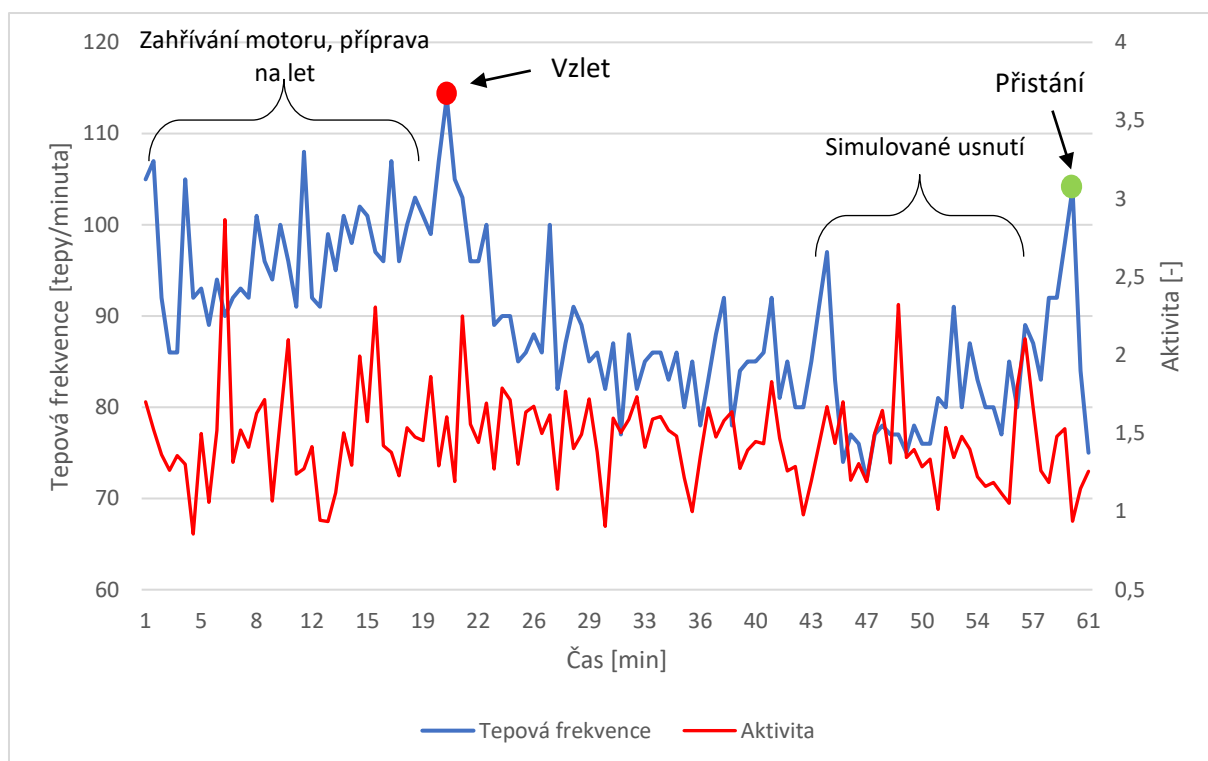
Během stoupání a přistání měl pilot nasazené sluneční brýle, což omezovalo snímání obličeje pilota. Avšak s ohledem na bezpečnost a komfort je to pochopitelné. Pilot si brýle odložil v cestovní hladině, kde nebyla vysoká pracovní zátěž. V této fázi letu měl dostatek času a pozornosti k tomu, aby mohl bezpečně provést simulaci spánku ausnutí. V cestovní hladině byl letoun stabilní s občasným výskytem turbulencí, ale pod kontrolou druhého pilota, který umožnil velcímu pilotovi zaměřit se na simulaci spánku, aby nebyla ohrožena bezpečnost.

Po dokončení simulace se pilot vrátil zpět na letiště Hranice. Pilot se zařadil do druhé okružové zatáčky pravého okruhu dráhy 23 a pokračoval v okružové výšce. Samotné přiblížení bylo velmi turbulentní s náhlými stříhy větru.

V grafu č. 46 je zobrazen průběh tepové frekvence (modrá křivka) a aktivity (červená křivka) pilota, zaznamenané hodinkami Apple Watch, během celého letu, od vzletu letounu po přistání. Významné okamžiky jsou v grafu č. 46 označeny barevným bodem a odpovídají následujícím situacím:

- Červený bod označuje začátek vzletu. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 114 tepů za minutu. To může souviset s adrenalinovou odezvou na stres z toho, že letadlo opouští zem a stoupá do vzduchu.
- Zelený bod označuje průběh přistání, kde je patrný nárůst tepové frekvence a lehké navýšení aktivit. Tepová frekvence dosahuje hodnoty 104 tepů za minutu. Situace opět odráží zvýšené napětí během této kritické fáze letu. Je to běžná reakce, protože přistání je často vnímáno jako jedna z nejnáročnějších částí letu.

Jak je patrné z grafu č. 46, hodnoty srdečního tepu jsou vyšší než u vzletu, což poukazuje na velkou zátěž a vyšší úroveň stresu u pilota způsobené náročnou povětrnostní situací. Tepová frekvence pilota u vzletu dosáhla maximální hodnoty 114 tepů za minutu, zatímco u přistání dosáhla hodnoty 117 tepů za minutu. Pilot však bez větších problémů v 11.50 LT bezpečně přistál. Záznam srdečního tepu začal 20 minut před plánovaným odletem. Během této doby docházelo k zahřívání motoru, zopakování celého průběhu letu, aby se posádka ujistila, že jsou připraveni na všechny fáze letu. Navíc probíhaly i další přípravy potřebných systémů, což zahrnovalo kontrolu navigačních systémů, komunikačního vybavení a dalších klíčových komponent. Tyto kroky byly zásadní pro bezpečný a úspěšný průběh letu a úspěšné provedení simulace.



Graf č. 46 Záznam srdečního tepu zaznamenaný hodinkami Apple Watch

8.10.1.1. Průběh simulace

Zhruba po 25 minutách letu, pilot začal vykazovat pomalé pohyby hlavy a často mrkal a přivíral oči. Tato fáze simulované únavy postupně přešla do zavírání očí, které bylo následováno krátkým usnutím po dobu 2 minut. Poté došlo k rychlému probuzení. Tato simulace byla provedena dvakrát po sobě.

