



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

VLIV STRESU NA SCHOPNOSTI PILOTA

INFLUENCE OF STRESS ON PILOT ABILITIES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Hana Procházková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Miroslav Šplíchal, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav: Letecký ústav
Studentka: **Bc. Hana Procházková**
Studijní program: Letecká a kosmická technika
Studijní obor: Technologie provozu letadlové a letištní techniky
Vedoucí práce: **Ing. Miroslav Šplíchal, Ph.D.**
Akademický rok: 2021/22

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:

Vliv stresu na schopnosti pilota

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Stres negativně ovlivňuje výkon jedince. Úkolem práce prozkoumat míru ovlivnění vybraných schopností pilota. V rámci práce se předpokládá realizace experimentu s využitím nositelné elektroniky.

Cíle diplomové práce:

Popsat dopady stresu na výkon pilota ve vybraných kritériích.
Navrhnout vhodnou metodiku pro zjišťování míry stresu pilota v reálném provozu.
Pokusit se realizovat experiment k ověření navrhovaných tezí.

Seznam doporučené literatury:

Labrador, M. A.: Human activity recognition :using wearable sensors and smartphones /Miguel A. Labrador, O. D., Lara Y., Boca R.: CRC Press,2014, 187 stran, Chapman & Hall/CRC. Computer & information science series, ISBN: 978-1-4665-8827-1.

Lawanont, Worawat & Mongkolnam, Pornchai & Nukoolkit, Chakarida & Inoue, Masahiro. (2019). Daily Stress Recognition System Using Activity Tracker and Smartphone Based on Physical Activity and Heart Rate Data. ISBN: 978-3-319-92028-3_2.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

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

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá měřením stresu pilota v reálném provozu. Je stanovena obecná metodika, podle které by se mělo při měření stresu postupovat. Následně je tato metodika aplikována a ověřena v praxi na žácích letového výcviku a pilotech. Výsledky ukazují, že s postupným sbíráním dat by tato metodika mohla přispět k dlouhodobému záměru, a to stanovení hranice únosné míry stresu a pomoci tak zefektivnit letecký výcvik.

Abstract

The diploma thesis focuses on measuring the pilot's stress during real flights. The general methodology is established. This methodology should be followed when measuring stress. This methodology is applied on students and pilots during a real flight. Results show that with the gradual data collection, this methodology could contribute to the long-term goal of setting the tolerable level of stress and help streamline flight training.

Klíčová slova

Stres, nositelná elektronika, srdeční frekvence, vyhodnocení stresu, pilot, letecký výcvik.

Key words

Stress, wearable electronics, heart rate, evaluation of stress, pilot, flight training.

Bibliografická citace

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.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a všechny použité prameny jsem uvedla v seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne 20. května 2022

.....

Hana Procházková

Poděkování

Chtěla bych poděkovat vedoucímu své diplomové práce Ing. Miroslavu Šplíchalovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady. Dále bych chtěla poděkovat Letecké škole Rakušan a leteckému instruktorovi Petru Jordánovi za spolupráci při tvorbě práce. V neposlední řadě rodině za podporu během studia.

Obsah

1	Úvod	11
2	Stres.....	12
2.1	Krátkodobý stres.....	12
2.2	Vliv krátkodobého stresu na výkon pilota.....	12
2.2.1	Vliv na pozornost	13
2.2.2	Vliv na paměť.....	13
2.2.3	Vliv na rozhodování	14
2.2.4	Vliv na komunikaci	14
2.2.5	Vliv na orientaci v prostoru.....	15
2.2.6	Vliv na učení	15
2.3	Analýza studií zabývajících se měřením stresu	16
2.3.1	Fyziologické ukazatele zátěže v simulovaných letových úlohách	16
2.3.2	Hodnocení zátěže za letu: srovnání subjektivních a fyziologických měření	16
2.3.3	Reakce srdeční frekvence na skutečný a simulovaný let v BA Hawk MK 51 ...	17
2.3.4	Analýza psychické zátěže pilotů během reálného letu s využitím srdeční frekvence a subjektivního měření	17
2.3.5	Zlepšení vyhodnocování mentální zátěže pilota kombinovanými měřeními	18
2.3.6	Detekování stresu během řízení s použitím psychologických senzorů	18
2.3.7	Shrnutí výsledků studií.....	19
2.4	Přehled metod měření stresu.....	20
2.4.1	Subjektivní měření stresu prostřednictvím dotazníků	20
2.5	Objektivní měření stresu nositelnou elektronikou	21
2.5.1	Saturace krve	21
2.5.2	EKG.....	22
2.5.3	Měření stresu	22
2.5.4	Měření srdeční frekvence	23
2.5.5	Tělesná teplota.....	23
2.5.6	Shrnutí funkcí chytrých hodinek	23
2.5.7	Zvolená nositelná elektronika v rámci experimentu	24
3	Metodika pro zjišťování míry stresu pilota v reálném provozu.....	25
3.1	Podmínky obecně použitelné metodiky	25
3.1.1	Koncipování letu	25
3.1.2	Meteorologické a provozní podmínky	26

3.1.3	Zkušenosti pilotů účastnících se měření.....	26
3.1.4	Subjektivní vnímání pilotů	26
3.1.5	Měření a analýza naměřených hodnot.....	27
4	Ověření metodiky experimentem	28
4.1	Průběh letu.....	28
4.2	Piloti účastníci se měření.....	30
4.3	Použití dotazníků	30
4.4	Zpracování dat	31
4.5	Pilot č. 1	32
4.5.1	Informace o posádce.....	32
4.5.2	Meteorologické a provozní podmínky letu	32
4.5.3	Průběh letu.....	32
4.5.4	Získané hodnoty	38
4.6	Pilot č. 2.....	39
4.6.1	Informace o posádce.....	39
4.6.2	Meteorologické a provozní podmínky letu	39
4.6.3	Průběh letu.....	39
4.6.4	Získané hodnoty	45
4.7	Pilot č. 3.....	46
4.7.1	Informace o posádce.....	46
4.7.2	Meteorologické a provozní podmínky letu	46
4.7.3	Průběh letu.....	46
4.7.4	Získané hodnoty	52
4.8	Pilot č. 4.....	53
4.8.1	Informace o posádce.....	53
4.8.2	Meteorologické a provozní podmínky letu	53
4.8.3	Průběh letu.....	53
4.8.4	Získané hodnoty	59
4.9	Srovnání získaných hodnot.....	60
4.9.1	Srovnání pilota č. 1 a 2.....	60
4.9.2	Srovnání pilota č. 3 a 4.....	63
5	Závěr	67
6	Seznam použitých zdrojů	69
7	Seznam příloh.....	73
8	Příloha 1	74

9	Příloha 2.....	76
10	Příloha 3.....	77

1 Úvod

Tato diplomová práce se zabývá měřením míry stresu u pilotů všeobecného letectví. Cílem diplomové práce je popsat dopady stresu na výkon pilota a vytvořit vhodnou metodiku pro zjišťování míry stresu pilota v reálném provozu a následně provést experiment k jejímu ověření.

Stres může negativně ovlivnit řadu kognitivních funkcí, mimo to i schopnost učení se. Tato schopnost je pak zvláště potřebná během leteckého výcviku. Pokud stres působí v takové míře, že tuto schopnost znemožňuje, letecký výcvik se stává neefektivní, žák se není schopen učit novým věcem a pokračování ve výcviku by mu nic nepřinášelo. Práce by měla přispět k vytvoření aplikace, která by během výcvikového letu vyhodnocovala míru stresu u žáka a byla by schopná instruktora včas upozornit na to, že míra stresu už překročila určitou hranici, nad kterou není žák schopen se učit novým věcem.

První část práce se věnuje stresu jako takovému a jak ho lze měřit. Jsou zde popsány kognitivní funkce, které jsou pro pilota důležité a které jsou ovlivnitelné stresem. Je provedena analýza studií, které se tématem měření stresu již zabývaly. Při výběru studií byl důraz kladen zejména na studie, které probíhaly na pilotech a k měření stresu byla použita srdeční frekvence. Výsledky těchto studií přispěly k vytvoření metodiky měření stresu. Studie ukázaly, že srdeční frekvence je spolehlivý a objektivní ukazatel stresu a objektivní měření by mělo být také doplněno subjektivním hodnocením účastníků měření.

K měření míry stresu během reálného letu je použita nositelná elektronika. Nositelná elektronika je dnes již velmi rozšířeným zařízením. Nabízí řadu zdravotních funkcí, které nám mohou pomoci určit míru stresu pilota. Mezi nejrozšířenější zařízení této kategorie patří chytré hodinky, které byly využity i v rámci experimentu. V další části práce byla tedy provedena analýza současných funkcí, které chytré hodinky nabízejí. Z těchto funkcí byla zvolena srdeční frekvence jako jediný nejvhodnější objektivní ukazatel stresu pro naše podmínky použití.

Poté byla sestavena obecná metodika pro zjišťování míry stresu u pilotů během reálného provozu. U letů provedených v rámci výzkumu by měla být vždy zajištěna opakovatelnost, srovnatelné meteorologické a provozní podmínky a piloti těchto letů by měli mít srovnatelné zkušenosti. Objektivní měření by mělo být doplněno subjektivním hodnocením pilotů. U letů v rámci výzkumu by se také nemělo jednat o lety akrobatické, kde dochází ke zvýšení srdeční činnosti i vlivem vyšší fyzické zátěže a výsledky měření by tedy byly zkreslené.

Navržená metodika byla následně aplikována v praxi. V rámci experimentu proběhly čtyři stejné lety, dva lety se žáky a dva lety s piloty. Tyto lety se skládaly ze čtyř úloh. Náročnost úloh v průběhu letu postupně rostla. Měření srdeční frekvence probíhalo za pomoci chytrých hodinek. K měření bylo využito pouze jedno zařízení. Z předchozí práce [9] a z dostupných údajů o přesnosti tohoto zařízení byl tento počet stanoven jako dostačující.

Během těchto letů byly získány hodnoty srdeční frekvence, jako objektivní veličiny pro posouzení stresu a subjektivní hodnocení pilotů a žáků, které se mezi sebou následně porovnávaly.

2 Stres

Stres není jednoduché definovat. Tomu svědčí i skutečnost, že od roku 1936, kdy fyziolog Hans Selye jako první prokazatelně použil tento výraz, vzniklo v průběhu let mnoho definic. [3] Nicméně v nejobecnějším pojetí lze stres vymezit jako nerovnováhu mezi úrovní různých životních nároků a schopností člověka je přiměřeným způsobem zvládat. [1] Stres vzniká jako reakce těla na stresový podmět – stresor. Pod stresem si můžeme představit cokoliv, co na jedince klade vysoké nároky nebo jej nutí k přizpůsobení. [2]

2.1 Krátkodobý stres

Diplomová práce se zabývá krátkodobým (akutním) stresem, tedy stresem vznikajícím za letu. Tento typ stresu je způsoben událostmi (stresory), které trvají po velmi krátký časový úsek. V případě krátkodobého stresu je obvykle jedinec schopen situaci vyřešit a vrátit se tak do normálního psychického i fyziologického stavu. Nadměrné působení akutního stresu může vést k vyčerpání. [4]

Odolnost vůči stresu

Odolnost vůči stresu je rozmezí, ve kterém daný člověk bez obtíží zvládá všechny požadavky. Odolnost je u každého jedince individuální, stejně tak jako vnímání stresorů. [5] Například situace, které pro nezkušeného pilota představují silnou zátěž, mohou být pro zkušeného pilota rutinní záležitostí. [6] Odolnost jedince tedy závisí na zkušenostech a také na osobnostních vlastnostech, emoční úrovni a aktuálním stavu organismu. [5]

2.2 Vliv krátkodobého stresu na výkon pilota

Jedním z cílů práce je popsat vliv stresu na výkon pilota ve vybraných kritériích. V této kapitole jsou shrnuty kognitivní schopnosti, které pilot potřebuje k správnému provedení letu a které mohou být nepříznivě ovlivněny stresem. Kognitivní funkce nám umožňují vnímat a pozorovat svět kolem sebe, jednat, reagovat, zvládat různé úkoly. Zahrnují schopnosti jako pozornost, paměť, rozhodování, komunikaci, prostorovou orientaci. [21] V letectví je 70 % všech nehod nebo incidentů způsobeno lidskou chybou. [22] Ze statistik vyplývá, že selhání lidského činitele pozitivně koreluje se zvýšenou hladinou stresu a jejím ovlivnění kognitivních funkcí. [9]

Informace k tomuto tématu byly čerpány především ze studie *Effects of Acute Stress on Aircrew Performance: Literature Review and Analysis of Operational Aspects* z roku 2015 vypracovanou pod NASA. Tato studie zpracovává informace, které se o tomto tématu objevily od 2. světové války až do nedávné doby. Studie také analyzuje některé vybrané letecké nehody, konkrétně se zabývá chováním posádek, které byly při těchto nehodách pod silným vlivem stresu. Poslední část je věnována konkrétním opatřením, které mohou snížit negativní dopady stresu na výkon pilotů. [23]

Následující zmíněné kognitivní schopnosti jsou vybrány na základě výše zmíněné studie a také s ohledem na zaměření práce. Všechny tyto kognitivní funkce jsou potřebné k bezpečnému provedení letu. V neposlední řadě je zde zmíněn vliv stresu na učení. Tato schopnost je pak velmi důležitá pro žáka během leteckého výcviku.

2.2.1 Vliv na pozornost

Piloti musí svou pozornost během letu běžně přenášet mezi řadou úkolů. Obtíže mohou nastat ve chvíli, kdy dojde například k nějaké poruše, či jinému problému. Piloti mohou mít tendenci v tento moment svou pozornost zaměřit pouze na daný problém a zapomenou řešit ostatní záležitosti. Ne nadarmo existuje pravidlo FNC, tedy Fly – Navigate – Communicate, které by mělo být pilotům vštěpováno již během leteckého výcviku.

Jak bylo v úvodu této kapitoly zmíněno, pozornost znamená soustředěnost se na jednu myšlenku nebo úkol. Člověk je přirozeně schopen se v daný okamžik soustředit pouze na jeden úkol. Pokud se musí věnovat více úkolům, musí svou pozornost mezi nimi neustále přenášet. Studie potvrzuje, v případě zvýšené zátěže a stresu může dojít k tomu, že pozornost je přednostně zacílena na řešení pouze jednoho problému. [23]

Ze studie vyplývá, že lidé, kteří jsou ve stresu, jsou méně schopni zvládat svou pozornost. Je u nich pravděpodobnější, že okolní podmínky odvedou jejich pozornost od klíčového úkolu. Mohou hůře zpracovávat informace, mít problémy s přepínáním pozornosti mezi více úkoly a celkově jejich řešení situace bude chaotické a nesystematické. [23]

2.2.2 Vliv na paměť

Paměť je obecnou biologickou funkcí nervové soustavy. Je schopna informace ukládat, aktualizovat, vybavovat, ale i zapomínat. [6] Paměť můžeme dělit dle různých hledisek, ale pro naše účely se zde primárně zaměříme na paměť krátkodobou.

Krátkodobá, též pracovní paměť je pouze malá podmnožina obrovské zásoby dlouhodobé paměti jedince, která je aktivována po danou omezenou dobu a udržuje v mysli dílčí informace související s aktuálními zájmy člověka, po dobu kolem 20 sekund. Tato doba stačí například na zapamatování a zapsání letového povolení. Pracovní paměť je velmi citlivá na vyrušování a při přesunu pozornosti jinam se její obsah velmi rychle vyprázdní. [6; 23]

Stres může ovlivnit pracovní paměť tak, že jedinec může mít problém provést jednoduchý výpočet nebo mít potíže s pochopením a vyhodnocením celkové situace. Vysoce procvičované dovednosti jsou méně náchylné na působení stresu, protože jsou z velké části automatizované a jsou méně závislé na pozornosti a pracovní paměti. U krizových situací se téměř vždy prolínají zautomatizované úkoly s novými situacemi, nejistotou a celkové nároky na pozornost jsou najednou velmi vysoké. Stresem pak mohou být tyto kognitivní schopnosti silně ovlivněny. [23] Proto jsou v letecké profesi tak důležitá periodická školení se znovuoživováním dříve nabytých znalostí, opakované řešení standardních a nouzových situací. [6]

2.2.3 Vliv na rozhodování

Udělat rychlé, a hlavně správné rozhodnutí může být v některých situacích životně důležité. Bohužel, většina takových mimořádných situací se nedá nacvičit a rozhodování může být pak silně ovlivněno stresem.

Výzkumy ukázaly, že rozhodování pod stresem je méně systematické, více uspěchané a nezvažuje se při něm tolik alternativních řešení. Rozhodování může být stresem silně ovlivněno, protože jak je již zmíněno výše, v důsledku stresu dochází k narušení pozornosti a paměti. Do určité míry se dá takovýmto situacím předejít tím, že piloti budou podobným kritickým situacím vystavováni a budou je trénovat. Piloti pak k řešení situace využijí dlouhodobou paměť a jejich rozhodnutí budou poměrně spolehlivá. [23]

I přesto, že piloti trénují postupy a rozhodnutí, která musí učinit, vždy bude daná nouzová situace jedinečná a bude zapotřebí učinit nová rozhodnutí, na základě daných podmínek a zde opět může zapracovat stres. [23]

2.2.4 Vliv na komunikaci

V letectví se ke komunikaci primárně používá letecká frazeologie. Je nezbytné, aby všichni, kdo se účastní letového provozu a používají rádio, ji ovládali. Během leteckého výcviku se můžeme setkat s tím, že žáci mívají problém ji plyně a bez obtíží ovládat. Letecká praxe také ukazuje, že v okamžik stisknutí tlačítka rádio na ručním řízení, může žák úplně zapomenout nebo ztěžka vyslovit naučenou frázi, kterou si ještě před letem na zemi několikrát zopakoval. I v rámci provedeného experimentu, se v okamžik vysílání do rádia u žáků zvýšila srdeční aktivita.



Obrázek 1: Při prvních letech do řízených prostorů může mít stres u pilotů velký vliv na komunikaci, zdroj: autorka

Efektivní komunikace je přitom velmi důležitým aspektem bezpečnosti v letectví. Probíhá nejen mezi piloty a řídicími letového provozu, ale také piloty a kopiloty, dalšími letadly a s pozemním personálem. Špatná komunikace v minulosti přispěla k řadě závažných nehod. [24]

Studie potvrzuje, že míra komunikace se při stresu snižuje, piloti mají tendenci mezi sebou méně komunikovat a vysílat méně informací. Stres ovlivňuje projev po stránce fonetické, akustické a lexikální. [23]

2.2.5 Vliv na orientaci v prostoru

Dezorientace v prostoru zahrnuje situace, kdy pilot správně nevnímá polohu nebo pohyby letadla, ho samotného, popřípadě jeho polohu vzhledem k ostatním letadlům. Pokud si pilot ztrátu orientace neuvědomí ihned, může to vést až ke ztrátě kontroly nad letadlem nebo ke srážce letadla se zemí. [25]

Pokud dojde k dezorientaci může stres ovlivnit pilota natolik, že nebude schopný danou situaci vyřešit. Může dojít například k tomu, že pilot svou pozornost upře pouze na přístroje nebo bude dělat takové úkony, které celou situaci zhorší. [25]

2.2.6 Vliv na učení

Vzhledem k zaměření práce je vhodné znát, jak stres ovlivňuje schopnost učit se. Během leteckého výcviku je tato schopnost klíčová, protože se od ní odvíjí délka výcviku, efektivnost a v neposlední řadě i množství vložených finančních prostředků.