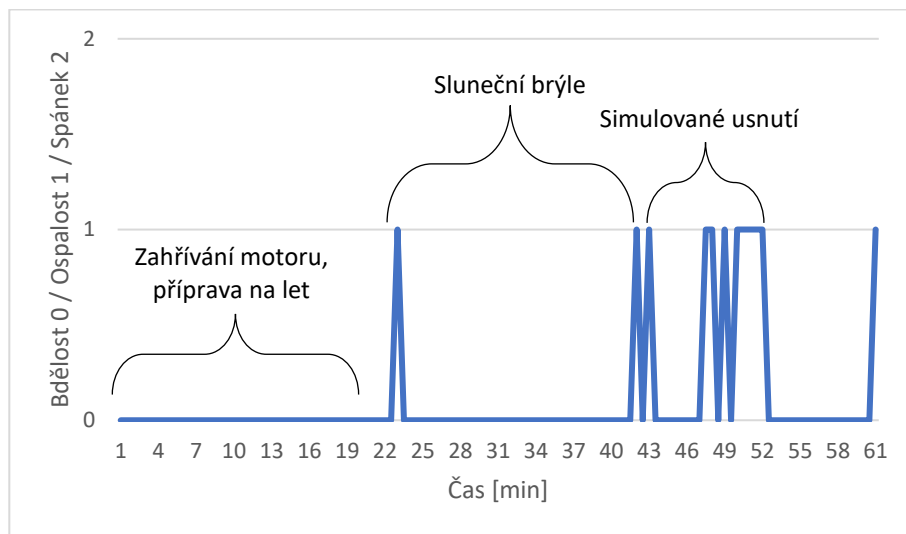
Pomalé pohyby hlavy a časté mrkání jsou prvním příznakem únavy, které signalizují, že pilot je ve stavu snížené bdělosti. Tato fáze je důležitá pro zaznamenání, protože může detekovat počáteční stadia ospalosti. Když pilot přešel do fáze zavírání očí a následného usnutí, simuloval stav, který je mnohem nebezpečnější a který by v reálném situaci mohl vést k vážným následkům.

Je však důležité poznamenat, že se jednalo pouze o simulaci a tepová frekvence, která byla měřena chytrými hodinkami, neodpovídaly skutečné tepové frekvenci ve spánku. Během simulace byl pilot ve stavu bdělosti, protože si byl vědom probíhajícího testu. V reálné situaci by jeho tepová frekvence byla pravděpodobně nižší.

V grafu č. 46 je také zobrazena také aktivita, avšak s menší amplitudou, oproti amplitudě tepové frekvence. Vysoká hodnota na začátku grafu může signalizovat pohyby spojené s přípravou letadla na let. Poté dojde k poklesu a udržování relativně stálých hodnot aktivity. Menší odchylky, které jsou patrné v období simulovaného usnutí, mohou být způsobeny vnějšími faktory, jako jsou turbulence a samotný pohyb letounu.

Podle výsledků poskytnutých firmou Honeywell International s.r.o. došlo k usnutí po 24 minutách letu. V grafu č. 47 jsou zobrazeny výsledky z kamery. Z grafu je patrná indikace ospalosti od 47. do 52. minuty. Výsledky z kamery indikují ospalost již v 23. minutě a následně ve 41 až 43. minutě. V tomto případě však pilot není ospalý, ale má nasazené sluneční/neprůhledné brýle. Systém tuto skutečnost vyhodnotil jako stav ospalosti. Opravdové známky ospalosti jsou od 46 minuty, kdy si pilot v tomto čase odložil sluneční brýle a začal se simulací usnutí. Protože došlo k simulaci spánku, při které fyziologicky nedošlo k poklesu

tepové frekvence, nedává detekce ospalosti a spánku pomocí hodinek smysl. Z tohoto důvodu zde není uveden graf.



Graf č. 47 Výsledek ospalosti / spánku u pilota z kamery

9. Závěr

Samotný sběr dat probíhal přesně v období od 22. 2. 2024 do 13. 4. 2024. Během tohoto časového rozpětí se uskutečnilo celkem 16 letů, přičemž se do měření zapojilo 9 pilotů. Někteří z nich provedli více než jeden let. Měření a samotné provedení letů bylo ovlivněno řadou faktorů, a to například povětrnostními podmínkami, časovými možnostmi pilotů nebo technickým stavem letadel. Měření probíhalo celkem na 3 typech letounu, a to konkrétně na Z43, C172 a Bristell NG5.

V rámci samotného měření se podařilo získat reálná data o chování pilotů přímo z letového prostředí. Ve všech letech se nám podařilo získat hodnoty z chytrých hodinek a kamery. Výsledky detekce ospalosti a spánku z kamery u pilota č. 8 nebyly zařazeny do analýzy, protože pilot měl během letu nasazené sluneční brýle. Přítomnost těchto brýlí znemožnila systému založeném na kameře bez přídavného osvětlení spolehlivě vyhodnotit případné příznaky ospalosti a spánku.

Umístění kamery bylo zvoleno na přední čelní sklo pomocí přísavky. Důraz byl kladen zejména na umístění a způsob uchycení kamery tak, aby nedošlo k samovolnému uvolnění nebo rušení navigačních a jiných zařízení, jako je například magnetický kompas. Při výběru umístění kamery bylo zohledněno, aby nedocházelo k omezení zorného pole pilota. Kamera byla umístěna a nastavena tak, aby pilot mohl bez obtíží manipulovat se všemi ovládacími prvky a současně zůstal v pohodlné pozici pro řízení letounu.

V rámci měření jsme se setkali s tím, že při sběru dat nedošlo k žádným výrazným projevům ospalosti nebo usnutí. Abychom mohli ověřit funkčnost a efektivitu systému pro detekci ospalosti/spánku v reálných podmínkách, byla provedena simulace usnutí. Během této simulace byly úspěšně identifikovány a zaznamenány znaky ospalosti a spánku. Systém dokázal začínající ospalost/spánek detekovat, což je zásadní pro zvýšení bezpečnosti letů. Výsledky simulace potvrdily spolehlivost a užitečnost použitých technologií, což poskytuje základ pro budoucí rozvoj a začlenění těchto senzorů na paluby letadel.

V rámci vyhodnocení dat byly použity dva nezávislé systémy pro detekci ospalosti/spánku vyvinuté firmou Honeywell International s.r.o. Tyto systémy využívají data získaná z chytrých hodinek a kamery. K vyhodnocení stavu pilotů byly pro lepší zobrazení výsledků použity 3 grafy. V prvním grafu byla zobrazena tepová frekvence společně s aktivitou pilota. Ve druhém grafu byly prezentovány výsledky ospalosti/spánku získané z chytrých hodinek. Třetí graf obsahuje výsledky stavu ospalosti/spánku získané z videozáznamu. Během většiny letů nebyly zaznamenány žádné indikace ospalosti nebo spánku, což naznačuje vysokou úroveň aktivity pilotů během letu na těchto typech letounů. Při některých letech však systém založený na kamerovém záznamu identifikoval velmi krátké znaky ospalosti/spánku. Po důkladnějším prozkoumání těchto případů ospalosti/spánku bylo zjištěno, že detekovaná ospalost byla vyvolána přítomností slunečních brýlí u pilota nebo jeho delším směrem pohledu, který v určitých časech byl mimo zorné pole kamery a působil dojmem zavřených očí. V těchto situacích sice systém vyhodnotil potenciální riziko ospalosti, ale detekované úseky nebyly nijak dlouhé. Vzhledem k absenci reálných indikací ospalosti byla v posledním letu provedena již zmíněná simulace usnutí.

Ve fázi vyhodnocení dotazníků jsme se zaměřili na sběr základních informací o účastnících měření, tedy pilotech. Získaná data ukázala, že může existovat rozdíl v tepové frekvenci v závislosti na věku a zkušenostech pilotů. V rámci analýzy grafů tepové frekvence a aktivity u

mladších pilotů a pilotů ve výcviku, bylo možné pozorovat, že tato skupina pilotů vykazovala vyšší tepovou frekvenci ve srovnání se dvěma staršími a zkušenějšími piloty zahrnutými v tomto měření.