Vztah mezi akutním stresem a schopností se učit je mnohem složitější, než se mnohdy zdá a stále v této oblasti zůstává mnoho otázek pro budoucí výzkum. Obecně se však dá říct, že nízká míra stresu může učení zefektivnit. Na druhou stranu vysoká míra akutního stresu tuto schopnost ztěžuje. Akutní stres také může mít dopad na kvalitu vzpomínek. Během stresové situace je myšlení méně flexibilnější a přechází k myšlení, které je více navyklé a zažité. Takové zpracovávání informací nemusí nutně ovlivňovat schopnost učit se, ale může ztížit učení se novým věcem. [26; 27]

2.3 Analýza studií zabývajících se měřením stresu

Na téma měření a hodnocení úrovně stresu byla již zpracována řada studií. Při výběru studií, které by mohly mít přínos k našemu tématu, zejména co se týče metodiky měření stresu, byl důraz kladen na studie, které:

- probíhaly na pilotech nebo řidičích motorových vozidel
- měření probíhalo za reálných podmínek nebo na simulátoru
- k měření stresu byla využita srdeční frekvence (TF)

U studií byla zejména posuzována metoda měření stresu. Podmínky pro výběr studií byly stanoveny tak, aby použitá metodika byla co nejblíží našemu tématu. Byly například vyloučeny studie, které iniciují stres pomocí účelných testů. V rámci práce se předpokládá využití nositelné elektroniky, proto pozornost nebyla věnována studiím, kde autoři hodnotí efektivitu měření stresu pomocí různých lékařských přístrojů, a naopak byla věnována studiím, ve kterých byl stres vyhodnocován podle srdeční frekvence.

Níže jsou uvedeny vybrané studie, které následně pomohly i při vytváření metodiky. U studií je popsán průběh měření a hlavní závěry, které přinesly. Shrnutí těchto závěrů je uvedeno v tabulce č. 1.

2.3.1 Fyziologické ukazatele zátěže v simulovaných letových úlohách

Z výsledků studie autorů Veltmana a Gaillarda je zřejmé, že srdeční frekvence a krevní tlak jsou ovlivněny obtížností pracovních úkolů. Své měření provedli na 14 pilotech, kteří na simulátoru odletěli několik úloh. Během letu měřili srdeční frekvenci, krevní tlak, dýchání a mrkání očí. Během letu měnili intenzitu pracovní zátěže tím, že pilotům přidávali úkoly nebo ztěžovali letové podmínky. Ukázalo se, že srdeční frekvence i krevní tlak se měnili v závislosti na měnící se obtížnosti úkolů. Dále zjistili, že mrkání očí bylo ovlivněno zrakovou zátěží úkolu, nikoliv pracovní náročností jako takovou. Když piloti museli zpracovat vizuální informace, snížila se u nich doba a počet mrkání. [28]

2.3.2 Hodnocení zátěže za letu: srovnání subjektivních a fyziologických měření

Autoři Lee a Liu zpracovali studii, ve které srovnávají objektivní a subjektivní měření stresu. Provedli experiment, při němž měřili pracovní zátěž u 10 pilotů během čtyř fází letu (vzlet, horizontální let, přiblížení na přistání a přistání). Výzkum opět probíhal na simulátoru, v tomto případě na simulátoru Boeing 747-400. K výzkumu použili hodnoty srdeční frekvence získané z EKG (objektivní měření) a NASA TLX dotazník (subjektivní měření), které porovnávaly. Nejvyšší srdeční frekvence byla zaznamenána během vzletu a přistání. Výsledky ukázaly, že mezi objektivním a subjektivním měření existuje závislost. [29]

2.3.3 Reakce srdeční frekvence na skutečný a simulovaný let v BA Hawk MK 51

Další studie se také zabývala účinky psychické zátěže na srdeční frekvenci. Do experimentu bylo zapojeno pět vojenských leteckých instruktorů a pět méně zkušených vojenských pilotů (kadetů) finského letectva. V rámci studie byly provedeny dva lety, první let proběhl na simulátoru BA Hawk MK 51 s minimálním přetížením a druhý let proběhl již reálně ve vzduchu na téže typu. Oba lety se skládaly ze stejných úloh – vzlet, ILS přiblížení za minimálních vizuálních podmínek (počáteční, střední a konečné přiblížení), přistávání od okamžiku vizuálního kontaktu s dráhou až po přistání a pojiždění. [30]

Při letech byla nepřetržitě měřena srdeční frekvence pomocí malého přenosného zařízení. Výsledky měření ukázaly, že významný nárůst srdeční frekvence byl jak u kadetů, tak i u instruktorů během vzletu. V simulátoru se srdeční tep během počátečního přiblížení trochu snížil a během středního přiblížení zvýšil. Od okamžiku, kdy piloti měli vizuální kontakt s dráhou se srdeční frekvence opět snížila a tato fáze se ukázala jako nejméně náročnou fází simulovaného letu. Srdeční tep se opět zvýšil během přistání, ale nepřekročil hodnoty naměřené při vzletu a ILS přiblížení. Mezi skupinami nebyly statistické rozdíly. Při reálném letu nebylo možné bezprostředně po vzletu pozorovat pokles tepové frekvence jako tomu bylo u letu na simulátoru. Změny během přiblížování a přistání pak byly patrnější u instruktorů. Nebyly prokázány statistické rozdíly srdeční frekvence mezi simulovaným a reálným letem. Studie předpokládá, že změny srdeční frekvence odrážejí změny v kognitivní zátěži. [30]

2.3.4 Analýza psychické zátěže pilotů během reálného letu s využitím srdeční frekvence a subjektivního měření

Tato studie z roku 2012 se zabývala mentální zátěží a psychickým stresem během letu a jejich vztahem se srdeční frekvencí. Opět porovnávala subjektivní hodnocení s objektivním měřením. Tři méně zkušené piloti provedli 12 reálných letů za VFR trvajících přibližně 60 minut s jednomotorovým letounem Socata TB-20 se zatahovatelným podvozkem. Každý pilot provedl 4 lety. Piloti byli držitelé PPL licence, jejich průměrný věk byl 21 let a průměrně měli nalétáno 77 hodin. Studie měla za cíl prozkoumat vztah mezi psychickou zátěží, stresem, tepovou frekvencí a výkonem pilota. [31]

Každý let se skládal z pěti fází (vzlet, stoupání, horizontální let, klesání, přistání), výkony pilotů byly posuzovány pro každou fázi zvlášť na základě letových parametrů, které byly zaznamenávány do zařízení umístěném v letounu (zařízení bylo vybaveno GPS a akcelerometrem). Pilotům byla konstantně po celý let měřena srdeční aktivita. Na rozdíl od předchozí studie zde piloti ještě během letu měli ihned po každé letové fázi verbálně ohodnotit, jak subjektivně vnímali zátěž na 9bodové stupnici. Tímto okamžitým hodnocením se měl eliminovat vliv času. Po každém letu piloti vyplnili NASA-TLX dotazník. Výsledky měření opět jako předchozí studie potvrdily úzký vztah mezi psychickou zátěží, stresem a tepovou frekvencí. Také potvrdily, že různé fáze letu vyvolávají jinou zátěž a stres. Výsledky opět ukázaly, že největší zátěž a stres zažívají piloti během vzletu a přistání. Výsledky měření míry

stresu také odpovídaly subjektivnímu hodnocení pilotů po každé letové fázi s údaji, které uvedli v dotazníku. [31]

2.3.5 Zlepšení vyhodnocování mentální zátěže pilota kombinovanými měřeními

Autoři studie opět zkombinovali objektivní a subjektivní přístup k měření mentální zátěže. Studie se zúčastnilo 12 zkušených pilotů, kteří měli provést sérii simulovaných letů složených ze vzletu, horizontálního letu a přistání. Jednalo se celkem o čtyři lety s různou úrovní obtížnosti. Obtížnost byla regulována informacemi, které se během horizontálního letu objevovaly na heap-up displeji, který museli piloti neustále sledovat. Ve fázi vzletu a přistání byly prováděny běžné letové operace. Charakter a průběh letů byli u všech pilotů stejné. [32]

Pilotům byla měřena přes EKG srdeční frekvence, variabilita srdeční frekvence, potenciály prostřednictvím EEG a sledoval se pohyb očí, mrkání a průměr zornice. K subjektivnímu měření byly použity NASA TLX dotazníky. [32]

Během méně náročných podmínek byla úroveň mentální zátěže nízká, s rostoucí obtížností se zvyšovala i mentální zátěž a byla patrná delší reakční doba. Variabilita srdeční frekvence, pohyb očí a potenciál reagovali na zvýšení mentální zátěže. U srdeční frekvence byla změna nevýrazná. Výsledky dotazníků se shodovaly s naměřenými hodnotami objektivního měření. [32]

2.3.6 Detekování stresu během řízení s použitím psychologických senzorů

Tato studie představuje metody pro sběr a analýzu dat a má určit úroveň stresu řidiče během řízení. Studie má přispět k vývoji systému, který by kontinuálně měřil stres u řidiče. Byla testována použitelnost fyziologického snímání pro určení stresu řidiče během řízení. Řidiči byli během řízení měřeni prostřednictvím EKG, EEG a byla zaznamenávána vodivost pokožky a dýchání. Řidiči absolvovali 24 jízd trvajících alespoň 50 minut. [33]

Výsledky ukazují, že u většiny řidičů právě vodivost kůže a srdeční frekvence nejvíce korelovala s úrovní stresu řidiče. Dlouhodobým cílem je online měření fyziologických reakcí řidiče. Prvními senzory, které by měly být integrovány do aut nebo nositelného zařízení dle této studie jsou vodivost pokožky a srdeční frekvence. Tato zařízení by mohla být použita v budoucích inteligentních dopravních systémech ke zlepšení bezpečnosti a k řízení informačních systémů ve vozidle ve spolupráci s řidičem. [33]

2.3.7 Shrnutí výsledků studií

Bylo zde představeno několik studií, které se zabývaly měřením stresu, jejich přehled je uveden v tabulce č. 1. Tyto studie mohou být využity k vytvoření vhodné metodiky pro zjišťování míry stresu pilota v reálném provozu v našem experimentu. Studie ukazují, že srdeční frekvence je vhodným ukazatelem stresu. Studie prokázaly závislost mezi objektivním a subjektivním měřením. Studie také naznačily, jaké lze očekávat výsledky v rámci některých letových fází.

Tabulka 1: Přehled studií zabývajících se měřením stresu

Studie	Účastníci studie	Prostředí	Subjektivní měření	Výsledky
[28]	piloti	simulátor	-	srdeční frekvence se mění se zátěží
[29]	piloti	simulátor	dotazník NASA TLX	prokázána závislost mezi subjektivním a objektivním měřením
[30]	piloti	simulátor realita	-	srdeční frekvence se mění se zátěží
[31]	piloti	realita	dotazník NASA TLX, vlastní dotazník	prokázána závislost mezi subjektivním a objektivním měřením, srdeční frekvence se mění se zátěží
[32]	piloti	simulátor	dotazník NASA TLX	prokázána závislost mezi subjektivním a objektivním měřením, nevýrazná změna srdeční frekvence při zátěži
[33]	řidiči	realita	vlastní dotazníky	srdeční frekvence se mění se zátěží

2.4 Přehled metod měření stresu

Technik používaných ke kvantifikaci míry stresu je celá řada. V prvním přiblížení můžeme rozlišit metody založené na fyziologických projevech stresu (biologický přístup) a na dotazníkových šetřeních (psychologický přístup). Obě cesty se však pochopitelně mohou kombinovat a vhodně doplňovat. [7]

Stres se na člověku projevuje řadou příznaků. Tyto příznaky můžeme rozdělit do několika kategorií – fyziologické, emocionální a behaviorální. [2]

Tabulka 2: Emocionální a behaviorální příznaky stresu [2]

Emocionální příznaky stresu	Behaviorální příznaky stresu
Náladovost	Nerozhodnost
Úzkost	Nepozornost
Uzavřenost	Vyhýbání se odpovědnosti
Zvýšená podrážděnost	Sklon k závislosti
Snížená soustředěnost	Neplnění úkolů

2.4.1 Subjektivní měření stresu prostřednictvím dotazníků

Příznaky stresu, které jsou uvedeny v tabulce č. 2 jsou objektivně špatně změřitelné. K jejich vyhodnocování se používají subjektivní metody, nejčastěji dotazníky. Nejrozšířenějším nástrojem tohoto typu je dotazník PSS (Perceived Stress Scale). Prostřednictvím několika otázek (10 nebo 14 otázek) se u respondentů hodnotí jejich míra stresu v posledním měsíci. [7] Další hojně využívaný dotazník je například PSQ (Perceived Stress Questionnaire). PSQ je dotazník složený z 30 otázek a stejně jako PSS se zabývá dlouhodobějším stresem z běžného života.

Pro vyhodnocení krátkodobého stresu je velice rozšířený NASA TLX dotazník. NASA TLX dotazník se používá pro subjektivní měření a hodnocení pracovní zátěže respondentů a je používán v různých odvětvích, hodnocení se provádí v rámci šesti kategorií jako mentální, fyzická a časová náročnost, úsilí, výkon a úroveň frustrace. Respondenti hodnocení provádí na intervalové škále. [8] Mohou být použity i dotazníky, které jsou speciálně sestaveny pro konkrétní výzkum.

2.5 Objektivní měření stresu nositelnou elektronikou

V tabulce č. 3 jsou uvedeny fyziologické příznaky stresu. Tyto příznaky lze objektivně změřit. Objektivní metody porovnávají naměřené veličiny během klidového stavu a při zátěži. [9]

Tabulka 3: Fyziologické příznaky stresu [9]

Fyziologické příznaky stresu
Pohyb očí/rozšíření zorniček
Vodivost pokožky
Teplota
Svalová tenze
Analýza tekutin
Analýza řeči
EEG
Frekvence dýchání
Zvýšená srdeční aktivita

Tyto parametry lze s využitím různých zařízení změřit. Vzhledem k zaměření práce budou uvažovány ty parametry, které lze změřit nositelnou elektronikou. Nositelná elektronika je elektronické zařízení, které bylo navrženo tak, aby mohlo být běžně nošeno člověkem. Je zde důležitý aspekt možnosti nošení zařízení upevněním na tělo. Mezi nejrozšířenější zástupce nositelné elektroniky patří chytré hodiny. V současné době je na trhu velké množství těchto produktů, které nabízejí řadu funkcí. [10] Mezi **zdravotní funkce**, které hodinky v současnosti nabízejí a o kterých má smysl uvažovat vzhledem k zaměření práce, patří měření:

- saturace krve
- EKG
- stresu
- srdečního tepu
- tělesné teploty

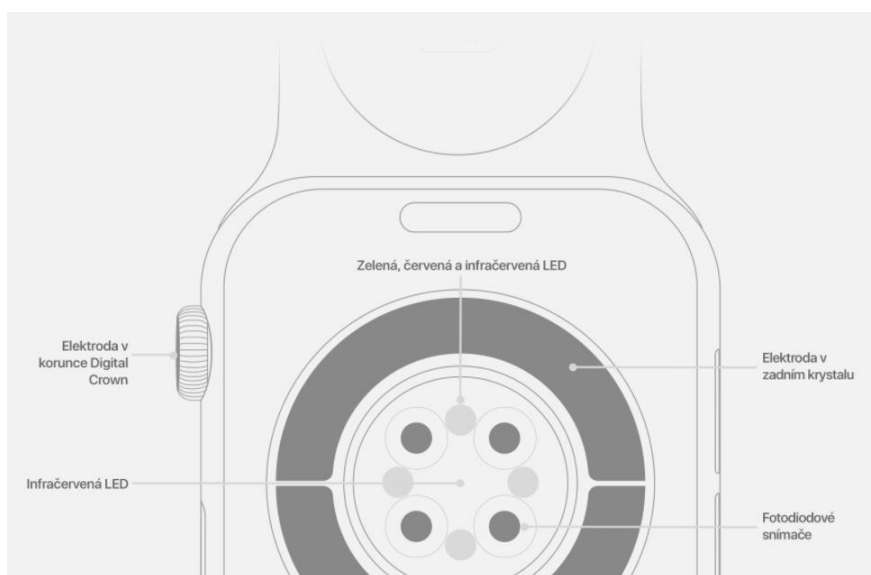
2.5.1 Saturace krve

Pokud je člověk ve stresu, v těle se začíná odehrávat řada procesů, které se projeví například zrychleným dýcháním, zvýšeným krevním tlakem a zvýšením srdeční frekvence tak, aby oběh krve a kyslíku v těle byl co nejefektivnější. Hodinky jsou schopné změřit aktuální saturaci krve v rámci jednoho krátkodobého měření nebo dlouhodobého měření, probíhajícího na pozadí.

Hodinky měří saturaci krve přes senzory umístěné na spodní straně. Senzory využívají tzv. fotopletysmografii (PPG). Tato technologie zakládá na skutečnosti, že krev odráží červené světlo, a naopak absorbuje zelené světlo. Konkrétně u měření saturace se využívá červených

LED diod, které prosvěcují zápěstí červeným světlem a fotodiody měří, kolik červeného světla se odrazilo. Data z navraceného červeného světla se pak využívají k určení přesné barvy krve, pomocí které je pak možné určit hodnotu nasycení krve kyslíkem. Čím světlejší krev je, tak tím více je nasycená kyslíkem, tmavší krev pak znamená menší hodnotu nasycení. [11]

U jednorázového měření saturace je dle návodu nutné postupovat tak, že jedinec bude v klidu, zápěstí bude ve vodorovné poloze a hodinky budou směřovat nahoru, v této klidové poloze je třeba zůstat 15 sekund. Mezi faktory, které toto měření mohou znemožnit patří tetování na zápěstí, mráz (ten může způsobit nízké prokrvení pokožky na zápěstí), pohyb, prsty v pěst a příliš vysoká srdeční frekvence (nad 150 tepů/min). Dlouhodobější měření probíhá na pozadí, to znamená, že hodinky měří saturaci automaticky, podle pohybu uživatele. Vyhodnocení probíhá v aplikaci v rámci dnů a týdnů. [12; 13]



Obrázek 2: Senzory na spodní straně hodinek [14]

2.5.2 EKG

Je v kardiologii základní vyšetřovací metoda, která měří aktivitu srdce. Měřením EKG můžeme získat záznamy o srdečním rytmu a frekvenci, které se dají využít k nalezení příznaků fibrilaci síní. Měření probíhá přes dvě elektrody – na zápěstí, ze spodní strany hodinek a dále je nutné mít přiložený prst druhé ruky k hodinkám. Při měření je dle návodu nutné být uvolněný, zbytečně se nehýbat a ruce mít položené na stole nebo na klíně. Tepová frekvence přes 150 tepů/min znemožňuje měření EKG, taktéž voda a pot mohou způsobit chyby měření. [15]

2.5.3 Měření stresu

Hodinky nabízejí i funkci měření stresu. Stres vyhodnocují v rámci dlouhodobého měření, kdy na pozadí během dne a týdnů měří aktivitu srdce. Údaje se poté zpracují v aplikaci, ve které také uživatel zjistí míru stresu.