Akceptace technologie piloty je důležitým faktorem pro úspěšné zavedení technologie do reálného provozu. Odpovědi pilotů v dotazníku na tuto technologii byly jednoznačně pozitivní. Všichni účastníci měření vyjádřili souhlas s využíváním těchto senzorů pro monitoring během letu, a to hlavně z hlediska bezpečnosti. Piloti souhlasili, že získaná data z hodinek a kamery mohou poskytnout důležité informace a poskytnout včasné varování při případné počínající ospalosti/spánku. Piloti preferují zvukový signál a vibrace v případě detekce ospalosti/spánku. Tento způsob lze považovat za efektivní, protože piloty může rychle upozornit, aniž by to vyžadovalo vizuální indikaci na palubní desce. Takové upozornění by mělo být jasně odlišitelné od ostatních varovných signálů letadla, aby pilot ihned rozpoznal riziko nastupující ospalosti a plně si uvědomil situaci.

10. Seznam použitých zkratek

Zkratka	Anglický název	Český název
AGL	About ground level	Nad úrovní země
AN2	Antonov	Antonov
ATO	Approved Training Organization	Schválená Organizace pro výcvik
ATPL	Airline Transport Pilot Licence	Licence Dopravního Pilotů Letounů
ATZ	Air Traffic Zone	Letištní Provozní Zóna
C	Cessna	Cessna
cm	Centimeter	Centimetr
CPL(A)	Commercial Pilot Licence	Licence Obchodního Pilotů Letounů
CS-FTL	Certification Specifications for Flight Time Limitations	Certifikační Specifikace pro Omezení Doby Letu
CTR	Control Zone	Řízená Oblast
č.		číslo
EASA	European Union Aviation Safety Agency	Evropská agentura pro bezpečnost letectví
AI	Artificial Intelligence	Umělá inteligence
EEG	Electroencephalography	Elektroencefalogram
EKG	Electrocardiogram	Elektrokardiogram
EMG	Electromyography	Elektromyografie
EOG	Electrooculography	Elektrookulografie
FDP	Flight Duty Period	Období Letové Služby
FIR	Flight Information Region	Letová Informační Oblast
FL	Flight Level	Letová Hladina
ft	feet	stopa
g	g-force	Gravitační síla
GPS	Global Positioning System	Globální Polohový Systém
h	hour	hodina
IFR	Instrument Flight Rules	Pravidla pro let podle přístrojů
IR	Instrument Rating	Přístrojová Kvalifikace
K	Kilo	Tisíc
kg	kilogram	kilogram
km	kilometer	kilometr
Km/h	Kilometer per hour	Kilometr za hodinu
KSA	Knowledge, Skills and Attitudes	Znalosti, Dovednosti a Postoje
KSS	Karolinska Sleepiness Scale	Karolínská Škála Spavosti
Kt	knot	uzel
l	liter	litr
L200	L 200	Letoun L200
LCD	Liquid Crystal Display	Display s tekutými

		krystaly
LED	Light Emitting Diode	Světelná Dioda
LT	Local Time	Místní Čas
m	meter	metr
MHz	Megahertz	Megahertz
mm	milimeter	milimetr
m^2	square meter	metr čtvereční
ms	millisecond	milisekunda
NIR	Near - Infrared	Blízké infračervené
nm	nanometer	nanometr
NREM	Non-Rapid Eye Movement	Bez rychlých pohybů očí
PART-MED	Requirements for Medical Certification	Požadavky na lékařskou certifikaci
PBN	Performance – Based Navigation	Navigace založená na výkonnosti
PPG	Photoplethysmogram	Fotopletysmografie
PPL/A	Private Pilot Licence	Licence Soukromého Piloty Letounů
REM	Rapid Eye Movement sleep	Spánek s rychlými pohyby očí
RGB	Red, Green, Blue	Červená, zelená, Modrá
RVSM	Reduced Vertical Separation Minimum	Zmenšování vertikálních rozestupů mezi letadly
Sb.		sbírka
SD	Secure Digital	Digitální zabezpečení
SpO2	Peripheral Capillary Oxygen Saturation	Periferní kapilární saturace kyslíkem
°	degree	stupeň
TMA	Terminal Control Area	Koncová Řízená Oblast
Tzv.		takzvaný
ULL(A)	Ultra-Light Aircraft license	Licence pro ultralehká letadla
VFR	Visual Flight Rules	Pravidla pro let za viditelnosti
Z	Zlin	Zlín

11. Seznam použité literatury

- [1] ŠULC, Jiří. Lidská výkonnost (040 00): učebnice pro teoretickou přípravu pilotů ATPL, CPL a IR. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-688-1.
- [2] *AMC & GM to Part-MED: Medical requirements for class 1 medical certificates*. In: . 2019. Dostupné také z: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/acceptable-means-of-compliance-and-guidance-materials/amc-gm-part-med-issue-2>
- [3] *Trénink pilota na leteckém simulátoru* [online]. 2020, 27.12.2020 [cit. 2023-03-15]. Dostupné z: <https://doluftvyhledky.cz/2020/12/27/trenink-pilota-na-leteckem-simulatoru/>
- [4] *Lítej jako profík: CATC simulátory*. Online. In: Letiště Praha. Dostupné z: <https://www.prg.aero/litej-jako-profik>. [cit. 2023-11-23].
- [5] *Diabetická retinopatie* [online]. 2017 [cit. 2023-03-23]. Dostupné z: <https://www.cukrovka.cz/diabeticka-retinopatie-poskozeni-sitnice>
- [6] Vyhláška MD č. 466/2006 Sb., ze dne 26. září 2006 o bezpečnostní letové normě. In: *Vyhláška MD č. 466/2006 Sb.* Praha, 2006. Dostupné také z: https://www.mikrat.cz/files/VHL_466-2006.pdf.
- [7] EASA. CS-FTL.1 Commercial Air Transport by Aeroplane - Scheduled and Charter Operations. In: . 2014, s. 6-15. Dostupné také z: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/certification-specifications/cs-ftl1-initial-issue>.
- [8] European Cockpit Association: European Flight Time Limitations. In: . Brussels, 2007, s. 3-4. Dostupné také z: https://www.eurocockpit.eu/sites/default/files/SubpartQ_Reference_Guide_07_0822_F.pdf.
- [9] ČESKÁ REPUBLIKA. SCHVÁLENÉ ORGANIZACE PRO VÝCVIK PILOTŮ (ATO): CAA-ZLP-141. In: . Praha, 2023, s. 36-40. Dostupné také z: <https://www.caa.cz/wp-content/uploads/2023/01/CAA-ZLP-141-Schvalene-organizace-pro-vycvik-pilotu-ATO.pdf?cb=1068ceefeb2b56cd955a43950d56eec3>.
- [10] AMC and GM to Part-FCL - Amendment 4: SUBJECT AREA 100 — KNOWLEDGE, SKILLS AND ATTITUDES (KSA). In: *Appendix to Annex I to ED Decision 2018/001/R*. 2018, s. 676-681. Dostupné také z: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/acceptable-means-of-compliance-and-guidance-materials/amc-gm-part-fcl-amendment-4>.
- [11] *Dangers of Automation in the Airline Industry*. Online. 2019. Dostupné z: <https://www.slackdavis.com/blog/automation-in-aviation/>. [cit. 2023-11-28].
- [12] *The Hidden Risks of Automation*. Online. SHIEFF, Chris. 2021. Dostupné z: <https://ops.group/blog/the-hidden-risks-of-automation/>. [cit. 2023-11-28].