2.5.4 Měření srdeční frekvence

Srdeční frekvence udává počet srdečních kontrakcí za minutu. Z mnohých studií a literatury vidíme signifikantní vztah mezi stresem a rostoucí tepovou frekvencí. [16] K měření srdeční frekvence hodinky opět používají metodu PPG, obdobně jako u měření saturace krve. V tomto případě hodinky vyzařují zelené světlo, které svítí do pokožky a odrazí se zpět na snímač, umístěný rovněž ze spodní strany hodinek. Hodinky měří změnu koncentrace červených krvinek při rozšiřování a smršťování cév způsobené srdeční činností – rozšířené cévy absorbují více zeleného světla, smrštěné cévy absorbují méně zeleného světla. Snímač měří odražené světlo a softwarový algoritmus detekuje na základě intenzity světla tepovou frekvenci. [15]

Přesnost PPG metody se zpravidla pohybuje nad 95 % - informace je převzata ze studie, která se zabývala přesností PPG metody na Corsano Cardio Watch 287 a porovnávala tyto hodnoty s hodnotami naměřenými elektrokardiografem tedy EKG. PPG metoda spoléhá na absorpci světla kůží, mohou se tedy přirozeně vyskytnout některé potenciální komplikace. Například tetování nebo tmavší barva kůže může celkem spolehlivě blokovat světlo. Přesné měření může také ztížit i pohyb ruky, chladné počasí, kvůli zúžení malých cév nebo způsob nošení – příliš volné utažení může vést k nepřesnému měření, naopak silné utažení může negativně ovlivnit cirkulaci krve v ruce. Uváděná přesnost měření PPG metodou podle studie z roku 2016 u staršího modelu Apple Watch byla 91 %. [15; 17; 18]

2.5.5 Tělesná teplota

Při stresu dochází ke zvýšené produkci tepla a zvýšení tělesné teploty. [19] Chytré hodinky využívají teplotních senzorů, které měří teplotu na zápěstí. Ta může být ovlivněna prostředím nebo denní aktivitou. Některé hodinky jsou schopné kontinuálně měřit teplotu i přes den, jiné měří jen v noci během spánku. Při výběru hodinek je také vhodné si ověřit, zda tato funkce dostala potřebný certifikát, zvláště pak pokud se jedná o novou funkci. [20]

Měření tělesné teploty chytrými hodinkami je poměrně nová funkce a v současné době je stále ve vývoji, nicméně do budoucna by tato funkce mohla mít potenciál jako další indikátor stresu.

2.5.6 Shrnutí funkcí chytrých hodinek

Další přínos by mohly mít funkce jako měření krevního tlaku nebo cukru v krvi. Použití těchto funkcí u chytrých hodinek je v současnosti poměrně nové, a tedy i stále ve vývoji. Některé současné hodinky funkci měření krevního tlaku již nabízejí, ty z nich, které měří tlak nejspolehlivěji využívají klasický princip – měření tlaku pomocí nafukovací manžety. Nicméně opět tato funkce pracuje v rámci příležitostných měření, a ne kontinuálního sběru dat v rámci určité doby, v našem případě během letu. Měření hladiny cukru v krvi, ale ne přímo z krve je další funkce, o kterou mohou být hodinky v budoucnu rozšířeny.

Shrnutí všech výše zmíněných funkcí je uveden v tabulce č. 4. Je zde uvedeno, se kterou funkcí se pracuje v rámci experimentu a také důvody, které znemožňují použití dalších funkcí.

Se současně dostupnými možnostmi se jeví měření stresu přes srdeční frekvenci jako nejschůdnější varianta, co se týče objektivně měřitelných veličin. Pokud by se současné funkce posunuly zejména ve směru kontinuálního a přesného měření, existoval by zde pak potenciál k jejich využití i v rámci budoucího vývoje aplikace. Stanovení míry stresu by pak mohlo probíhat za pomoci více indikátorů.

Tabulka 4: Shrnutí funkcí chytrých hodinek

Měření	Využití v rámci experimentu	Důvod
saturace krve	ne	nemožnost kontinuálního měření
EKG	ne	obě ruce musí být přiloženy k hodinkám, nemožnost kontinuálního měření
měření stresu	ne	měření probíhá dlouhodobě v rámci dnů a týdnů, nevyhodnocuje krátkodobý stres
srdeční frekvence	ano	poskytuje okamžité údaje a tím i snadné vyhodnocení, měření je jednoduché a dostatečně přesné
tělesná teplota	ne	nepřesné měření
krevní tlak	ne	nemožnost kontinuálního měření, pouze jednorázové měření
cukr v krvi	ne	tato funkce momentálně není dostupná u žádných chytrých hodinek

2.5.7 Zvolená nositelná elektronika v rámci experimentu

V rámci experimentu vyhodnocuji úroveň stresu pomocí údajů z hodinek Apple Watch Series 6. Tyto hodinky se řadí do běžně dostupné nositelné elektroniky a na trhu jsou od roku 2020. Hodinky obsahují téměř všechny výše zmíněné funkce, kromě měření tělesné teploty, krevního tlaku a cukru v krvi. Nicméně dle dostupných informací, výrobce v současné době pracuje na tom, aby mohly být budoucí modely o tyto funkce rozšířeny. Ovládání hodinek je jednoduché, intuitivní a rychlé. Tyto vlastnosti přišly vhod zejména při reálném měření během experimentu. Také informace zobrazované hodinkami jsou přehledné a snadno čitelné.

Vzhledem k dostupným možnostem je k experimentu použito pouze toto zařízení. Nicméně dle dostupných údajů o přesnosti měření tohoto zařízení (uváděná přesnost měření PPG metodou pro starší model Apple Watch z roku 2016 byla 91 %) [18] a zkušeností z předchozí diplomové práce, kde taktéž byla měřena tepová frekvence nositelnou elektronikou je předpoklad, že jedno zařízení bude dostačující. [9]

3 Metodika pro zjišťování míry stresu pilota v reálném provozu

Jedním z cílů práce je navrhnout vhodnou metodiku pro zjišťování míry stresu pilota v reálném provozu a pokusit se realizovat experiment k ověření navrhovaného postupu. Mimo to by tato metodika mohla být později využita při vytváření mobilní aplikace, která by pomáhala zefektivnit pilotní výcvik. Aplikace by byla schopna pilotního žáka upozornit na to, že jeho míra stresu překročila určitou hranici, kdy už je omezena jeho schopnost učení se a výcvik tak přestává být efektivní. Aplikace bude primárně zaměřena na detekci hladiny stresu při motorovém výcviku v rámci kvalifikace ULL a PPL.

K vyhodnocení míry stresu byla použita srdeční frekvence. Dle uvedených studií vidíme (viz. tabulka č. 1 – Přehled studií zabývajících se měřením stresu), že srdeční frekvence je spolehlivý objektivní indikátor stresu. Zároveň poskytuje okamžité údaje a není třeba dlouhodobého měření k získání dat a vyhodnocení stresu. Měření je také jednoduché a dostupné u většiny nositelné elektroniky. Mezi nevýhody můžeme zařadit skutečnost, že se zvyšuje s rostoucí fyzickou námahou. Proto by měření stresu právě pomocí srdeční frekvence nebylo vhodné například u akrobatických letů, kdy se zvyšuje i fyzická námaha a indikace stresu by tedy byla zkreslená. Podle provedené analýzy současných funkcí chytrých hodinek je také zřejmé, že je to i jediný vhodný ukazatel pro naše podmínky použití (viz. tabulka č. 4 – Shrnutí funkcí chytrých hodinek). Je také nutné brát ohled na to, aby metodika měření stresu byla jednoduchá a dostupná, protože tyto faktory jsou důležité pro použití metodiky v praxi a také pro budoucí vývoj aplikace a její případné rozšíření mezi piloty.

3.1 Podmínky obecně použitelné metodiky

Při vytváření metodiky měření stresu pilota v reálném provozu se vycházelo z poznatků, které přinesly předchozí studie, jež se tímto tématem zabývaly a také diplomová práce pana Muschalika. [9] Bylo stanoveno několik stěžejních bodů, kterými se bylo nutné při vytváření metodiky zabývat:

- koncipování letu
- podmínky, za kterých mají být lety provedeny
- zkušenosti pilotů účastnících se měření
- subjektivní vnímání pilotů
- měření a analýza naměřených hodnot

Dále budou jednotlivé body více popsány a budou definovány obecné podmínky, za kterých by měla být metodika provedena.

3.1.1 Koncipování letu

Lety v rámci měření by měly být koncipovány tak, aby je bylo možné identicky opakovat na více účastnících a zároveň za srovnatelných letových podmínek tak, aby získané

hodnoty mohly být mezi sebou porovnávány. Také by se nemělo jednat o lety akrobatické. Je tedy vhodnější, aby takové lety probíhaly v blízkosti letiště, jelikož u vzdálenějších nebo navigačních letů je náročnější zachovat stejné nebo srovnatelné meteorologické a provozní podmínky, proto i v rámci experimentu byly lety koncipovány tak, ať probíhají v blízkosti letiště. Lety by měly být provedeny na letounech, na které jsou piloti přeškoleni, jsou s nimi a jejich letovými vlastnostmi obeznámeni a které již běžně létají tak, aby pilotům nezpůsobovaly zvýšenou zátěž a nezkreslovaly tak výsledky měření. Lety v rámci metodiky by neměly být prováděny na letounech, na které se piloti teprve přeškolují.

3.1.2 Meteorologické a provozní podmínky

Podmínky, které se mohou během letu měnit a které by mohly ovlivnit výsledky měření, jsou zejména meteorologické a provozní. U meteorologických podmínek by měly být zváženy zejména směr a rychlost větru, výška a pokrytí oblohy oblačností, doba provedení letu a dohlednost. Provozní podmínky se pak týkají letiště, na kterém budou lety uskutečňovány, je třeba brát v úvahu délku a sklon dráhy, terén v okolí letiště a hustotu místního provozu. Lety by měly být prováděny na letištích, která jsou pro účastníky známá a na kterých běžně létají. Zároveň by se nemělo jednat o letiště, která by svou polohou nebo rozměry kladla na piloty nepřiměřené nároky. Tak jako u typů letounů zde opět platí, že neznámá a náročná letiště pro účastníky měření by mohla negativně ovlivnit měření.

3.1.3 Zkušenosti pilotů účastnících se měření

Piloti, kteří se budou účastnit měření by měli mít srovnatelné zkušenosti, tzn. nálet a dosažené kvalifikace. Nelze porovnávat například žáka, který je v pilotním výcviku a jeho instruktora. Oba budou vnímat různé stresory odlišně a na každého bude stres za letu působit jinak.

Zároveň bude vhodnější lety provádět se žáky. A to zejména proto, že je u nich jednodušší vyvolat stres než u pilotů. Mimo to, pokud se nejedná o sólové lety, je s nimi na palubě i instruktor, který může lépe posoudit, jak žák letěl, jakých se dopouštěl chyb a kdy se jich začal dopouštět. Tyto znalosti pak pomohou určit snesitelnou hranici stresu.

3.1.4 Subjektivní vnímání pilotů

Předchozí studie ukazují, že mimo objektivní měření stresu bylo použito dotazníků pro zjištění subjektivního vnímání jedinců. Subjektivní pocity je také nutné brát na vědomí, protože na každého působí stres jinak a každý může jinak vnímat různé stresory. Proto je vhodné, aby k získání subjektivního vnímání byly použity dotazníky, nebo rozhovory s piloty.

Z tabulky č. 1 vyplývá, že v 50 % vybraných studií bylo použito dotazníků NASA TLX, případně vlastních dotazníků. Dotazníky NASA TLX jsou univerzální dotazníky, které byly vyvíjeny po několik let za účelem posouzení pracovní zátěže a byly použity v mnohých studiích. Jak již bylo zmíněno, jsou to dotazníky univerzální, je tedy vhodné z nich vycházet, ale zároveň si otázky upravit tak, aby měly vypovídající hodnotu pro dané podmínky použití. Jak později ukázal i experiment, v dotaznících je vhodné pokládat zejména tyto otázky: jak psychicky byl

náročný celý let, jak se účastníci měření cítí být unavení po daném letu, jak je vyčerpal, zda by byli schopni pokračovat v dalších letech. Tyto otázky mají vyšší vypovídající hodnotu k finálnímu určení hranice míry stresu.

3.1.5 Měření a analýza naměřených hodnot

K měření srdeční frekvence jsou použity chytré hodinky. Při výběru chytrých hodinek by měl být důraz kladen zejména na přesnost měření srdečního tepu. Před zahájením samotného letu je nutné se seznámit s instrukcemi nošení hodinek a přesvědčit se, zda jsou správně nasazené a upevněné. V průběhu měření je pak vedle zaznamenávání srdeční frekvence potřeba zároveň zaznamenávat i letěnou trať. Trať lze zaznamenat taktéž hodinkami. Při vyhodnocování výsledků to umožní jednodušší identifikaci, v které fázi letu se srdeční frekvence měnila. Při současném použití kamery i se zvukovým záznamem komunikace v kokpitu je pak možné přesněji určit vlivy, které se podílely na změně tepové frekvence a celkově toto použité vybavení umožní lepší monitorování letu a získání většího přehledu o průběhu letu.

Na začátku letu je nutné stanovit referenční hodnotu tepové frekvence, ke které se budou vztahovat ostatní naměřené hodnoty. Tato referenční hodnota by měla být stanovena během klidného letu, kdy pilot není rušen provozními nebo meteorologickými vnějšími vlivy a nejsou na něj kladeny žádné nároky (jedná se například o fázi letu, kdy pilot je mimo letištní okruh, neletí proti slunci, nemusí se intenzivně soustředit na pokračování letu nebo nemusí komunikovat). Poté už mohou následovat ostatní letové úlohy.

Hodinky by měly během letu zaznamenávat srdeční frekvenci, letěnou trať a čas. Záznam z letu je poté získán tak, že v průběhu letu je ukládán do hodinek, ze kterých se pomocí Bluetooth přenese do standardní aplikace od výrobce. Záznam může být vyhodnocen přímo zde nebo data mohou být přenesena do programu Excel. V programu Excel je vyhodnocován průběh srdeční frekvence v čase. K tomuto průběhu je nutné připojit i záznam letěné trati v daném čase (zisk záznamu trati v rámci našeho experimentu je konkrétněji popsán v kap. 4.4). Čas je zde sjednocující prvek, podle kterého můžeme přesně přiřadit průběh srdeční frekvence k letěné trati. A s pomocí kamerového a zvukového záznamu tak přesně určit okolnosti, které způsobily změny srdeční frekvence.

Z průběhu srdeční frekvence se poté určí maximální, minimální hodnoty a průměrná tepová frekvence v rámci jednotlivých úloh letu. Tyto hodnoty se poté porovnají s referenční hodnotou. Na základě těchto výsledků můžeme určit procentuální změny srdečního tepu v průběhu letu. Tyto objektivní hodnoty mohou být poté porovnány se subjektivním hodnocením pilotů.

Byly zde popsány obecné podmínky, za kterých by mělo měření míry stresu probíhat. Tyto podmínky byly sestaveny tak, aby umožnily získat co nejvíce srovnatelných údajů. Pokud by podle nich nebylo postupováno, tak hodnoty získané měřením by nebylo možné mezi sebou porovnávat, protože podmínky, za kterých byly získány, byly natolik odlišné, že by toto srovnání neumožnily. V následující kapitole bude tato metodika aplikována a ověřena reálným provozem.

4 Ověření metodiky experimentem

V rámci experimentu byly provedeny čtyři stejné lety, které se skládaly z několika letových úloh. Každý let provedl jiný pilot. Tyto úlohy byly sestaveny tak, aby braly ohled na výše zmíněné předpoklady. Lety byly pro všechny účastníky stejné a probíhaly za srovnatelných podmínek.

Všechny lety se uskutečnily na letišti Kroměříž LKKM na ultralehkém letounu ALTO 912 TG (obrázek č. 3). Všichni piloti účastníci se experimentu na tomto letišti létají běžně, jsou s ním obeznámeni tak jako s typem letounu. Letoun ALTO je ultralehký celokovový dolnoplošník s obdélníkovým křídlem, který je svými vlastnostmi vhodný jak pro výcvik, tak pro běžné rekreační létání a je na kroměřížském letišti hojně používán, proto tento typ byl zvolen v rámci experimentu. Letiště Kroměříž je neveřejné vnitrostátní letiště pro provozní použitelnost VFR den s dráhou 02/20 délky 770 m a šířky 30 m. Rozměry letiště a jeho okolí jsou tedy vhodné pro uskutečnění experimentu.



Obrázek 3: Ultralehký letoun ALTO 912 TG na LKKM, zdroj: autorka

4.1 Průběh letu

Let v rámci experimentu se skládal ze série úloh a trval zhruba 25 minut. Volba právě těchto úloh umožnila provést let jen v rámci ATZ, čímž se zvýšila šance na zachování stejných meteorologických a provozních podmínek po celou dobu letu, flexibilnější plánování letů a stejný průběh letu. Piloti byli před letem obeznámeni s tím, jak bude let probíhat a jaké úlohy budou provádět. Tyto úlohy jsou součástí leteckého výcviku v rámci kategorie ULL. Úlohy byly zvoleny proto, že již ve zmíněných studiích při nich došlo k nárůstu zátěže. Také umožňují opakovatelnost a lze je mezi sebou porovnávat.

Let začíná letem do prostoru v délce trvání zhruba 8 minut. Během této doby je snahou maximální omezení vnějších rušivých vlivů a získání klidové tepové frekvence za letu jako referenční hodnoty, ke které se budou vztahovat odchylky tepové frekvence v průběhu letu. Klidová tepová frekvence za letu může být vyšší oproti klidové tepové frekvenci na zemi. To může být dáno působením vnějších podmětů nebo pozitivní motivací, těšením se na let a podobně. Proto byla volena referenční hodnota klidové tepové frekvence právě tepová frekvence za letu.

Poté let pokračuje zpět k letišti a pilot se zařadí do první okružové zatačky a provede standardní okruh zakončený letným přistáním a vzletem. Dále následuje další okruh, nyní už s nácvikem nouzového přistání s motorem pracujícím na volnoběh z polohy po větru zakončené opět letným přistáním a vzletem. Po vzletu pilot stoupá zhruba do 2 000 ft nad letiště, nyní už následuje úplné vypnutí motoru a nácvik nouzového přistání s nepracujícím motorem. Touto úlohou je let zakončen. Pilot tedy provedl celkem tři přistání, první přistání bylo standardní, druhé byl nácvik nouzového s motorem na volnoběh z polohy po větru a třetí přistání nácvik nouzového s nepracujícím motorem, pro názornost jsou tyto činnosti shrnuty v tabulce č. 5.

Tabulka 5: Jednotlivé letové úlohy v rámci experimentu

Úlohy	Činnost	Doba trvání
1.	let do prostoru ke stanovení referenční hodnoty klidové tepové frekvence za letu, úloha končí zařazením se do 1. okružové zatačky	8'
2.	standardní okruh zakončený letným přistáním a vzletem	5'
3.	nácvik nouzového přistání s motorem pracujícím na volnoběh z polohy po větru	5'
4.	nácvik nouzového přistání s vypnutým motorem	5'

U takto zvoleného pořadí se předpokládá, že míra stresu u pilotů bude s každou úlohou vyšší. Let do prostoru, tedy první úloha je zařazena k získání hodnot srdeční frekvence, které odpovídají obvyklé úrovni stresu za letu. Tato hodnota bude stanovena jako referenční hodnota tepové frekvence. Druhá úloha je klasický okruh, zde se předpokládá mírné navýšení srdeční frekvence oproti referenční hodnotě. Třetí úloha je nácvik nouzového přistání s motorem pracujícím na volnoběh. Tato úloha by měla u pilotů způsobit vyšší nárůst stresu oproti předchozím úlohám. Poslední úlohou je nácvik nouzového přistání s vypnutým motorem, zde se předpokládá nejvyšší míra stresu. Úlohy jsou poskládány tak, aby na sebe plynule navazovaly a zároveň je toto pořadí vhodné i pro žáky, kteří se experimentu také účastnili.

Snahou bylo, aby všichni účastníci experimentu měli stejné letové podmínky zejména meteorologické a provozní. Proto lety byly uskutečňovány pouze za vhodných meteorologických podmínek a ve dnech, kdy je na kroměřížském letišti menší provoz. Do kokpitu byla umístěna kamera, jejíž záznam byl poté použit ke kontrole průběhu letu. Kamera byla umístěna za pilota tak, aby mohla snímat celou palubní desku a zároveň byla ve směru pohledu pilota. Kamera zároveň pořizovala i zvukový záznam komunikace pro ucelenější

přehled o letu. Tato zařízení nijak nenarušovala pilotovu pozornost. Na obrázku č. 4 můžeme vidět umístění kamery a její záběr.



Obrázek 4: Záběr z kamery umístěné v kokpitu, zdroj: autorka

4.2 Piloti účastníci se měření

S ohledem na potenciální využití metodiky byl experiment realizován jak u žáků letecké školy, tak i u pilotů. První dva lety provedli žáci, další dva lety provedli piloti. Všichni tito žáci byli tou dobou ve výcviku pro získání kvalifikace pilota ultralehkých letounů a všichni byli ve srovnatelné fázi leteckého výcviku. Měli tedy velmi podobné zkušenosti, nálet a počet přistání. Byl to také jejich první pilotní výcvik, žádné další letecké kvalifikace neměli. Díky tomu, jak je let v rámci experimentu koncipován, byl výběr žáků omezen na ty, kteří již měli za sebou minimálně úlohu číslo 9 výcviku pro kvalifikaci pilot ultralehkých letounů, a tedy let v rámci experimentu jim zapadal do výcviku. [35] Všichni žáci účastníci se experimentu měli také už za sebou samostatné lety po okruhu. Lety byly provedeny s instruktorem na palubě. Žáci s danými instruktory létali již od začátku výcviku, takže na ně byli zvyklí a jejich přítomnost je nerozrušovala.

4.3 Použití dotazníků

Pro subjektivní vnímání zátěže pilotů byly použity dotazníky a rozhovory s piloty. Dotazníky piloti vyplňovali jak před, tak po letu. Dotazníky před letem byly dva. První z nich zjišťoval údaje o osobnostech pilotů, jejich leteckých zkušenostech a jejich vnímání stresu při

různých úlohách, tyto otázky se týkaly úloh, které jsou právě letěny během experimentu. Vzhledem k tomu, že lety probíhaly na ultralehkém letounu jsou otázky na počet hodin a startů vztaženy k této kategorii. Pro posouzení ostatních leteckých zkušeností, je v dotazníku otázka s volnou odpovědí, právě pro vypsání dalších dosažených kvalifikací. Piloti také v dotazníku uvádějí datum posledního letu. Tento faktor také může drát roli na provedený let a posuzování stresu (dotazník je uveden v příloze 1). Druhý dotazník byl PSS dotazník (příloha 2), který měl posoudit míru stresu u pilotů v posledním měsíci. [34]. Dotazníky vycházely i z předchozí diplomové práce pana Muschalika. [9]

Po letu piloti opět vyplnili dotazník, který se týkal toho, jak na sobě během letu v průběhu různých fází vnímali stres. Každou úlohu měli ohodnotit na stupnici od 1 do 10, přičemž 10 byla jako nejvíce stresující (dotazník je uveden v příloze 3). Hodnocení provedli také instruktoři. Instruktoři hodnotili především to, jak vnímali stres u žáků. Výsledky subjektivního měření byly porovnány s hodnotami srdeční frekvence naměřenými hodinkami.

4.4 Zpracování dat

Po vyplnění dotazníků a nainstalování výše zmíněných zařízení, byly pilotům dle pokynů výrobce nasazeny hodinky a zahájeno měření tepové frekvence. Hodinky zaznamenávaly čas, srdeční frekvence a letěnou trať. Data z hodinek byla poté přenesena přes Bluetooth do standardní aplikace výrobce „Kondice“ a poté byla z aplikace exportována do programu Excel. Trať byla vizualizována pomocí frameworku Leaflet a OpenStreetMap.



Obrázek 5: Správné umístění a utažení hodinek je důležité pro získání přesných hodnot srdeční frekvence, zdroj: autorka

4.5 Pilot č. 1

4.5.1 Informace o posádce

První let, který se v rámci měření uskutečnil, provedl žák ve výcviku. V dotazníku uvedl, že s létáním před tímto výcvikem neměl žádné zkušenosti. Tou dobou měl nalétáno celkem 19 hodin a 127 startů. Poslední let provedl 07.04.2022, tedy 5 dní před naším letem v rámci experimentu.

Tabulka 6: Informace o pilotovi č.1

Věk	48
Žák ve výcviku	ano
Hodinový nálet v rámci ULL	19
Počet startů v rámci ULL	127
Datum posledního letu	07.04.2022
Další dosažené kvalifikace	-

Žák v dotazníku před letem uvedl, že jej při létání neovlivňuje stres z každodenního života. Dále uvedl, že při vzletu, přistání a při nácvicích nouzových přistání stres nepocítuje. Přítomnost instruktora na palubě na něj nemá vliv. V poslední otázce, která se týkala toho, zda na něj má vliv, se kterým instruktorem letí, uvedl že ano. V dotazníku PSS získal 8 bodů, dle bodové škály to znamená, že v posledním měsíci pocítuje pouze nízký stres.

4.5.2 Meteorologické a provozní podmínky letu

Let probíhal za jasného počasí. Aplikace Windy udávala pro město Kroměříž rychlost větru 3 kt ze směru 300°. Teplota vzduchu byla 5 °C, tlak 1020 hPa. Byly také zaznamenány zprávy METAR z letiště Brno/Tuřany LKTB.

```
LKTB 120600Z 32003KT CAVOK 02/M03 Q1020 NOSIG  
LKTB 120630Z VRB02KT CAVOK 04/M03 Q1021 NOSIG
```

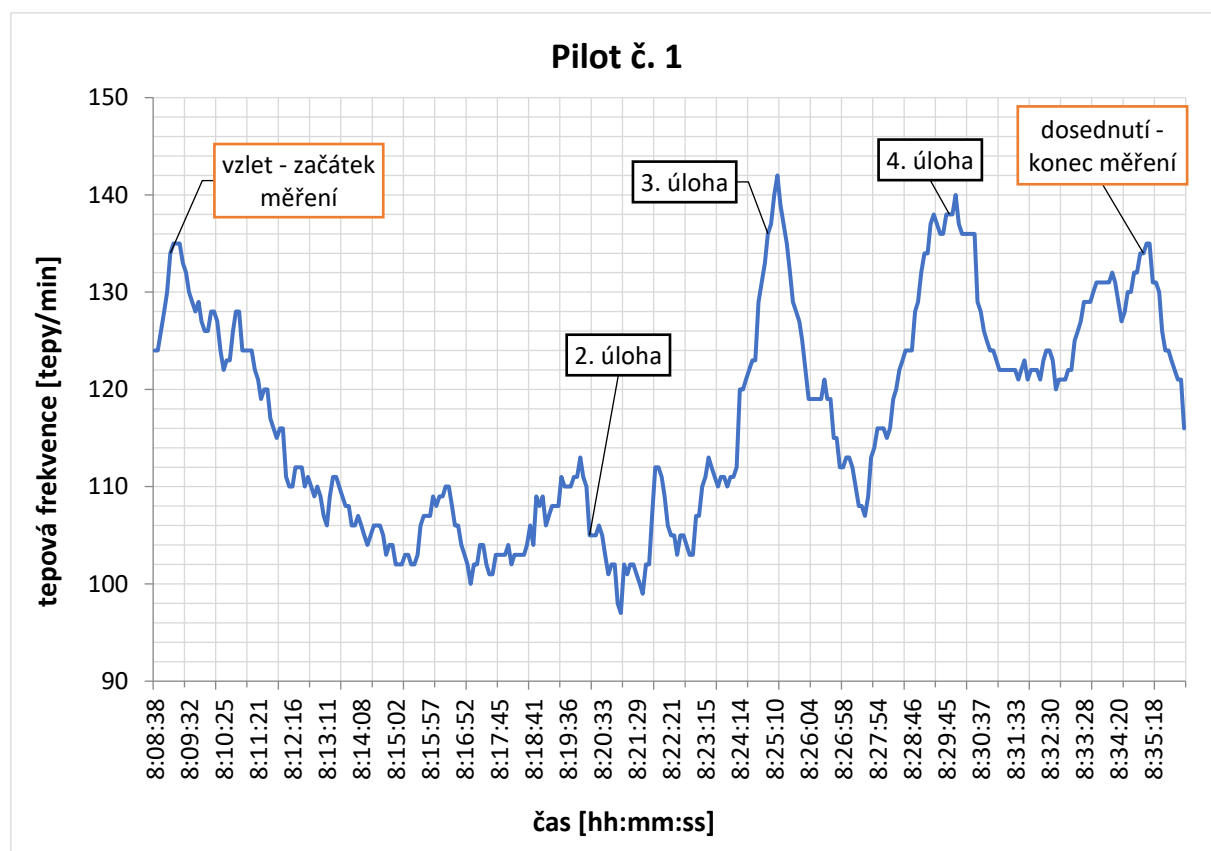
V rámci první a druhé úlohy došlo k odletu letounu z letiště a průletu dalšího letounu místní ATZ. Tyto provozny neměly na měření vliv. Po dokončení druhé úlohy došlo k poškození kamerového záznamu, proto nemohl být přesně zaznamenán provoz, který se v ATZ odehrával během třetí a čtvrté úlohy, nicméně dle pozorování ze země z letiště v tuto dobu žádné letadlo neodletělo ani nepřiletělo.

4.5.3 Průběh letu

Let byl zahájen v 08:09 SELČ vzletem z dráhy 20. Poté následoval let do prostoru do západní části ATZ Kroměříž k získání referenční hodnoty klidové tepové frekvence za letu. Poté následovala druhá úloha, která začala zařazením se do první okružové zatáčky levého okruhu 20. Byl proveden klasický okruh a druhá úloha byla zakončena letmým přistáním a vzletem. V rámci třetí úlohy žák provedl nácvik nouzového přistání s motorem z okruhu a v rámci poslední úlohy byl nad letištěm vypnut motor a žák provedl nácvik nouzového přistání bez motoru. Záznam srdeční frekvence v rámci celého letu je na grafu č.1. Na grafu je

označen začátek a konec letu, respektive měření a také jednotlivé úlohy. V tabulce č. 7 jsou zaznamenány přesné časy zahájení a konce úloh.

Graf 1: Srdeční frekvence v průběhu letu pilota č. 1



Tabulka 7: Zahájení a ukončení jednotlivých úloh letu pilota č. 1

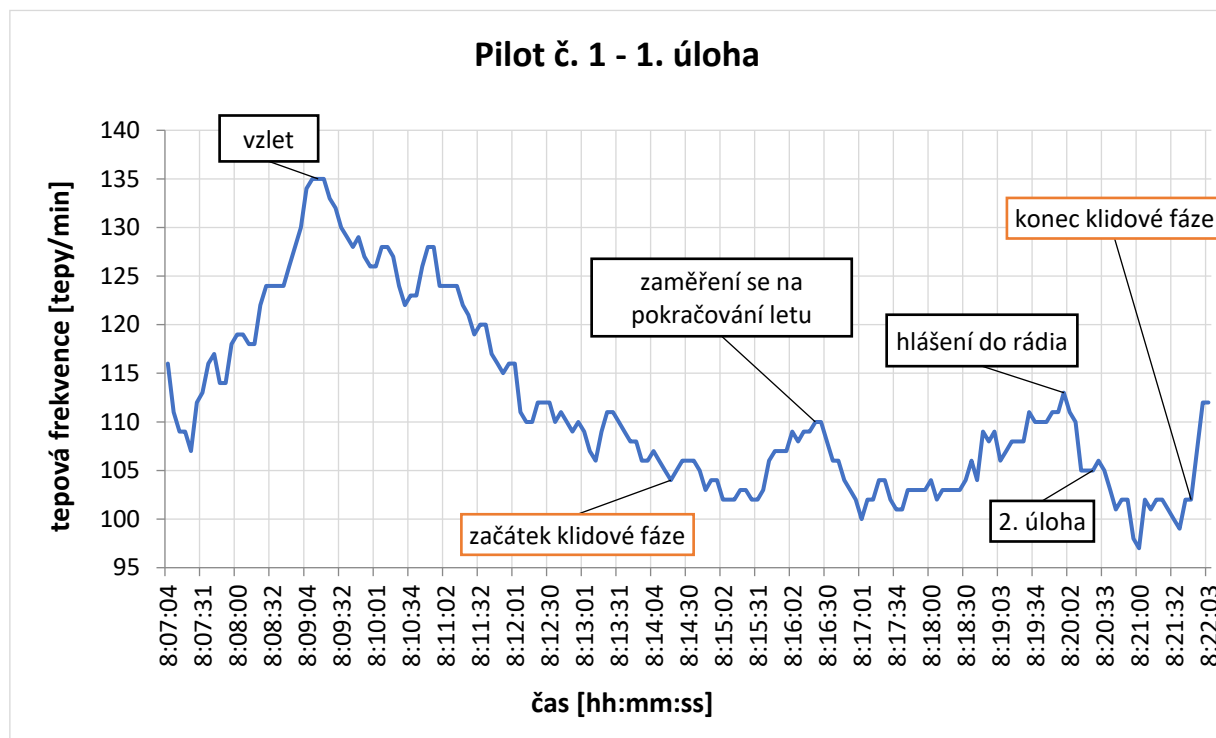
Pilot č. 1				
měření probíhalo v čase: 08:09:23 - 8:35:00				
	zisk referenční TF	2. úloha	3. úloha	4. úloha
začátek úlohy	8:14:18	8:20:36	8:25:00	8:29:50
konec úlohy	8:21:46	8:24:54	8:29:40	8:35:00

4.5.3.1 Pilot č. 1 – 1. úloha

Tato úloha začala vzletem v čase 08:09 SELČ z dráhy 20 a po vzletu žák pokračoval pravou zatáčkou do prostoru západně od Kroměříže. Během této části letu žák s instruktorkou pokračovali letem po západní části ATZ nad město Chropyn, odkud se poté vrátili nad letiště. Na grafu č. 2 můžeme vidět, že tepová frekvence se pomalu snižovala až do začátku 2. úlohy. Dále můžeme na témže grafu vidět dvě znatelně zvýšené hodnoty srdeční frekvence, a to v časech 08:16 a 08:19. Dle záznamů z kamery ve chvíli prvního navýšení frekvence žák konzultoval s instruktorkou pokračování letu a zařazení do okruhu. Druhé navýšení pak odpovídá chvíli, kdy žák byl nad letištěm a hlásil do rádia zařazení do okruhu.

Během této úlohy byla stanovena referenční hodnota klidové tepové frekvence za letu na 104 tepů/min. Začátek a konec klidové fáze, tedy fáze, ze které byla tato referenční hodnota získána je označena taktéž v grafu č. 2. Ukončení klidové fáze se v tomto případě nevztahuje k ukončení první úlohy, ale až k opětovnému nárůstu srdeční frekvence během druhé úlohy, a to pro získání většího počtu neovlivněných hodnot. Tuto úlohu žák v dotazníku po letu hodnotil na škále vnímání stresu jako 4/10, tedy jako nejstresovější úlohu z celého letu. Což bylo způsobeno tím, že žák se cítil nervózně právě ze samotného měření. K výpočtu referenční hodnoty je v tomto případě použit medián, který je méně ovlivněn extrémními hodnotami.