- [13] *Cockpit camera system monitors pilots' eye-gaze and tracks hand-gestures.* Online. Cordis. 2018. Dostupné z: <https://cordis.europa.eu/article/id/435890-cockpit-camera-system-monitors-pilots-eye-gaze-and-tracks-hand-gestures>. [cit. 2023-11-29].
- [14] Spánek a vybrané poruchy spánku a bdění. Online. 2009, s. 17-18. Dostupné z: https://www.solen.cz/artkey/lek-200901-0004_Spanek_a_vybrane_poruchy_spanku_a_bdeni.php. [cit. 2023-10-16].
- [15] *4 fáze spánku.* Online. ISpánek. 2023. Dostupné z: <https://ispanek.cz/faze-spanku/>. [cit. 2023-11-01].
- [16] *Electroencephalography.* Online. Wikipedia. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Electroencephalography#Biological_artifacts. [cit. 2024-02-05].
- [17] *Co je to EEG?* Online. Neurologie Okáčová. Dostupné z: <https://www.neurologie-okacova.cz/co-je-to-ee.html>. [cit. 2023-10-19].
- [18] *K-complex.* Online. Wikipedia. 2023. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/K-complex>. [cit. 2024-02-05].
- [19] Pilot Medical Monitoring: State of the Science Review on Identification of Pilot Incapacitation. Online. 2022, s. 4-7. Dostupné z: https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/media/Pilot_Medical_Monitoring_State_Science_Review_on_Identification_of_Pilot_Incapacitation.pdf. [cit. 2023-10-22].
- [20] Únava a možnosti jejího ovlivnění u pacientů s roztroušenou sklerózou mozkomíšní. Online. 2009, s. 37-38. Dostupné z: https://www.neurologiepropraxi.cz/artkey/neu-201691-0007_Unava_a_moznosti_jejeho_ovlivneni_u_pacientu_s_roztrousenou_sklerozou_mozkomisni.php?back=%2Fsearch.php%3Fquery%3D%25FAnava%2Bin%253Aauth%2Bname%2Bkey%2Babstr%26sfrom%3D0%26spage%3D30. [cit. 2023-10-16].
- [21] *Únava.* Online. Botanic.cz. 2023. Dostupné z: <https://botanic.cz/slovník-pojmu/unava>. [cit. 2024-01-31].
- [22] , Myung Yung Jeong. Drowsiness, Fatigue and Poor Sleep's Causes and Detection: A Comprehensive Study. Online. In: . 2019. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8891698>. [cit. 2023-10-30].
- [23] *Medical incapacity.* Online. 2023. Dostupné z: <https://www.lawinsider.com/dictionary/medical-incapacity>. [cit. 2023-10-19].
- [24] Pilot Medical Monitoring: State of the Science Review on Identification of Pilot Incapacitation. Online. 2022, s. 3-1. Dostupné z: https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/media/Pilot_Medical_Monitoring_State_Science_Review_on_Identification_of_Pilot_Incapacitation.pdf. [cit. 2023-10-22].

- [25] *EKG*. Online. Angio Chirurgie. 2022. Dostupné z: <https://www.angiochirurgie.cz/vysetreni/vysetreni-ekg/>. [cit. 2023-10-25].
- [26] Pilot Medical Monitoring: State of the Science Review on Identification of Pilot Incapacitation. Online. 2022, s. 4-1. Dostupné z: https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/media/Pilot_Medical_Monitoring_State_Science_Review_on_Identification_of_Pilot_Incapacitation.pdf. [cit. 2023-10-22].
- [27] Pilot Medical Monitoring: State of the Science Review on Identification of Pilot Incapacitation. Online. 2022, s. 4-3. Dostupné z: https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/media/Pilot_Medical_Monitoring_State_Science_Review_on_Identification_of_Pilot_Incapacitation.pdf. [cit. 2023-10-22].
- [28] *Lidská výkonnost a omezení: Hypoxie I*. Online. Air Guru. Dostupné z: <https://www.airguru.cz/clanky/hypoxie-i>. [cit. 2023-11-23].
- [29] *Pulzní oxymetr*. Online. Letecký lékař. 2023. Dostupné z: <https://www.leteckylekar.cz/kapitoly-z-letecke-mediciny/72-pulzni-oxymetr.html>. [cit. 2023-10-12].
- [30] *Asystolie*. Online. Studuj medicínu. 2023. Dostupné z: <https://studujimedicinu.com/interna/asystolie/>. [cit. 2023-11-05].
- [31] *Food Poisoning*. Online. Skybrary. 2023. Dostupné z: <https://skybrary.aero/articles/food-poisoning>. [cit. 2023-11-05].
- [32] DISMUKES KEY, R., T. E. GOLDSMITH a J. A. KOCHAN. Effects of acute stress on aircrew performance: literature review and analysis of operational aspects, 2015.
NEWMAN, D. An overview of spatial disorientation as a factor in aviation accidents and incidents, 2007.
- [33] PROCHÁZKOVÁ, Hana. Vliv stresu na schopnosti pilota [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139950>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce Miroslav Šplíchal.
- [34] Continuous Monitoring of Vital Signs Using Cameras: A Systematic Review. Online. 2022, s. 1-4. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/11/4097>. [cit. 2023-11-09].
- [35] LOUIS, MD, Erik K. St. a FREY, MD, Lauren C. *Electroencephalography (EEG): An Introductory Text and Atlas of Normal and Abnormal Findings in Adults, Children, and Infants*. Online. Chicago, IL.: American Epilepsy Society, 2016. ISBN 978-0-9979756-0-4. Dostupné z: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK390354/pdf/Bookshelf_NBK390354.pdf. [cit. 2024-02-05].