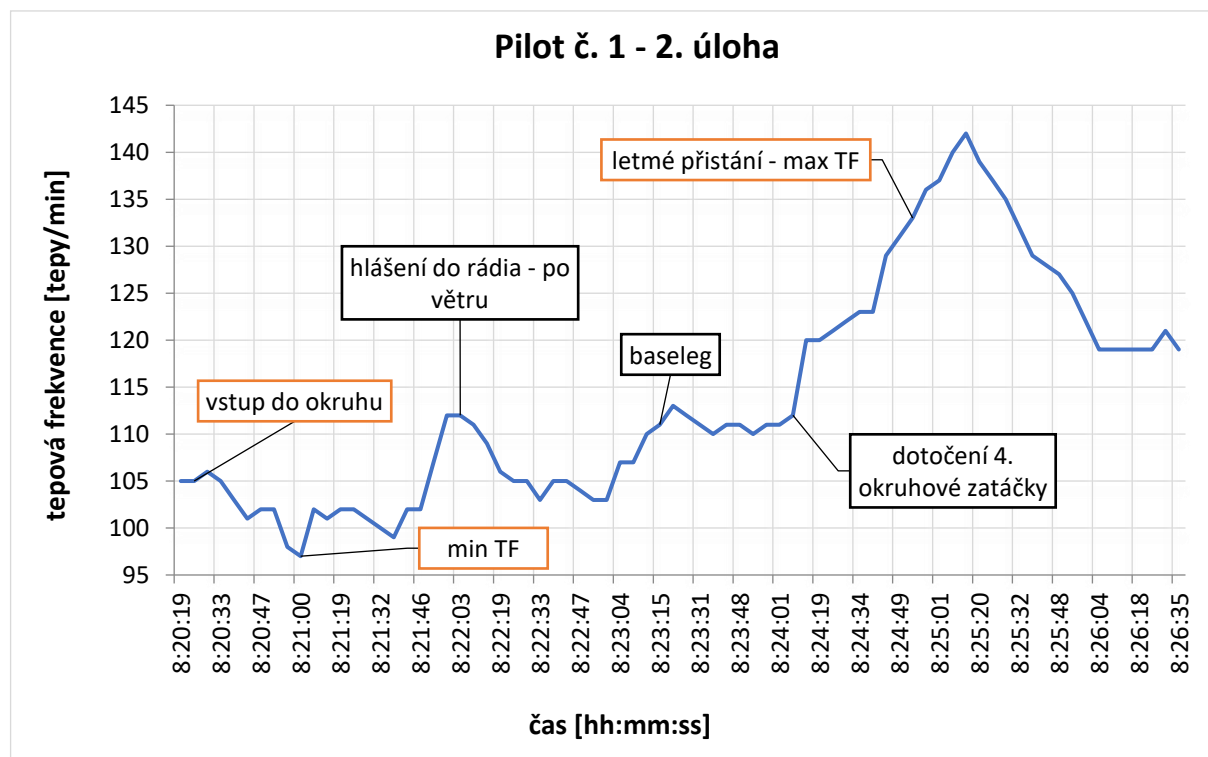
Graf 2: Srdeční frekvence při 1. úloze pilota č.1



4.5.3.2 Pilot č. 1 – 2. úloha

Druhá úloha začíná zařazením do první okružové zatáčky levého 20. Dle přiloženého grafu č. 3 můžeme vidět navýšení srdeční frekvence v okamžik hlášení polohy po větru a od této chvíle se frekvence postupně zvyšuje až do dosednutí na dráhu, přičemž signifikantní nárůst můžeme vidět po dotočení čtvrté okružové zatáčky. Tuto úlohu žák v dotazníku po letu hodnotil na škále vnímání stresu jako 3/10.

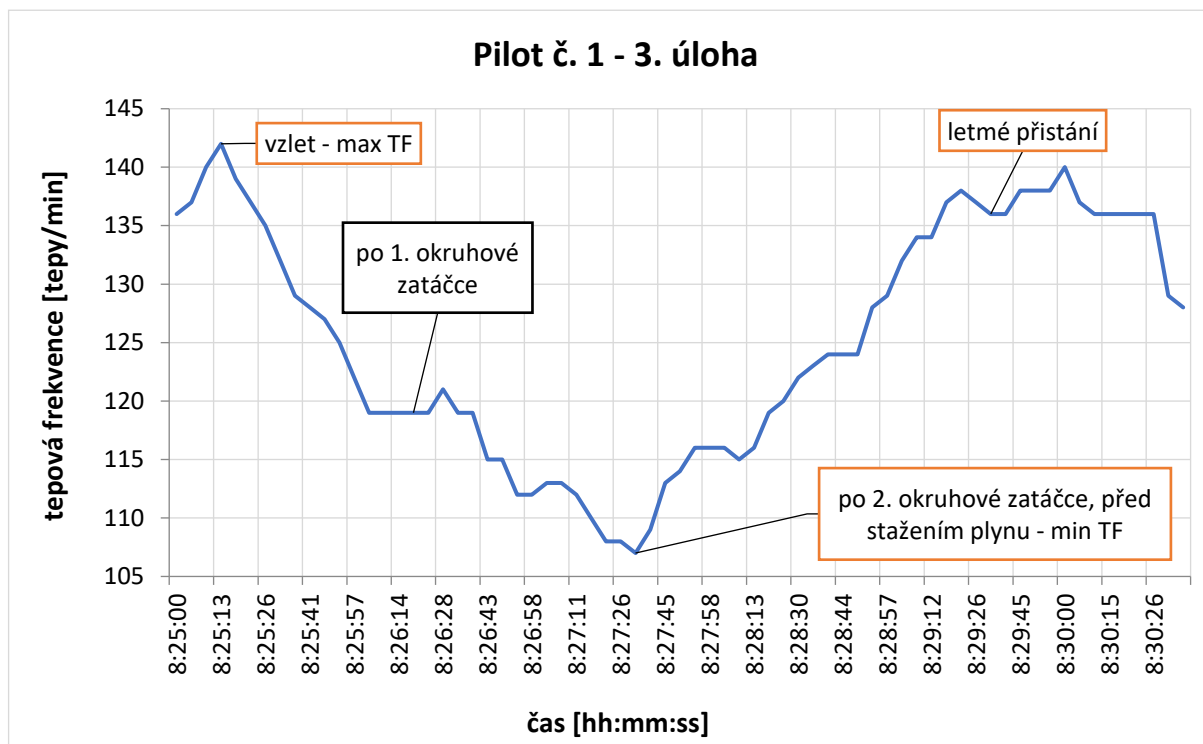
Graf 3: Srdeční frekvence při 2. úloze pilota č. 1



4.5.3.3 Pilot č. 1 – 3. úloha

Vyhodnocování této a další úlohy proběhlo bez kamerového záznamu, protože po prvním přistání došlo k jeho poškození. Dle záznamu uletěné tratě došlo v poloze po větru ke stažení motoru na volnoběh a nácvičku nouzového přistání. V grafu č. 4 vidíme, že nejnižší tepová frekvence byla po dotočení druhé okružové zatáčky. Poté došlo ke stažení plynu a nácvičku nouzového přistání, od tohoto okamžiku srdeční frekvence rostla po celou dobu až do přistání. Tuto úlohu žák v dotazníku po letu hodnotil na škále vnímání stresu jako 3/10.

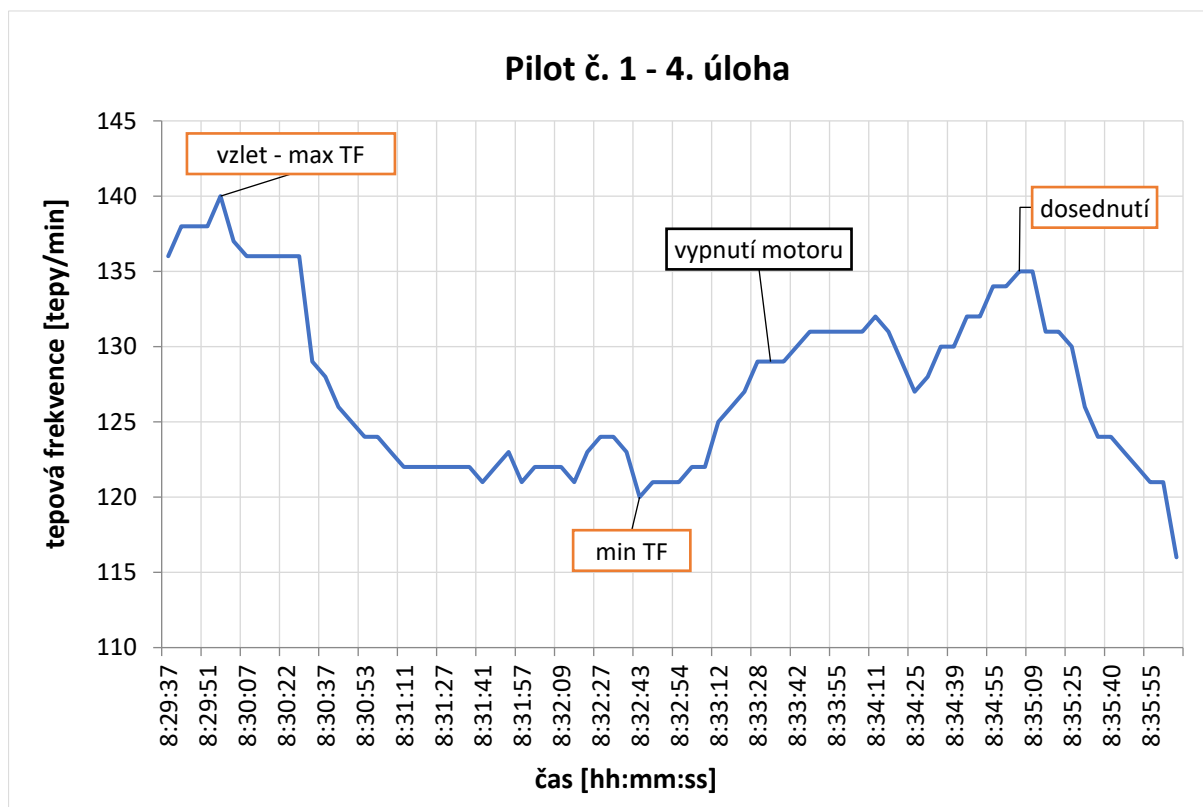
Graf 4: Srdeční frekvence při 3. úloze pilota č. 1



4.5.3.4 Pilot č. 1 – 4. úloha

Po vzletu žák pokračoval nad letiště, během stoupání můžeme vidět na grafu č. 5 mírné snížení srdeční frekvence. Nad letištěm došlo k vypnutí motoru a nácviku nouzového přistání bez motoru. Od tohoto okamžiku můžeme na grafu vidět navýšení frekvence, které trvá až do přistání, kterým tento let končí. Tuto úlohu žák v dotazníku po letu hodnotil na škále vnímání stresu jako 3/10.

Graf 5: Srdeční frekvence při 4. úloze pilota č. 1



4.5.4 Získané hodnoty

Žák provedl poslední let pět dní před měřeným letem. V tento den to byl jeho první let, po tomto měřeném letu ještě absolvoval několik okruhů v sóle. Z grafu č. 1 je patrné, že nejvyšší hodnoty srdeční frekvence měl žák při prvním vzletu a poté při následujících letných přistání u 3. a 4. úlohy.

Při první úloze byla stanovena referenční hodnota klidové tepové frekvence na 104 tepů/min. Při druhé úloze byla průměrná frekvence v rámci celé této úlohy vypočítána na 109 tepů/min. Nejvyšší tep, který zde byl zaznamenán byl 133 tepů/min a to při přistání, naopak nejnižší byl 103 tepů/min a to po první okružové zatáčce. Při třetí úloze byl průměrný tep 122 tepů/min. Maximální naměřený tep byl 142 tepů/min při vzletu, minimální byl 107 tepů/min krátce po otočení druhé okružové zatáčky. Ve čtvrté úloze byl průměrný tep 127 tepů/min, maximální tep byl naměřený opět v průběhu finále 140 tepů/min a nejnižší v průběhu stoupání nad letiště a to 120 tepů/min. Shrnutí těchto hodnot je uvedeno v tabulce č. 8.

Tabulka 8: Shrnutí získaných hodnot pilota č. 1

Referenční hodnota TF: 104 tepů/min				Subjektivní hodnocení úloh po letu
	Průměrná hodnota TF	Nejvyšší TF	Nejnižší TF	
2. úloha	109	133	103	3/10
3. úloha	122	142	107	3/10
4. úloha	127	140	120	3/10

Žák podle PSS dotazníku v posledním měsíci pociťuje nízký stres, čímž by neměla být ovlivněna klidová tepová frekvence. Dále žák po letu vyplnil dotazník, na kterém hodnotil, jakou míru stresu na sobě cítil při jednotlivých úlohách. Z výsledků vyplývá (tabulka č. 8), že v průběhu letu se průměrné hodnoty srdeční frekvence při jednotlivých úlohách postupně zvyšovaly vzhledem k zvyšující se náročnosti úloh. Minimální a maximální hodnoty také rostly nebo byly přinejmenším stejné. Instruktorka hodnotila žáka jako trochu nervóznějšího, ale jednotlivé úlohy byly provedeny bez výraznějších chyb.

4.6 Pilot č. 2

4.6.1 Informace o posádce

Tohoto měření se také účastnil žák ve výcviku. S létáním před tímto výcvikem neměl žádné zkušenosti. Tou dobou měl nalétáno celkem 35 hodin a 330 startů. Poslední let provedl 13.04.2022, tedy v den konání našeho letu.

Tabulka 9: Informace o pilotovi č. 2

Věk	34
Žák ve výcviku	ano
Hodinový nálet v rámci ULL	35
Počet startů v rámci ULL	330
Datum posledního letu	13.04.2022
Další dosažené kvalifikace	-

Žák v dotazníku před letem uvedl, že jej při létání neovlivňuje stres z každodenního života. Při vzletu, klasickém přistání a při nácvicích nouzových přistání stres pociťuje pouze někdy. Přítomnost instruktora na palubě jej uklidňuje a nemá na něj vliv s jakým známým instruktorem letí. V dotazníku PSS získal 18 bodů, to znamená, že v posledním měsíci pociťuje mírný stres.

4.6.2 Meteorologické a provozní podmínky letu

Let probíhal za jasného počasí. Aplikace Windy udávala pro město Kroměříž rychlost větru 5,8 kt, meteostanice umístěná přímo na letišti indikovala 4,3 kt ze směru 179°. Teplota vzduchu byla 18 °C, tlak 1019 hPa. Byly také zaznamenány zprávy METAR z letiště Brno/Tuřany LKTB.

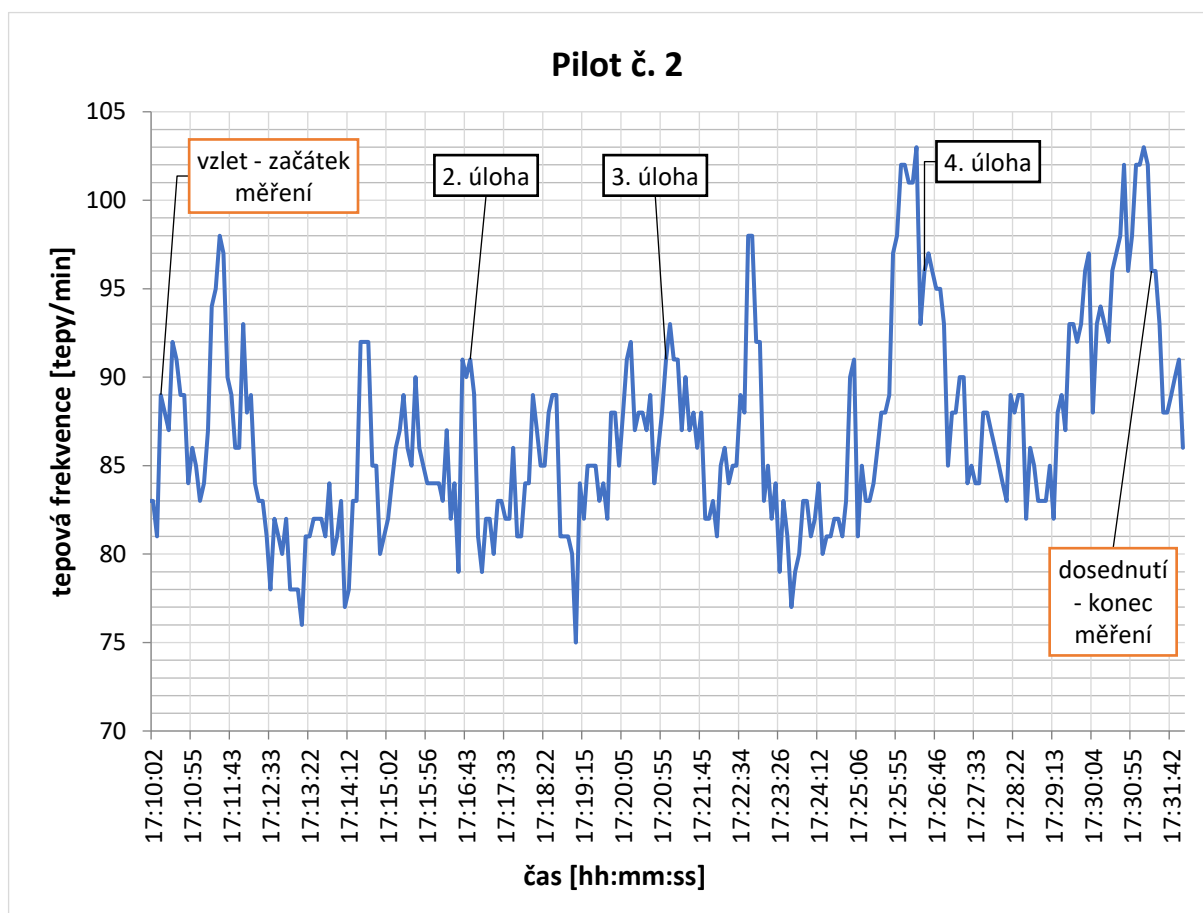
```
LKTB 131500Z 13010KT CAVOK 18/02 Q1019 NOSIG  
LKTB 131530Z 13009KT CAVOK 18/01 Q1019 NOSIG
```

V době letu byly v ATZ hlášené celkem tři ultralehké letouny, jeden z nich létal okruhy a další dva letouny přiletěly z navigačního letu – vstoupily do ATZ, provedly zařazení do okruhu a přistání.

4.6.3 Průběh letu

Let byl zahájen v 17:10 SELČ vzletem z dráhy 20. V rámci první úlohy let pokračoval západně od města Kroměříž, během této fáze se získala referenční hodnota klidové tepové frekvence za letu. Poté následovala druhá úloha, která začala zařazením se do první okružové zatáčky levého okruhu 20. Byl proveden klasický okruh a druhá úloha byla zakončena letným přistáním a vzletem. V rámci třetí úlohy žák provedl nácvik nouzového přistání s motorem z okruhu a v rámci poslední úlohy byl nad letištěm vypnut motor a žák provedl nácvik nouzového přistání bez motoru. Záznam srdeční frekvence v rámci celého letu je na grafu č. 6. Na grafu je označeno zahájení a konec letu a také jednotlivé úlohy. V tabulce č. 10 jsou pak zaznamenány přesné časy zahájení a ukončení jednotlivých úloh.