- [36] *Elektroencefalografie*. Online. MUNI. 2023. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js21/fyziologie/web/pages/34_elektroencefalografie.html. [cit. 2024-01-18].
- [37] *EKG křivky: Co znamenají, a jak je správně přečíst?* Online. Medihum. 2022. Dostupné z: <https://medihum.cz/magazin/navody/ekg-krivky-co-znamenaji-jak-je-spravne-precist>. [cit. 2024-01-31].
- [38] *Měření EKG na zápěstí*. Online. Polar. 2023. Dostupné z: https://support.polar.com/e_manuals/vantage-v3/polar-vantage-v3-user-manual-cestina/wrist-ecg-measurement.htm. [cit. 2024-01-31].
- [39] *PULZNÍ OXYMETR*. Online. Garmin. 2023. Dostupné z: <https://www8.garmin.com/manuals/webhelp/fenix5plus/CS-CZ/GUID-4D425925-D4EE-4C26-B974-5375D0670860.html>. [cit. 2024-02-05].
- [40] *PULZNÍ OXYMETR*. Online. Garmin. 2023. Dostupné z: <https://www.garmin.com/cs-CZ/garmin-technology/health-science/pulse-ox/>. [cit. 2024-02-05].
- [41] How Good Are RGB Cameras Retrieving Colors of Natural Scenes and Paintings?—A Study Based on Hyperspectral Imaging. Online. S. 1-3. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7663052/pdf/sensors-20-06242.pdf>. [cit. 2023-11-13].
- [42] *What is Near-Infrared Imaging and how do NIR cameras work?* Online. Dostupné z: <https://www.e-consystems.com/blog/camera/technology/what-is-nir-imaging-and-how-do-nir-cameras-work/>. [cit. 2023-11-15].
- [43] SELVARAJU, Vinothini a SPICHER, Nicolai. Continuous Monitoring of Vital Signs Using Cameras: A Systematic Review. Online. 2022, s. 2-4. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/11/4097>. [cit. 2023-11-15].
- [44] KHUSHHAL, Alaa a NICHOLS, Simon. Validity and Reliability of the Apple Watch for Measuring Heart Rate During Exercise. Online. 2017, s. 206-207. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6226089/>. [cit. 2024-01-06].
- [45] *Sledování tepové frekvence pomocí Apple Watch*. Online. Apple. Dostupné z: <https://support.apple.com/cs-cz/HT204666>. [cit. 2024-01-06].
- [46] *Apple Watch Series 6 - Technické specifikace*. Online. Support.apple. Dostupné z: <https://support.apple.com/cs-cz/111918>. [cit. 2024-05-10].
- [47] *FUNKCE BODY BATTERY™*. Online. Garmin. Dostupné z: <https://www.garmin.com/cs-CZ/garmin-technology/health-science/body-battery/>. [cit. 2024-01-17].
- [48] *What Is a Normal Sleeping Heart Rate?* Online. SUMMER, Jay a SINGH, Dr. Abhinav. 2024. Dostupné z: <https://www.sleepfoundation.org/physical-health/sleeping-heart-rate>. [cit. 2024-05-07].

- [49] *Klidová tepová frekvence: co vypovídá o našem těle?* Online. Aktin. 2022. Dostupné z: <https://aktin.cz/klidova-tepova-frekvence-co-vypovida-o-nasem-tele>. [cit. 2024-05-06].
- [50] *Best Chest Strap Heart-Rate Monitors for 2024*. Online. CNET. 2024. Dostupné z: <https://www.cnet.com/health/fitness/best-chest-strap-heart-rate-monitors/>. [cit. 2024-01-07].
- [51] *Heartbeat rate measurement using microwave systems: single-antenna, two-antennas, and modeling a moving person*. Online. EL-SAMAD, Sarah a OBEID, Dany. 2018. Dostupné z: <https://hal.science/hal-01769423/document>. [cit. 2024-01-07].
- [52] KOELPIN, Alexander a WILL, Christoph. *Microwave interferometer radar-based vital sign detection for driver monitoring systems*. Online. 2015. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/283824896_Microwave_interferometer_radar-based_vital_sign_detection_for_driver_monitoring_systems. [cit. 2024-01-23].
- [53] *Polysomnografické vyšetření u dospělých: Fakultní nemocnice Ostrava*. Dostupné také z: https://www.fno.cz/documents/informovane-souhlysy/Polysomnograficke_vysetreni_u_dospelych_IS_r02.pdf.
- [54] AKERSTEDT MILEY, Anna; KECKLUND, Göran a ÅKERSTEDT, Torbjörn. *Comparing two versions of the Karolinska Sleepiness Scale (KSS)*. 2016. Dostupné také z: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5511283/pdf/41105_2016_Article_48.pdf.
- [55] MAJUMDER, Shubha. *Potentials of Physiological Signals to Implement A Wearable Drowsiness Detection and Warning System for Pilots*. Master of Science in Biomedical Engineering, vedoucí Dr. Kouhyar Tavakolian. 2020. Dostupné také z: https://www.researchgate.net/publication/339089146_Potentials_of_Physiological_Signals_to_Implement_A_Wearable_Drowsiness_Detection_and_Warning_System_for_Pilots.
- [56] *Elektrookulografie*. Online. MUNI. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js21/fyziologie/web/pages/32_elektrookulografie.html. [cit. 2024-05-19].
- [57] F. Sauvet et al., “In-flight automatic detection of vigilance states using a single EEG channel,” *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 61, no. 12, pp. 2840–2847, 2014.
- [58] T. L. Morris and J. C. Miller, “Electrooculographic and performance indices of fatigue during simulated flight,” *Biol. Psychol.*, vol. 42, no. 3, pp. 343–360, 1996.
- [59] A. Zhang and F. Liu, “Drowsiness detection based on wavelet analysis of ECG and pulse signals,” 2012 5th Int. Conf. Biomed. Eng. Informatics, BMEI 2012, no. 30670529, pp. 491–495, Oct. 2012.
- [60] M. Akin, M. B. Kurt, N. Sezgin, and M. Bayram, “Estimating vigilance level by using EEG and EMG signals,” *Neural Comput. Appl.*, vol. 17, no. 3, pp. 227–236, 2008.

- [61] R. N. Khushaba, S. Kodagoda, S. Lal, and G. Dissanayake, "Driver drowsiness classification using fuzzy wavelet-packet-based feature-extraction algorithm," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 58, no. 1, pp. 121–131, Jan. 2011.
- [62] *GoPro HERO12 Black*. Online. Alza.cz. 2023. Dostupné z: https://www.alza.cz/gopro-hero12-black-d7896753.htm?kampan=adwdfv_digitalni-foto-video_bee_pro_video_digitalni-foto-video-kamery-gopro-hero12-og012a1&ppcbee-adttext-variant=rsa_pro_seg1&gclid=Cj0KCQiA5-uuBhDzARIsAAa21T-HTWm-8EoapR7woNCycX3NWpU9xGTtFtUcfZEeLX_5cFLbSIvoPaEaAsz2EALw_wcB#p opis. [cit. 2024-02-26].
- [63] *Apple Watch Series 6*. Online. Alza.cz. 2023. Dostupné z: <https://www.alza.cz/apple-watch-series-6-44mm-cellular-stribrny-nerez-se-stribrnym-milanskym-tahem-sleva-d6591258.htm>. [cit. 2024-02-26].
- [64] Letová příručka: Z43. In: 2867/997/9/Vy ze dne 6.6.1991. Otrokovice: MORAVAN AEROPLANES a.s, 1991.
- [65] *Cessna 172P Skyhawk*. Online. Elmontex Air. Dostupné z: <https://www.elmontexair.cz/nase-letadla/cessna-172-cll/>. [cit. 2024-05-15].
- [66] *Skyhawk model 172P: Information manual*. Cessna Aircraft Company, 1995. Dostupné také z: <https://www.cpaviation.com/images/downloads/Cessna%20172P.pdf>.
- [67] *Pilot's operating handbook and FAA approved airplane flight manual: Cessna model 172S NAV III*. Revision 4. : 172SPHAUS-04. 2006.
- [68] *Bristell Classic*. Online. AeroWeb. Dostupné z: <https://www.aeroweb.cz/letadla/ultralighty/bristell-ng5>. [cit. 2024-05-14].
- [69] *Bristell UL: Technická specifikace*. Online. Fly for fun. Dostupné z: <https://www.flyforfun.cz/letadla-a-vrtulniky/ultralehka-letadla-1/bristell-ul-36/>. [cit. 2024-05-19].


12. Seznam příloh

Příloha A. Žádost o vydání osvědčení zdravotní způsobilosti spolu s lékařskou anamnézou

Příloha B. Osnova oblasti 100 KSA

Příloha C. Dotazníky použité v experimentu

Příloha A

 ŽÁDOST O VYDÁNÍ OSVĚDČENÍ ZDRAVOTNÍ ZPŮSOBILOSTI <input type="checkbox"/> Vstupní <input type="checkbox"/> Prodloužení / obnova platnosti		
Vypilňujte hůlkovým písmem dle pokynů pro vyplnění		VÁZÁNO LÉKAŘSKÝM TAJEMSTVÍM
(1) Stát vydávající průkaz způsobilosti: []	(2) Požadováno osvědčení zdravotní způsobilosti: <input type="checkbox"/> Třída 1 <input type="checkbox"/> Třída 2 <input type="checkbox"/> Třída 3 <input type="checkbox"/> LAPL <input type="checkbox"/> CC <input type="checkbox"/> Ostatní	
(3) Jméno a příjmení: []	(4) Dřívější příjmení: []	(5) Datum narození (den/měsíc/rok): []
(6) Pohlaví: <input type="checkbox"/> Muž <input type="checkbox"/> Žena	(7) Registrační číslo: []	(8) Typ požadovaného průkazu způsobilosti: []
(9) Místo a země narození: []	(10) Státní příslušnost: []	(11) Poslední letecko-lékařské vyšetření: Datum: [] Místo: []
(12) Trvalé bydliště nebo doručovací adresa, liší-li se od místa trvalého bydliště (ulice, číslo popisné, město, směrovací číslo, stát): []		
(13) Telefon: []	(14) Mobilní telefon: []	(15) Email: []
(16) Povolání (hlavní): []	(17) Zaměstnavatel: []	
(18) Vlastněné průkazy způsobilosti (typ): Stát vydání: [] Číslo průkazu: []	(19) Jakékoli omezení v průkazu /osvědčení zdravotní způsobilosti: <input type="checkbox"/> NE <input type="checkbox"/> ANO / Podrobnosti: []	
(20) Bylo vám někdy osvědčení zdravotní způsobilosti odmítnuto, pozastaveno nebo zrušeno jakýmkoliv úřadem vydávajícím průkazy způsobilosti? <input type="checkbox"/> NE <input type="checkbox"/> ANO / Datum: [] / Země: [] Podrobnosti: []		
(21) Celkový počet letových hodin: <input type="checkbox"/> N/A [] hod	(22) Počet letových hodin od poslední letecko-lékařské prohlídky: <input type="checkbox"/> N/A [] hod	
(23) V současnosti létám na letadle třídy /typu: <input type="checkbox"/> N/A []		
(24) Zapojení do letecké nehody / incidentu od posledního lékařského vyšetření? <input type="checkbox"/> N/A <input type="checkbox"/> ANO / Datum: [] / Země: [] Podrobnosti: []		
(25) Požadovaný druh létání: <input type="checkbox"/> N/A []	(26) Druh současného provozu: <input type="checkbox"/> jednopilotní <input type="checkbox"/> vicepilotní Současná činnost ŘLP: <input type="checkbox"/> TWR <input type="checkbox"/> Radar <input type="checkbox"/> Jiná	
(27) Pijete alkohol? <input type="checkbox"/> NE <input type="checkbox"/> ANO – uveďte množství: []	(28) Kouříte? <input type="checkbox"/> NE, přestal jsem. / Uveďte datum: [] <input type="checkbox"/> ANO / Uveďte druh kuřiva a množství: []	
(28) Užíváte v současnosti nějaké léky? <input type="checkbox"/> NE <input type="checkbox"/> ANO – uveďte lék, dávku, datum počátku léčby a důvod: []		

Celková a lékařská anamnéza: Prodělal(a) jste někdy něco z níže uvedeného? (Prosím zaškrtněte). Pokud ano, uveďte podrobnosti v položce (30) Poznámky.

	ANO	NE		ANO	NE		ANO	NE	Rodinný výskyt:	ANO	NE
101 Oční obtíže/ oční operace	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	112 Poruchy nosu, krku a řiť	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	123 Malárie nebo jiné tropická nemoc	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	170 Srdeční nemoc	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
102 Byl(a) a/ nebo kontaktní čočky někdy nošené	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	113 Poranění hlavy nebo bezvědomí	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	124 Pozitivní test HIV	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	171 Vysoký krevní tlak	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			114 Časné nebo těžké bolesti hlavy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	125 Pohlavní přenosná onemocnění	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	172 Vysoká hladina cholesterolu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
103 Změna předpisu brýlí od posledního lékařského vyšetření	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	115 Záraté nebo záchvaty mdlob	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	126 Porucha spánku/syndromu apnoe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	173 Epilepsie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			116 Bezvědomí z jakékoli příčiny	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	127 Svalové a kosterní nemoci/poškození	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	174 Duševní nemoci	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
104 Alergie nebo semná rýmy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	117 Neurologické poruchy, mrtvice, epilepsie, křeče, obrny atd.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	128 Jiné nemoci nebo poranění	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	175 Diabetes mellitus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
105 Astma nebo plicní nemoc	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				129 Přijetí do nemocnice	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	176 Tuberkulóza	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
106 Srdeční nebo oční potíže	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	118 Psychologické/duševní potíže jakéhokoliv druhu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	130 Návštěva u praktického lékaře od posledního lékařského vyšetření	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	177 Alergie/astma/nikotín	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
107 Vysoký nebo nízký krevní tlak	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				131 Zaměstnutí zdravotní péčí	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	178 Dědičné nemoci	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
108 Ledvinový kámen nebo krev v moči	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	119 Abusus alkoholu, omamných látek	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	132 Zaměstnutí průkazou pilota/průkazu ŘLP	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	179 Glaukom	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
109 Diabetes mell., hormonální poruchy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	120 Sebevražedný pokus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	133 Vyřazení z vojenské služby ze zdravotních důvodů	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
110 Žaludeční, jaterní, střevní potíže	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	121 Kinetóza vyžadující léčení	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				Pouze ženy:		
									150 Gynekologické, menstruační problémy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
111 Nedošlechlost nebo ušní problémy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	122 Anémie/srpkovitost červených krvinek/jiné poruchy krve	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	134 Přiznání důchodu nebo náhrady po poranění nebo nemoci	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	151 Jste těhotná?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

(30) **Poznámky:** Pokud byly uvedeny již dříve a nedošlo ke změně, poznamenejte to.

■

(31) **PROHLÁŠENÍ:** Prohlašuji tímto, že jsem pečlivě zvážil výše uvedené odpovědi a že jsou podle mého nejlepšího přesvědčení úplné a správné a že jsem nezatajil žádnou důležitou informaci nebo neuvedl žádné zavádějící údaje. Jsem si vědom, že pokud bych uvedl jakýkoli nepravdivý nebo zavádějící údaj související s touto žádostí, nebo nedal souhlas k poskytnutí doplňujících lékařských informací, může mi úřad vydávající průkazy způsobilosti odmítnout vydat osvědčení zdravotní způsobilosti, nebo mi může odebrat kterékoli již vystavené osvědčení zdravotní způsobilosti, aniž by tím byla dotčena další opatření, vyplývající z národních právních předpisů.