Graf 6: Srdeční frekvence v průběhu letu pilota č. 2



Tabulka 10: Zahájení a ukončení jednotlivých úloh letu pilota č. 2

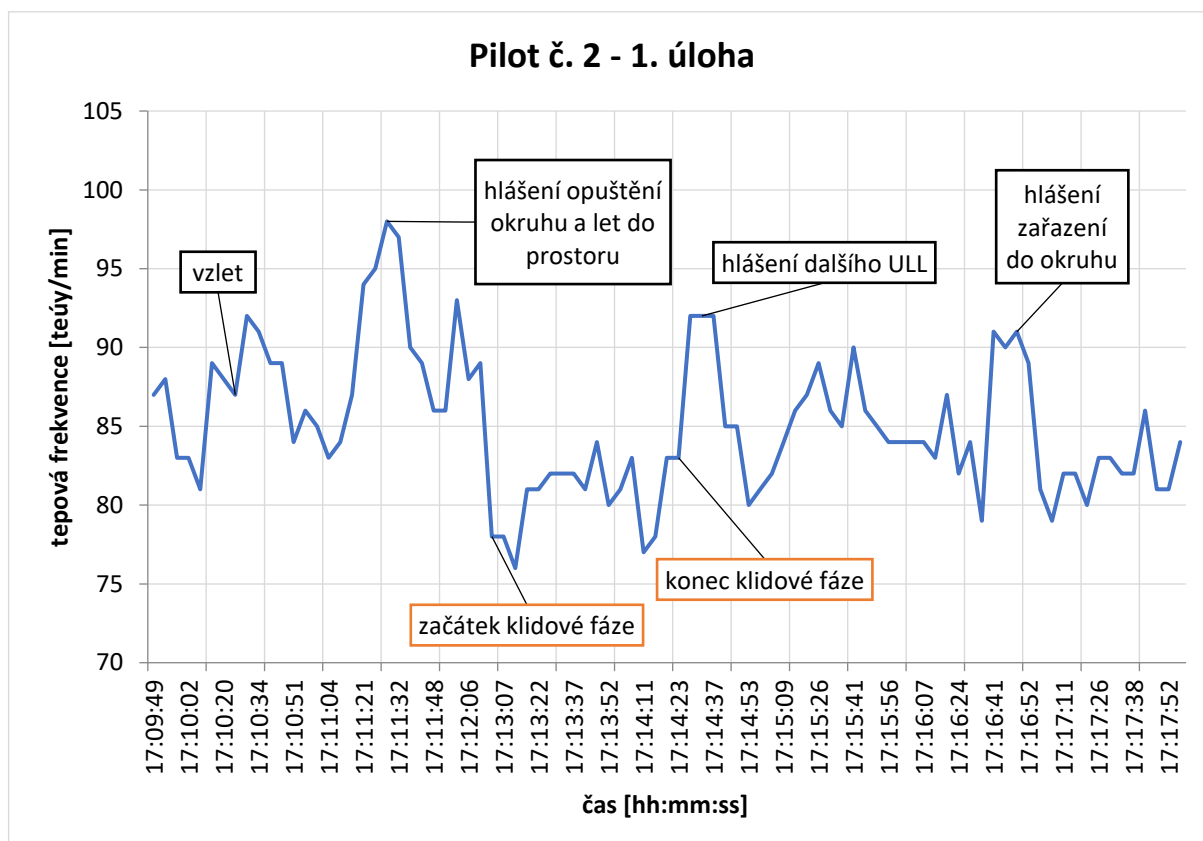
Pilot č. 2				
měření probíhalo v čase: 17:10:20 – 17:31:10				
	zisk referenční TF	2. úloha	3. úloha	4. úloha
začátek úlohy	17:12:13	17:16:50	17:21:01	17:26:25
konec úlohy	17:14:23	17:20:48	17:26:15	17:31:10

4.6.3.1 Pilot č. 2 – 1. úloha

Tato úloha začala vzletem v čase 17:10 z dráhy 20 a po vzletu žák pokračoval pravou zatáčkou do prostoru západně od Kroměříže. Po vzletu, v druhé okružové zatáčce měl žák nahlásit opuštění okruhu a let do prostoru. Záznam trati a kamerový záznam včetně záznamu komunikace ukazuje, že toto hlášení vyvolalo zvýšení tepové frekvence – viz. graf č.7. Poté už let probíhal klidně. Tuto fázi klidu můžeme vidět i na následujícím grafu (v časech 17:12 – 17:14), kdy se tepová frekvence snížila a tím jsme získali referenční hodnotu klidové tepové frekvence za letu. Tato hodnota byla stanovena na 81 tepů/min.

Tato klidová fáze byla ukončena vysláním dalšího provozu – ultralehkým letounem, který hlásil zařazení do polohy po větru levého 20 (graf č. 7, čas 17:14). Zároveň náš let už byl také směřován k zařazení do okruhu, takže žák se od této chvíle zaměřil na vyhledávání okolního provozu, jeho zařazení do okruhu a hlášení do rádia. Zařazením do okruhu a ohlášením do rádia tato úloha končí (graf č. 7, čas 17:16). Tuto úlohu žák vnímal jako nejméně stresující, v dotazníku uvedl 4/10.

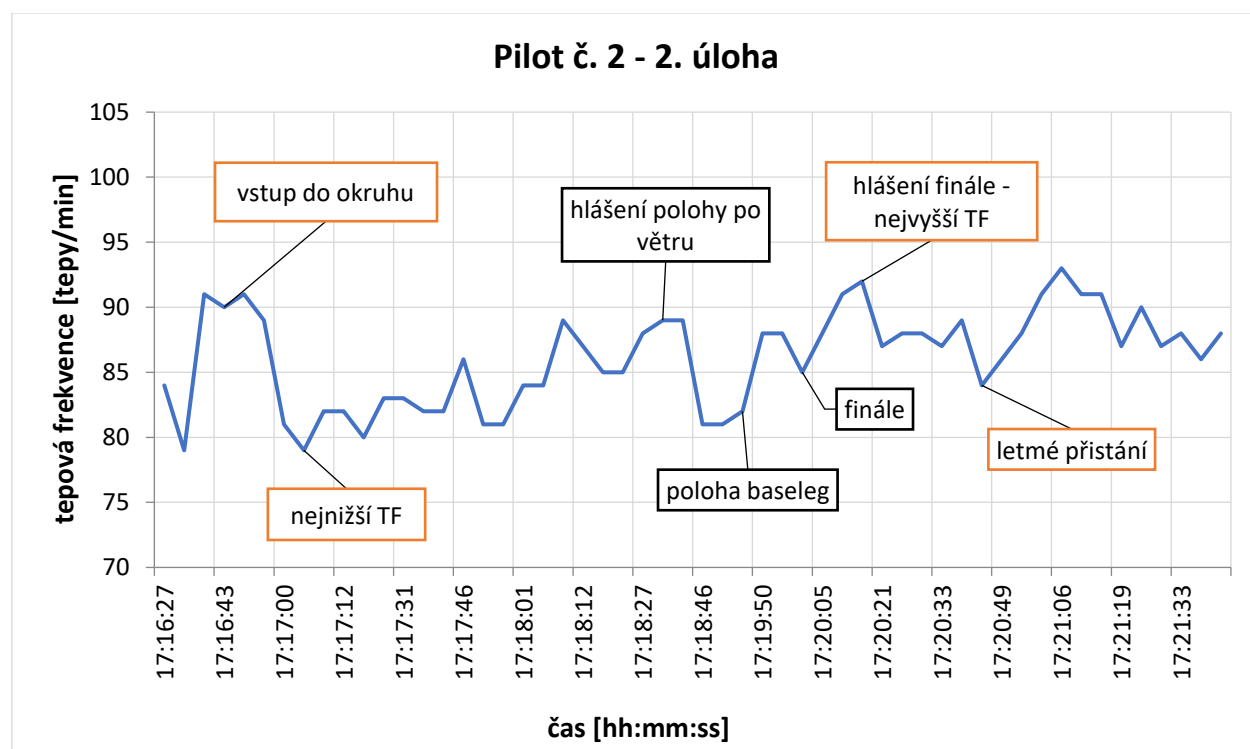
Graf 7: Srdeční frekvence při 1. úloze pilota č. 2



4.6.3.2 Pilot č. 2 – 2. úloha

Druhá úloha začíná zařazením do první okružové zatáčky levého 20. V tuto chvíli hlásí také vstup do ATZ další letoun, který dále pokračuje do levého okruhu. Po dotočení druhé okružové zatáčky, hlásí vstup do ATZ druhý letoun, který taktéž směřuje do levého 20. Žák v poloze po větru provedl úkony, hlášení a pokračoval dále na přistání. Další fáze okruhu probíhaly standardně, pouze před čtvrtou okružovou zatáčkou až po celou dobu, co byl žák na finále probíhala komunikace mezi ostatními letouny na okruhu. Úloha končí dosednutím na dráhu. Tuto fázi žák označil jako středně stresující – v dotazníku uvedl 5/10.

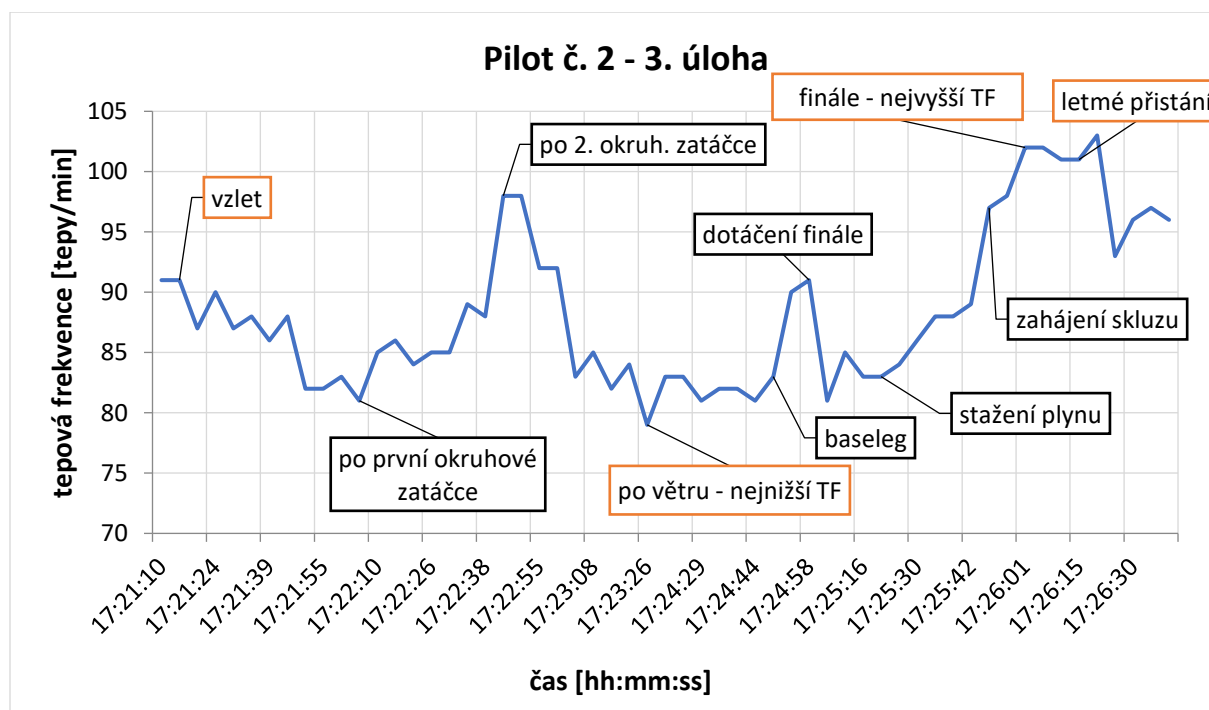
Graf 8: Srdeční frekvence při 2. úloze pilota č. 2



4.6.3.3 Pilot č. 2 – 3. úloha

Úloha začíná vzletem. Po vzletu žák opět pokračoval do levého okruhu 20. Po 2. okruhové zatáčce se krátce navýšila srdeční frekvence, v tuto dobu se na záznamu žák připravuje na hlášení do rádia a dělá úkony. Vidíme, že o několik okamžiků později se tepová frekvence opět snižuje. Na okruhu je spolu s ním ještě další letoun, který je před ním. Před čtvrtou okruhovou zatáčkou dochází ke stažení plynu a nácvičku nouzového přistání s motorem. Čtvrtá okruhová zatáčka byla přetočená, bylo tedy nutné se srovnat do osy dráhy, zároveň musel být použitý skluz k vytracení výšky. Během této doby také dochází k navýšení tepové frekvence, což je patrné z grafu č. 9. Tuto úlohu žák v dotazníku hodnotil jako 5/10 na použité škále.

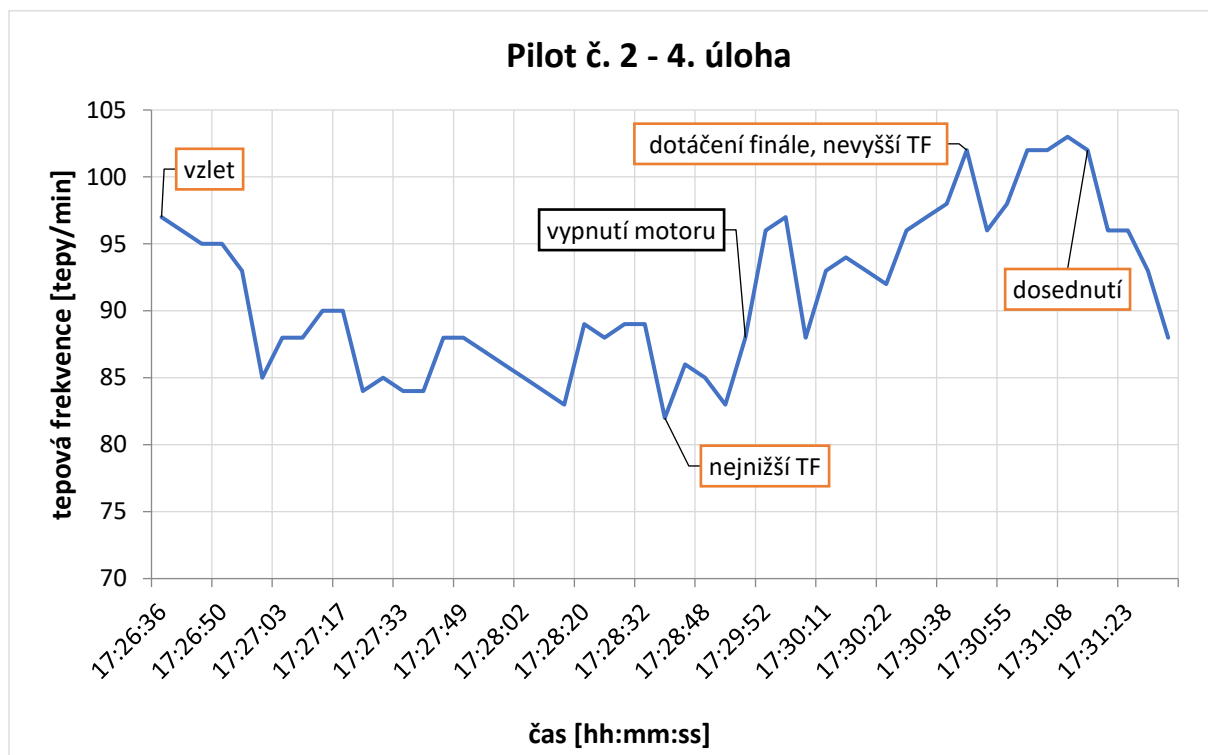
Graf 9: Srdeční frekvence při 3. úloze pilota č. 2



4.6.3.4 Pilot č. 2 – 4. úloha

Po vzletu žák pokračuje nad letiště a stoupá do výšky 1800 ft. Během této doby nedošlo k nadměrnému navýšení srdeční frekvence. Nad letištěm dojde k vypnutí motoru a nácviku nouzového přistání bez motoru. Žák pokračuje na finále 20, to otáčí do osy dráhy a následně je opět použitý skluz (graf č. 10). Během letu bez motoru můžeme vidět navýšení frekvence. Tuto úlohu žák hodnotil jako nejstresovější – v dotazníku uvedl 6/10.

Graf 10: Srdeční frekvence při 4. úloze pilota č. 2



4.6.4 Získané hodnoty

Žák ještě před naším letem provedl několik cvičných okruhů s instruktorkou na palubě. Po našem letu, pak provedl ještě několik sol. Z grafu č.6 je patrné, že nejvyšší hodnoty srdeční frekvence byly při přistání v rámci 3. a 4. úlohy a také při hlášení do rádia. Během letu také postupně rostly hodnoty minimální srdeční frekvence.

Při první úloze byla stanovena průměrná referenční hodnota klidové tepové frekvence na 81 tepů/min. Při druhé úloze byla průměrná frekvence v rámci celé této úlohy vypočítána na 85 tepů/min. Nejvyšší tep, který zde byl zaznamenán byl 92 tepů/min a to v poloze finále, naopak nejnižší byl 79 tepů/min a to po ohlášení zařazení do okruhu. Při třetí úloze byl průměrný tep 87 tepů/min. Maximální naměřený tep byl 103 tepů/min opět na finále, minimální byl 79 tepů/min v poloze po větru. Ve čtvrté úloze byl průměrný tep 91 tepů/min, maximální tep byl naměřený opět v průběhu finále 103 tepů/min a nejnižší v průběhu stoupání nad letiště a to 82 tepů/min. Shrnutí těchto hodnot je uvedeno v tabulce č. 11.

Tabulka 11: Shrnutí získaných hodnot pilota č. 2

Referenční hodnota TF: 81 tepů/min				Subjektivní hodnocení úloh po letu
	Průměrná hodnota TF	Nejvyšší TF	Nejnižší TF	
2. úloha	85	92	79	5/10
3. úloha	87	103	79	5/10
4. úloha	91	103	82	6/10

Žák podle PSS dotazníku v posledním měsíci zažívá pouze mírný stres, tím by neměla být ovlivněna klidová tepová frekvence. Z výsledků vyplývá (tabulka č. 11), že v průběhu letu se průměrné hodnoty srdeční frekvence při jednotlivých úlohách postupně zvyšovaly vzhledem k zvyšující se náročnosti úloh. Minimální a maximální hodnoty také rostly nebo byly přinejmenším stejné. Instruktorka hodnotila žáka jako klidného při všech úlohách a jednotlivé úlohy byly provedeny bez výraznějších chyb. Subjektivní hodnocení letu je taktéž uvedeno v tabulce č. 11.

4.7 Pilot č. 3

4.7.1 Informace o posádce

Tohoto a následujícího měření se již neúčastnili žáci, ale piloti, kteří měli vyšší nálet, a také více dosažených kvalifikací. V tomto případě to byla pilotka, která měla tou dobou celkový nálet 200 hodin a 900 startů, v rámci ULL měla také kvalifikaci vlekař. Datum posledního letu byl 17.04.2022. Let v rámci měření se uskutečnil 30.04.2022.