SOUHLAS S POSKYTNUTÍM LÉKAŘSKÝCH INFORMACÍ. Tímto dávám souhlas k poskytnutí všech informací obsažených v této zprávě a kterémkoli nebo všech doplňcích, určenému leteckému lékaři (AME) a v případě potřeby posudkovému lékaři úřadu vydávajícímu průkazy způsobilosti, s vědomím, že tyto dokumenty nebo elektronicky uchované údaje budou použity pro vyhotovení osvědčení zdravotní způsobilosti a zůstanou majetkem úřadu vydávajícího průkazy způsobilosti, za předpokladu, že já nebo můj lékař k nim budeme mít přístup v souladu s platnou právní úpravou. Za všech okolností bude dodržováno lékařské tajemství.

Datum: ■

Podpis žadatele: _____

Podpis AME / posudkového lékaře: _____

Příloha B

European Aviation Safety Agency

Appendix to Annex I to ED Decision 2018/001/R
SUBJECT AREA 100 — KNOWLEDGE, SKILLS AND ATTITUDES (KSA)

SUBJECT AREA 100 — KNOWLEDGE, SKILLS AND ATTITUDES (KSA)

Syllabus reference	Syllabus details and associated Learning Objectives	Aeroplane		Helicopter		
		ATPL	CPL	ATPL /IR	ATPL	CPL
100 00 00 00	KNOWLEDGE, SKILLS AND ATTITUDES (KSA)					
100 01 00 00	ICAO CORE COMPETENCIES					
(01)	Recognise the ICAO Core Competencies listed below and the associated competency descriptions (ICAO Doc 9995 'Manual of Evidence-based Training'): — Application of Procedures; — Communication; — Aircraft Flight Path Management, automation; — Aircraft Flight Path Management, manual control; — Leadership and Teamwork; — Problem Solving and Decision Making; — Situation Awareness; — Workload Management.	X	X	X	X	X
100 02 00 00	CORE COMPETENCIES LEARNING OBJECTIVES					
100 02 01 00	Communication					
(01)	Show the ability to identify whether the recipient is ready and able to receive the information.	X	X	X	X	X
(02)	Show the ability to appropriately select what, when, how and with whom to communicate.	X	X	X	X	X
(03)	Show the ability to communicate clearly, accurately and concisely.	X	X	X	X	X
(04)	Show the ability to confirm whether the recipient correctly understands important information.	X	X	X	X	X
(05)	Show the ability to listen actively and show you understand the information you receive.	X	X	X	X	X
(06)	Show the ability to ask relevant and effective questions.	X	X	X	X	X

European Aviation Safety Agency

Appendix to Annex I to ED Decision 2018/001/R
SUBJECT AREA 100 — KNOWLEDGE, SKILLS AND ATTITUDES (KSA)

Syllabus reference	Syllabus details and associated Learning Objectives	Aeroplane		Helicopter		
		ATPL	CPL	ATPL /IR	ATPL	CPL
(07)	Show the ability to adhere to standard radio-telephony phraseology.	X	X	X	X	X
(08)	Show the ability to accurately read, interpret, construct and respond to given documentation in English.	X	X	X	X	X
(09)	Show the ability to correctly interpret non-verbal communication.	X	X	X	X	X
(10)	Show the ability to use appropriate eye contact, body movement and gestures that are consistent with and support verbal messages.	X	X	X	X	X
100 02 02 00	Leadership and teamwork					
(01)	Show the ability to create an atmosphere of open communication that encourages participation.	X	X	X	X	X
(02)	Show the initiative and the ability to give directions when required.	X	X	X	X	X
(03)	Show the ability to admit mistakes and take responsibility.	X	X	X	X	X
(04)	Show the ability to anticipate and respond appropriately to others' needs.	X	X	X	X	X
(05)	Show the ability to carry out instructions when directed.	X	X	X	X	X
(06)	Show the ability to communicate relevant concerns and intentions.	X	X	X	X	X
(07)	Show the ability to give and receive feedback constructively.	X	X	X	X	X
(08)	Show empathy, respect and tolerance for others.	X	X	X	X	X
(09)	Show the ability to engage others in planning and to allocate activities fairly and appropriately according to others' abilities.	X	X	X	X	X
(10)	Show the ability to address and resolve conflicts and disagreement in a constructive manner.	X	X	X	X	X
(11)	Show the ability to project self-control.	X	X	X	X	X
100 02 03 00	Problem-solving and decision-making					

Syllabus reference	Syllabus details and associated Learning Objectives	Aeroplane		Helicopter		
		ATPL	CPL	ATPL /IR	ATPL	CPL
(01)	Show the ability to seek accurate and adequate information from appropriate sources.	X	X	X	X	X
(02)	Show the ability to identify and verify what and why things have gone wrong.	X	X	X	X	X
(03)	Show the ability to employ proper problem-solving strategies.	X	X	X	X	X
(04)	Show the ability to persevere in working through problems.	X	X	X	X	X
(05)	Show the ability to use appropriate and timely decision-making processes.	X	X	X	X	X
(06)	Show the ability to set priorities appropriately.	X	X	X	X	X
(07)	Show the ability to identify and consider options effectively.	X	X	X	X	X
(08)	Show the ability to monitor, review and adapt decisions as required.	X	X	X	X	X
(09)	Show the ability to identify and manage risks.	X	X	X	X	X
100 02 04 00	Situation awareness					
(01)	Demonstrate the ability to identify and assess accurately the general environment as it may affect the operation.	X	X	X	X	X
(02)	Demonstrate the ability to identify threats, errors and undesirable aircraft states.	X	X	X	X	X
(03)	Demonstrate the ability to manage threats, errors and undesirable aircraft states.	X	X	X	X	X
100 02 05 00	Workload management					
(01)	Show the ability to maintain self-control.	X	X	X	X	X
(02)	Show the ability to plan, prioritise and schedule tasks effectively.	X	X	X	X	X
(03)	Show the ability to manage time effectively when carrying out tasks.	X	X	X	X	X
(04)	Show the ability to offer and accept assistance, delegate when necessary and ask for help early.	X	X	X	X	X

Syllabus reference	Syllabus details and associated Learning Objectives	Aeroplane		Helicopter		
		ATPL	CPL	ATPL /IR	ATPL	CPL
(05)	Show the ability to manage interruptions, distractions, variations and failures effectively.	X	X	X	X	X
100 03 00 00	ADDITIONAL THREAT AND ERROR MANAGEMENT (TEM) RELATED LEARNING OBJECTIVES					
100 03 01 00	Application of knowledge					
(01)	Demonstrate the ability to complete pre-flight planning in practical exercises.	X	X	X	X	X
(02)	Demonstrate the KSA and TEM relating to phases of flight in the ground training environment.	X	X	X	X	X
100 03 02 00	Upset prevention and recovery training (UPRT) and resilience					
	<i>Note: Resilience is defined as 'the ability to recognise, absorb and adapt to disruptions'. It is supported by the pilot's core competencies and improved by experience, which can be gained by training for unexpected events or situations.</i>					
(01)	Recognise potential upset 'threats' and suggest effective 'threat management' in scenario situations.	X	X			
(02)	Recognise potential upset 'errors' and suggest effective 'error management' in scenario situations.	X	X			
(03)	Explain the causes of and contributing factors to upsets.	X	X			
(04)	Demonstrate resilience during scenario and/or other exercises.	X	X	X	X	X
(05)	Show the ability to identify the signs and discuss the effects of stress, fatigue and aviation lifestyle on situation awareness, and how to cope with them in order to maintain situation awareness.	X	X	X	X	X
100 04 00 00	MENTAL MATHS					
	<i>Note: Demonstrate, in non-calculator test scenarios or scenario exercises, the ability in a time-efficient manner to make correct mental calculation approximations for the following.</i>					
(01)	Convert between volumes and masses of fuel using range of units.	X	X	X	X	X
(02)	Estimate time, distance and speed.	X	X	X	X	X

Syllabus reference	Syllabus details and associated Learning Objectives	Aeroplane		Helicopter		
		ATPL	CPL	ATPL /IR	ATPL	CPL
(03)	Estimate the rate of climb or rate of descent, distance and time.	X	X			
(04)	Add or subtract time, distance, and fuel mass.	X	X	X	X	X
(05)	Calculate fuel burn given time and fuel flow.	X	X	X	X	X
(06)	Calculate the time available (for decision-making) given relevant fuel information.	X	X	X	X	X
(07)	Determine the top of descent using a simple method that is described by the approved training organisation (ATO).	X	X			
(08)	Determine the values that vary by a percentage, e.g. dry-to-wet landing distance and fuel burn.	X	X	X	X	X
(09)	Estimate heights at distances on a 3-degree glideslope.	X	X	X	X	X
(10)	Estimate headings using the 1-in-60 rule.	X	X	X	X	X
(11)	Estimate headwind and crosswind components given wind speed and direction and runway in use.	X	X	X	X	X

Příloha C Vstupní dotazník

Vstupní dotazník

ID		Datum	
----	--	-------	--

1. Pohlaví

Muž Žena

2. Uveďte Váš věk.

3. Uveďte Vaši váhu.

4. Od kterého roku věku aktivně létáte?

5. Jaký typ licence vlastníte?

jsem ve výcviku PPL(A) CPL ULL(A) ATPL(A)

6. Na které letouny máte kvalifikace?

C172/182 Z526/226 Z43 Piper 28

Pokud na jiném, uveďte:

7. Jaký je Váš celkový nálet? Uveďte počet hodin.

8. Jaký je Váš nálet za posledních 90 dní? Uveďte počet hodin.

9. Používáte nějaké vlastní senzory k monitorování? (chytré hodinky, Go Pro kamera)

10. Na které ruce nosíte hodinky?

Pravá Levá Nenosím

11. Nosíte brýle nebo kontaktní čočky?

ANO NE

12. Máte nějakou zrakovou vadu?

Krátkozrakost Dalekozrakost Astigmatismus Nemám

Pokud jinou, uveďte:

13. Máte problémy s koncentrací nebo soustředěním?

ANO NE

Příloha C Předletový dotazník

Předletový dotazník

ID		Datum	
----	--	-------	--

1. Cítil/a jste se po dnešním spánku odpočatý?

ANO NE

2. Jak dlouho spánek trval?

8 hodin a více 5-7 hodin Méně než 5 hodin

3. Kolik hodin proběhlo od probuzení?

4. Měl/a jste nějakou fyzicky vyčerpávající aktivitu před letem? (běh, posilovna, náročná fyzická práce)

ANO NE

5. Pociťujete nějaké aktuální zdravotní problémy? (bolest hlavy, zad, svalů,...)

ANO NE

6. Jak hodnotíte svou aktuální připravenost na mentální zátěž v souvislosti s plánovaným letem? (použijte stupnici jako ve škole)?

1 2 3 4 5

1...připraven

5... zcela nepřipraven

7. Na jakém typu letounu bude let probíhat?

8. Jaká je plánovaná doba letu?

9. V jaké výšce bude let převážně probíhat?

Do 1000 ft AGL 1000 ft – FL095 Více jak FL095

10. Jaké je očekávané pokrytí oblačnosti pro daný let?

FEW SCT BKN OVC

11. Kolik osob bude na palubě?

Pouze pilot 2 osoby 3 a více

12. Kolik kávy nebo energetických nápojů jste vypil/a před letem za poslední 2-3 hodiny?

Příloha C Dotazník po letu

Dotazník po letu

ID		Datum	
Kamera	<input type="checkbox"/> ANO <input type="checkbox"/> NE	Hodinky	<input type="checkbox"/> ANO <input type="checkbox"/> NE

1. Čas vzletu? (LT)

Čas přistání?

2. Popište trasu letu (navigační body, prostory, letové úlohy,)

3. Došlo v průběhu letu k turbulencím?

ANO

NE

4. Vyskytla se během letu nějaká nestandardní/stresová situace? (blíží se západ slunce, zhoršení povětrnostních podmínek, malé množství paliva, technické problémy, opakované přistání)

ANO

NE

Pokud ano, jaká:

5. Pociťoval/a jste únavu během letu?

ANO

NE

6. Jak na Vás působila přítomnost kamery?

1

2

3

4

5

1... nevěděl/a jsem o ní

5... znervózňovala mě

7. Jak jste vnímal/a během letu přítomnost hodinek?

1

2

3

4

5

1... nevěděl/a jsem o nich

5... znervózňovaly mě

8. Cítil/a jste se nekomfortně během letu? (pocit nepohodlí)

Bolest hlavy

Nevolnost

Únava

Zmatenost

Pokud jiné, uveďte (můžete rozepsat výše uvedené):

9. Kolik minut trvalo pojiždění letadla?

Příloha C Výstupní dotazník

Výstupní dotazník

ID		Datum	
----	--	-------	--

1. Představte si, že senzor vyhodnotí Vaši ospalost/únavu (ztrátu pozornosti). Jakou formu informace o tomto stavu byste uvítali? Lze označit více možností.

- světelná signalizace
- zvuková signalizace
- vibrace (hodinky, sedadlo)
- jiné

2. Jakému typu senzoru byste případně dával/a větší přednost? Lze označit více možností.

- Chytré hodinky (kontaktní, vyžadující nasazení)
- Kamera (bezkontaktní, nevyžaduje další aktivitu)
- Kombinace obou senzorů
- Žádný

3. Souhlasil/a byste s monitoringem zahrnující kamerový záznam včetně obličeje z důvodu bezpečnosti letectví? (z pohledu profesionálního pilota)

- ANO NE

4. Souhlasil/a byste s monitoringem zahrnující kamerový záznam včetně obličeje z důvodu bezpečnosti letectví? (z pohledu pilota GA)

- ANO NE

5. Souhlasil/a byste s monitoringem zahrnující zaznamenávání biologických údajů (srdeční tep) z důvodu bezpečnosti v letectví? (z pohledu profesionálního pilota)

- ANO NE

6. Souhlasil/a byste s monitoringem zahrnující zaznamenávání biologických údajů (srdeční tep) z důvodu bezpečnosti v letectví? (z pohledu pilota GA)

- ANO NE