Tabulka 12: Informace o pilotce letu č. 3

Věk	25
Žák ve výcviku	ne
Hodinový nálet v rámci ULL	200
Počet startů v rámci ULL	900
Datum posledního letu	17.04.2022
Další dosažené kvalifikace	SPL, ULL (TOW), PPL (A)

V dotazníku uvedla, že ji při létání neovlivňuje stres z každodenního života. Při vzletu a přistání někdy stres pociťuje. Při nácviku nouzového přistání ať už s pracujícím či nepracujícím motorem s instruktorem na palubě a na známém letišti stres nepociťuje. Přítomnost instruktora na palubě na ni nemá vliv. Má vliv, s jakým instruktorem letí, někteří instruktoři ji mohou znervózňovat více než jiní. V dotazníku PSS získala 15 bodů, což odpovídá, že v posledním měsíci zažívá mírný stres.

4.7.2 Meteorologické a provozní podmínky letu

Let probíhal za ranního, jasného a klidného počasí. Aplikace Windy udávala pro město Kroměříž rychlost větru 2 kt, meteostanice umístěná přímo na letišti indikovala 2,2 kt ze směru 311°. Teplota vzduchu byla 9 °C, tlak 1023 hPa. Byly také zaznamenány zprávy METAR z letiště Brno/Tuřany LKTB.

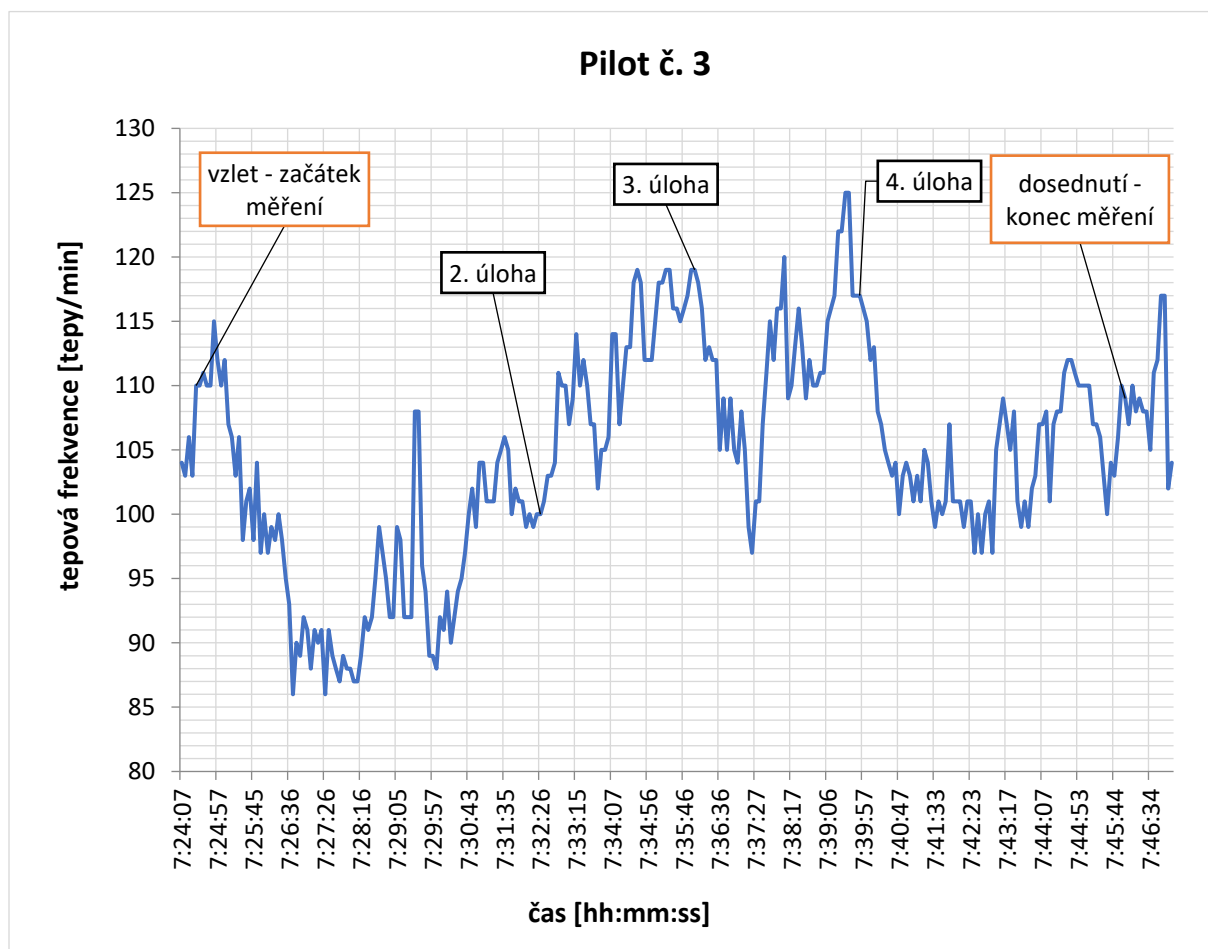
```
LKTB 300600Z VRB01KT CAVOK 09/02 Q1023 NOSIG  
LKTB 300630Z VRB01KT CAVOK 10/03 Q1023 NOSIG
```

V době letu nebyl v ATZ hlášen žádný provoz.

4.7.3 Průběh letu

Let byl zahájen v 07:25 SELČ vzletem z dráhy 20. Dále let pokračoval kolem města Kroměříž, po obletu Kroměříže pilotka vstoupila do první okružové zatáčky levého 20. Byl proveden klasický okruh v rámci druhé úlohy. Poté následovala úloha s nácvikem nouzového přistání s motorem na volnoběh. Tato úloha byla provedena při dalším okruhu z polohy po větru levého 20. Tato úloha byla zakončena letným přistáním a vzletem. Při poslední úloze pilotka nastoupala do 2500 ft nad letiště, kde došlo k vypnutí motoru a nácviku nouzového přistání bez motoru na dráhu 02. Průběh letu a označení jednotlivých fází je na grafu č. 11. V tabulce č. 13 jsou zaznamenány přesné časy zahájení a konce úloh.

Graf 11: Srdeční frekvence v průběhu letu pilota č. 3



Tabulka 13: Zahájení a ukončení jednotlivých úloh letu pilota č. 3

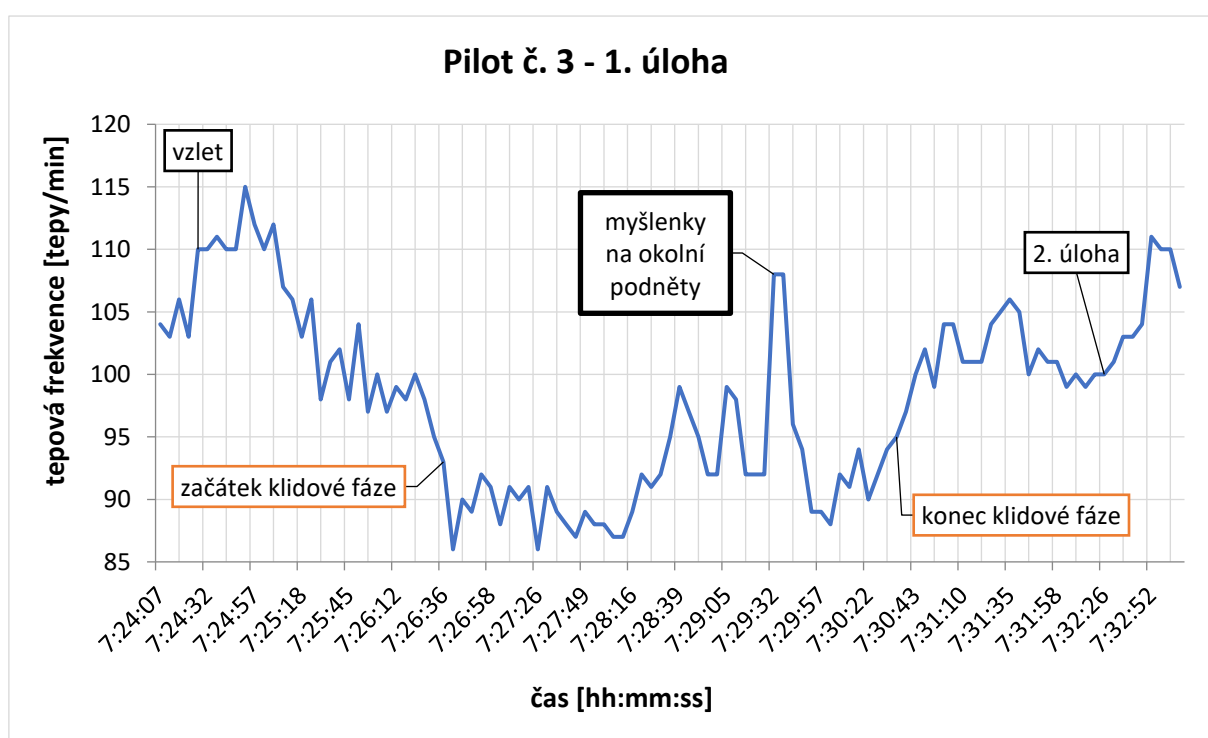
Pilot č. 3				
měření probíhalo v čase: 7:24:27 – 07:46:10				
	zisk referenční TF	2. úloha	3. úloha	4. úloha
začátek úlohy	07:26:36	07:32:15	07:35:51	07:39:45
konec úlohy	07:30:32	07:35:42	07:39:37	07:46:10

4.7.3.1 Pilot č. 3 – 1. úloha

Samotný let a tím i první úloha začala v 07:25 vzletem z dráhy 20. Po vzletu let pokračoval zatáčkou na východ a následně směřoval kolem Kroměříže tak, aby mohla být naměřena referenční hodnota klidové tepové frekvence za letu. Po této fázi se plynule přešlo do druhé úlohy, a to vstupem do první okružové zatáčky levého 20. Tuto úlohu pilotka vnímala na škále jako 2/10.

Začátek a konec měření klidové frekvence je znázorněn na grafu č. 12. Hodnota klidové tepové frekvence za letu byla stanovena na 91 tepů/min. Na témže grafu vidíme, že během klidové fáze došlo k výraznému navýšení tepové frekvence. Toto navýšení bylo způsobeno myšlenkami na pozitivní okolnosti nesouvisející s letem.

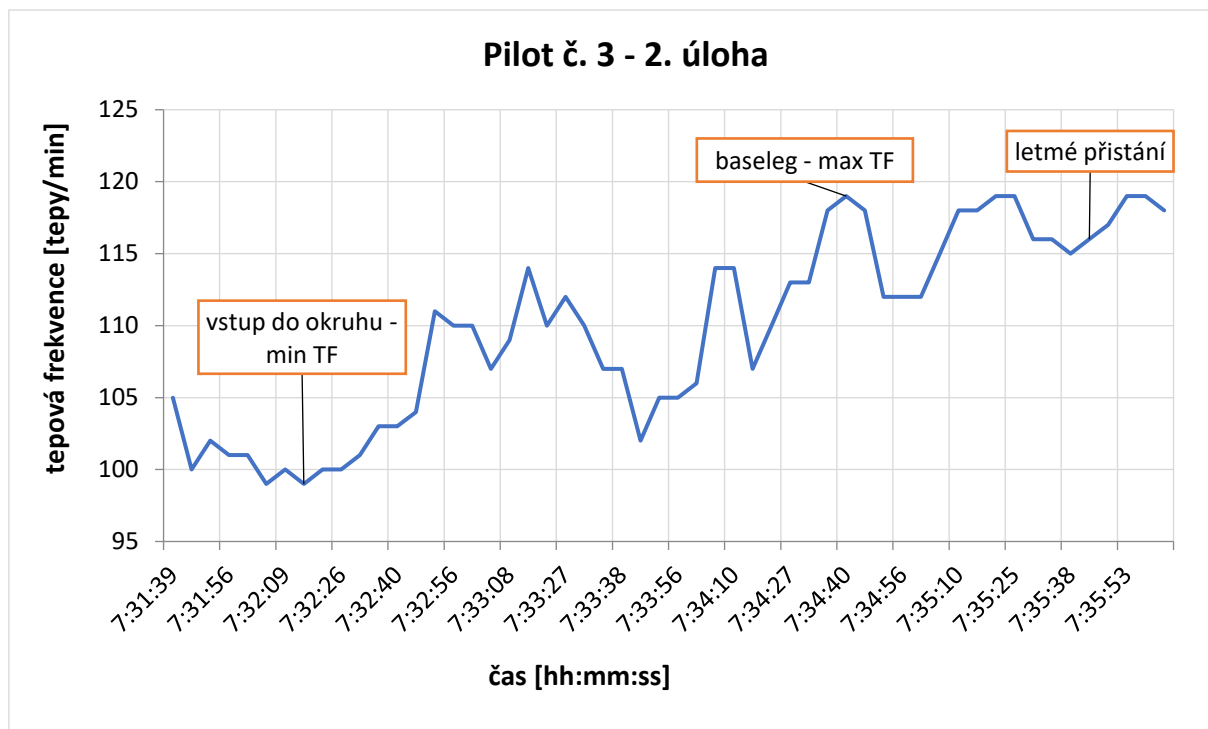
Graf 12: Srdeční frekvence při 1. úloze pilota č. 3



4.7.3.2 Pilot č. 3 – 2. úloha

Druhá úloha začala vstupem do první okružové zatáčky levého 20 a provedením klasického okruhu. Tato fáze probíhala standardně a bez vnějších rušivých vlivů. Můžeme vidět i na grafu č. 13, že během této fáze nedošlo k výrazným snížením nebo navýšením tepové frekvence. Stres, který na sobě pilotka vnímala odpovídal 2/10.

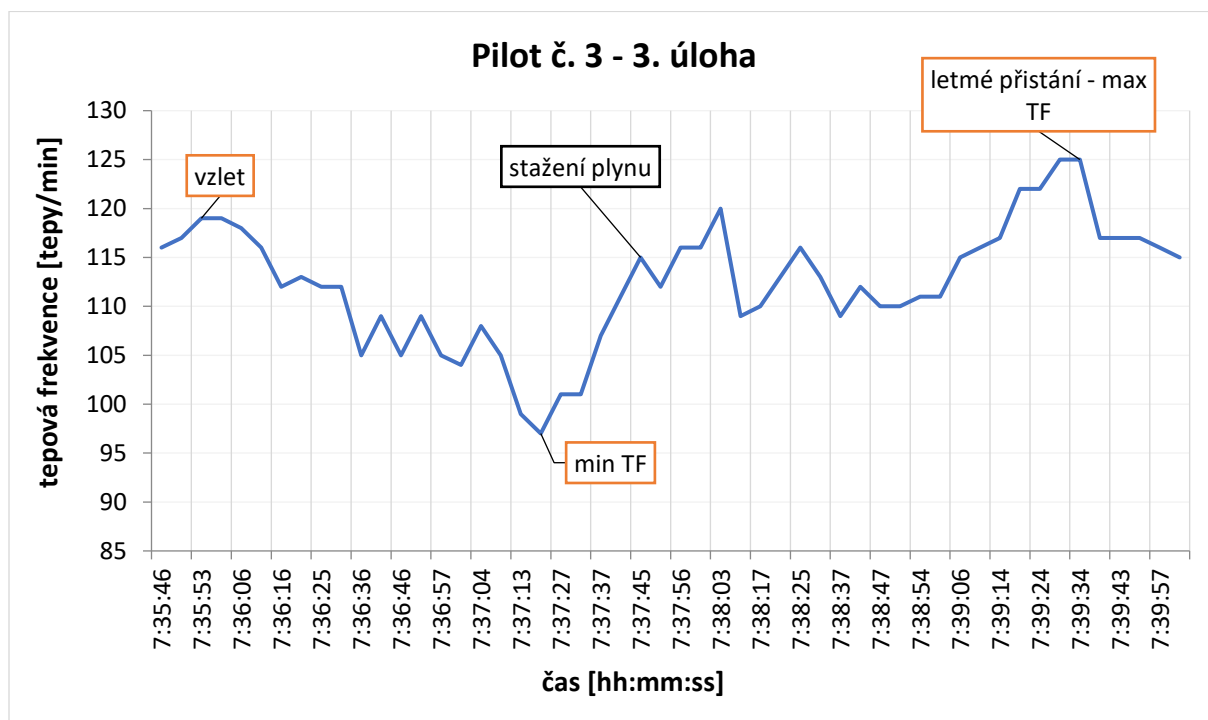
Graf 13: Srdeční frekvence při 2. úloze pilota č. 3



4.7.3.3 Pilot č. 3 – 3. úloha

Úloha byla zahájena letným vzletem z dráhy 20 a po vzletu pilotka opět pokračovala do levého okruhu 20. V poloze po větru došlo ke stažení plynu na volnoběh a nácvičku nouzového přistání s pracujícím motorem. Tato část probíhala opět standardně, bez vnějších rušivých vlivů. Stres, který na sobě pilotka vnímala odpovídal 2/10.

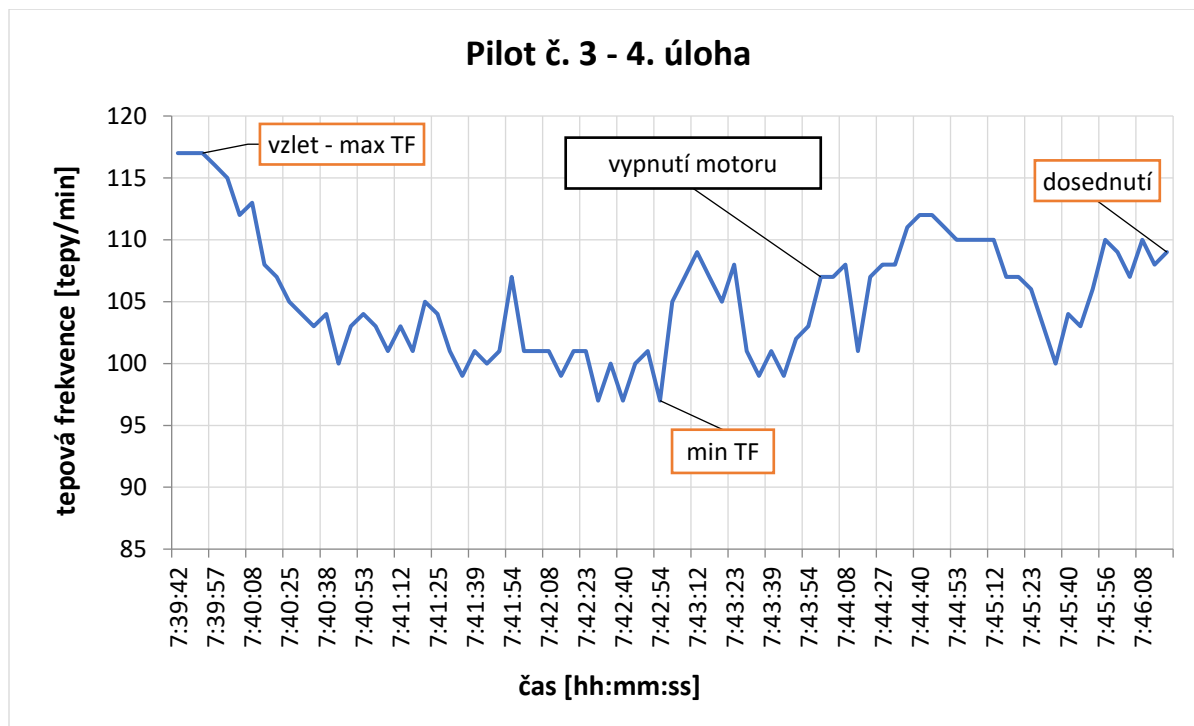
Graf 14: Srdeční frekvence při 3. úloze pilota č. 3



4.7.3.4 Pilot č. 3 – 4. úloha

Úloha začíná letným vzletem z dráhy 20 a pokračuje stoupáním do 2500 ft nad letiště. Nad letištěm došlo k vypnutí motoru, čas vypnutí motoru je zaznamenán také na grafu č. 15. Přistání bylo provedeno na dráhu 02. Stres, který na sobě pilotka vnímala odpovídal 2/10.

Graf 15: Srdeční frekvence při 4. úloze pilota č. 3



4.7.4 Získané hodnoty

Tohoto měření se účastnila pilotka, která poslední let v rámci kategorie ULL provedla 13 dní před měřeným letem. Z grafu č. 11 vidíme, že nejvyšší frekvence byly naměřeny v rámci druhé a třetí úlohy. V rámci čtvrté úlohy se snížily i minimální hodnoty srdeční frekvence.

Při první úloze byla stanovena průměrná referenční hodnota klidové tepové frekvence na 91 tepů/min. Při druhé úloze byla průměrná frekvence v rámci celé této úlohy vypočítána na 110 tepů/min. Nejvyšší tep, který zde byl zaznamenán byl 119 tepů/min a to v poloze baseleg a finále, naopak nejnižší byl 99 tepů/min v poloze po větru. Při třetí úloze byl průměrný tep 112 tepů/min. Maximální naměřený tep byl 125 tepů/min na finále, minimální byl 97 tepů/min v poloze po větru. Ve čtvrté úloze byl průměrný tep 106 tepů/min, maximální tep byl naměřený při vzletu 117 tepů/min a nejnižší v průběhu stoupání nad letiště a to 97 tepů/min. Shrnutí těchto hodnot je uvedeno v tabulce č. 14.

Tabulka 14: Shrnutí získaných hodnot pilota č. 3

Referenční hodnota TF: 91 tepů/min				Subjektivní hodnocení úloh po letu
	Průměrná hodnota TF	Nejvyšší TF	Nejnižší TF	
2. úloha	110	119	99	2/10
3. úloha	112	125	97	2/10
4. úloha	106	117	97	2/10

Pilotka podle PSS dotazníku v posledním měsíci zažívá mírný stres, tím by neměla být ovlivněna klidová tepová frekvence. Jednotlivé úlohy vnímala stejně stresově, na 10 bodové škále (kdy 10 je nejstresovější) uvedla 2 body pro každou úlohu. Výsledky ukazují (tabulka č. 14), že v průběhu jednotlivých úloh se hodnoty tepové frekvence snižovaly – jak průměrné hodnoty v rámci jednotlivých úloh, tak i nejvyšší a nejnižší naměřené. A to i přes zvyšující se náročnost jednotlivých úloh.

4.8 Pilot č. 4

4.8.1 Informace o posádce

Posledního měření se účastnil pilot s nejvyšším náletem ze všech zúčastněných. V rámci ULL měl v době měření nálet 980 hodin a 6 000 startů. Poslední let v rámci kategorie ULL provedl v den námi provedeného letu.

Tabulka 15: Informace o pilotovi č. 4

Věk	42
Žák ve výcviku	ne
Hodinový nálet v rámci ULL	980
Počet startů v rámci ULL	6 000
Datum posledního letu	30.04.2022
Další dosažené kvalifikace	ULL (TOW), PPL, FI (A)

V dotazníku uvedl, že stres z každodenního života na něj při létání nemá vliv. Při vzletu a přistání někdy pociťuje stres. Při nácviu nouzového přistání stres nepociťuje. Přítomnost instruktora na palubě na něj nemá vliv. V poslední otázce uvedl, že osobnost instruktora má na něj vliv. V dotazníku PSS získal 19 bodů, což znamená, že v posledním měsíci zažívá mírný stres.

4.8.2 Meteorologické a provozní podmínky letu

Let proběhl ihned po předešlém letu, takže meteorologické a provozní podmínky byly beze změny. Aplikace Windy udávala pro město Kroměříž rychlost větru 2 kt, meteostanice umístěná přímo na letišti indikovala 2,2 kt ze směru 311°. Teplota vzduchu byla 9 °C, tlak 1023 hPa. Byly také zaznamenány zprávy METAR z letiště Brno/Tuřany LKTB.

LKTB 300600Z VRB01KT CAVOK 09/02 Q1023 NOSIG

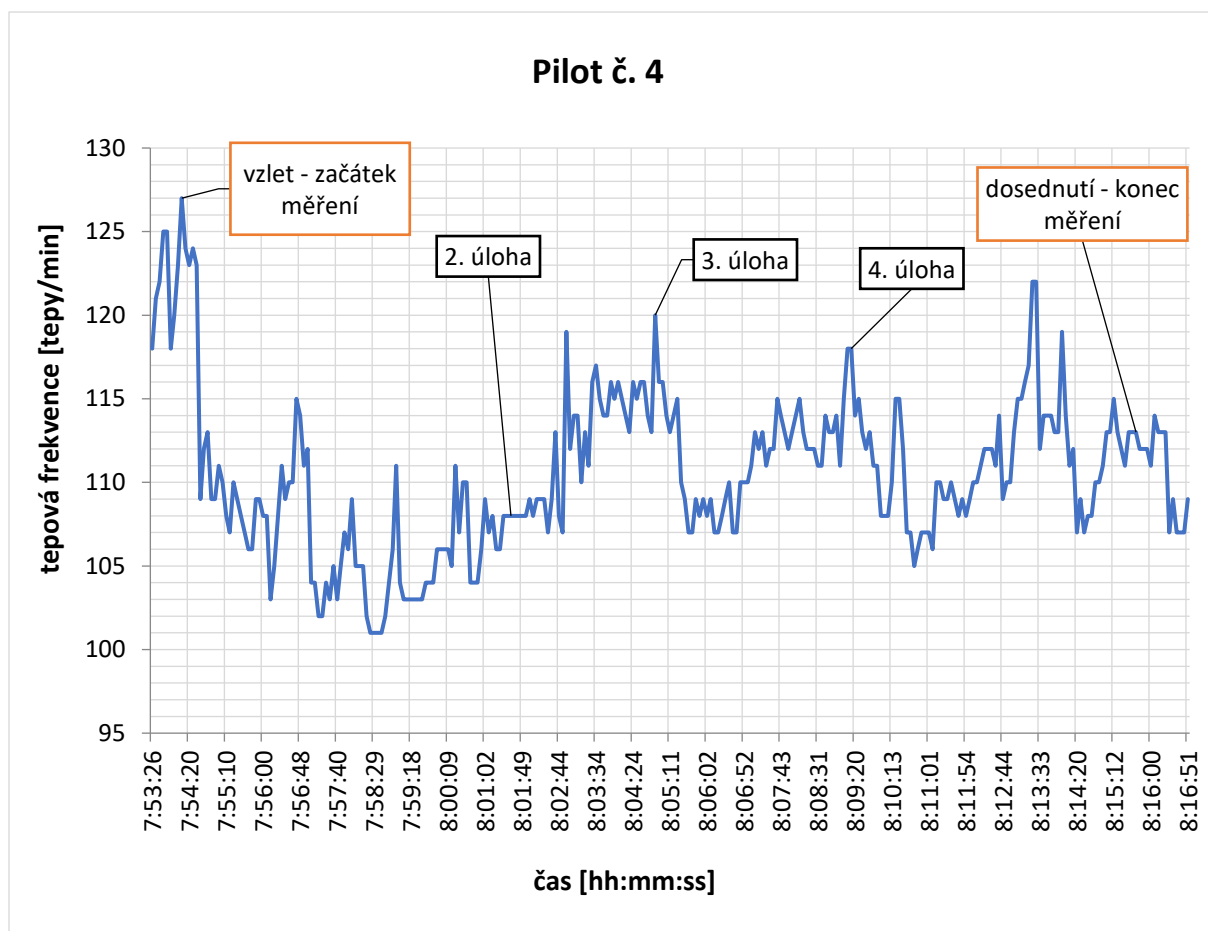
LKTB 300630Z VRB01KT CAVOK 10/03 Q1023 NOSIG

V době letu byl proveden z letiště pouze jeden odlet, který nenarušil měření.

4.8.3 Průběh letu

Let byl zahájen v 07:54 SELČ a proběhl totožně jako let předešlý. Meteorologické a provozní podmínky byly taktéž shodné, let proběhl po stejné trati jako předešlý. Průběh letu a označení jednotlivých fází je na grafu č. 16. V tabulce č. 16 jsou zaznamenány přesné časy zahájení a konce úloh.

Graf 16: Srdeční frekvence v průběhu letu pilota č. 4



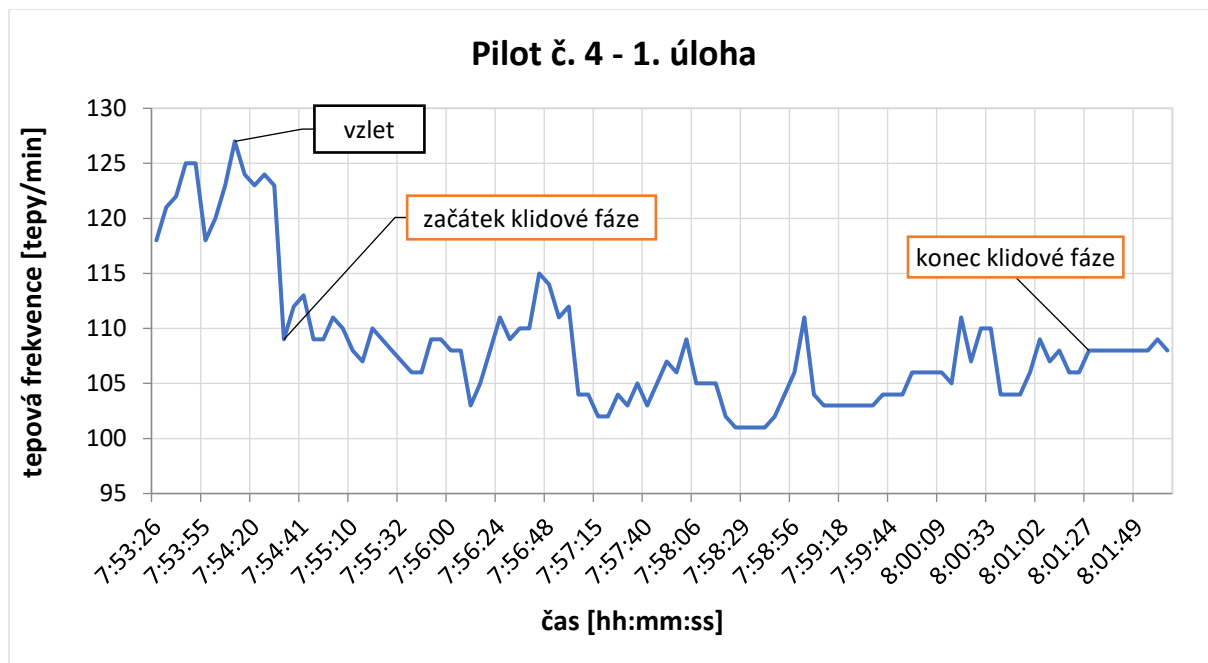
Tabulka 16: Zahájení a ukončení jednotlivých úloh letu pilota č. 4

Pilot č. 4				
měření probíhalo v čase: 7:24:27 – 07:46:10				
	zisk referenční TF	2. úloha	3. úloha	4. úloha
začátek úlohy	07:54:34	08:01:47	08:04:53	08:09:10
konec úlohy	08:01:21	08:04:38	08:08:58	08:15:55

4.8.3.1 Pilot č. 4 – 1. úloha

V této fázi byla stanovena referenční hodnota klidové tepové frekvence na 106 tepů/min. Pilot při této úloze hodnotil pociťovanou míru stresu na desetibodové škále jako 1/10.

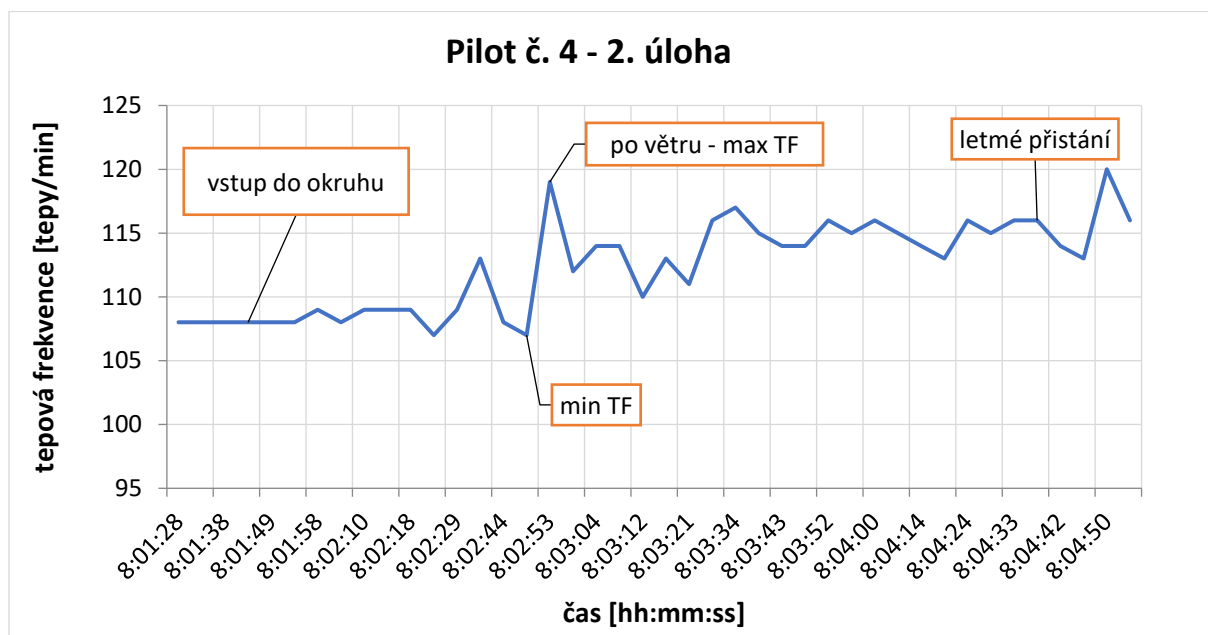
Graf 17: Srdeční frekvence při 1. úloze pilota č. 4



4.8.3.2 Pilot č. 4 – 2. úloha

Jak ukazuje graf č. 18 v průběhu této úlohy nedošlo k významným změnám tepové frekvence. V grafu jsou vyznačeny pouze významné body – začátek a konec úlohy a poloha po větru, zde pouze došlo k nepatrnému navýšení srdečního tepu. Pilot při této úloze hodnotil pociťovanou míru stresu na desetibodové škále jako 1/10.

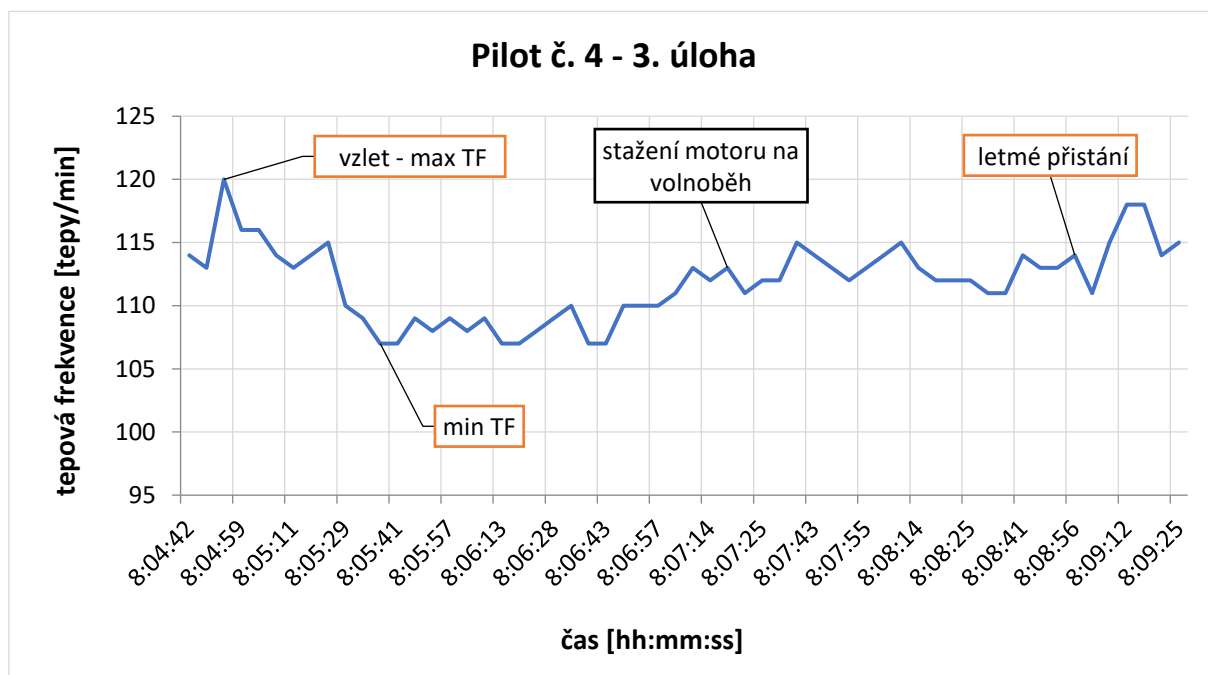
Graf 18: Srdeční frekvence při 2. úloze pilota č. 4



4.8.3.3 Pilot č. 4 – 3. úloha

Opět i u třetí úlohy nedochází k významným změnám srdeční frekvence. V grafu č. 19 je opět vyznačen začátek a konec úlohy a okamžik snížení výkonu na volnoběh. Pilot při této úloze hodnotil pocíťovanou míru stresu na desetibodové škále jako 1/10.

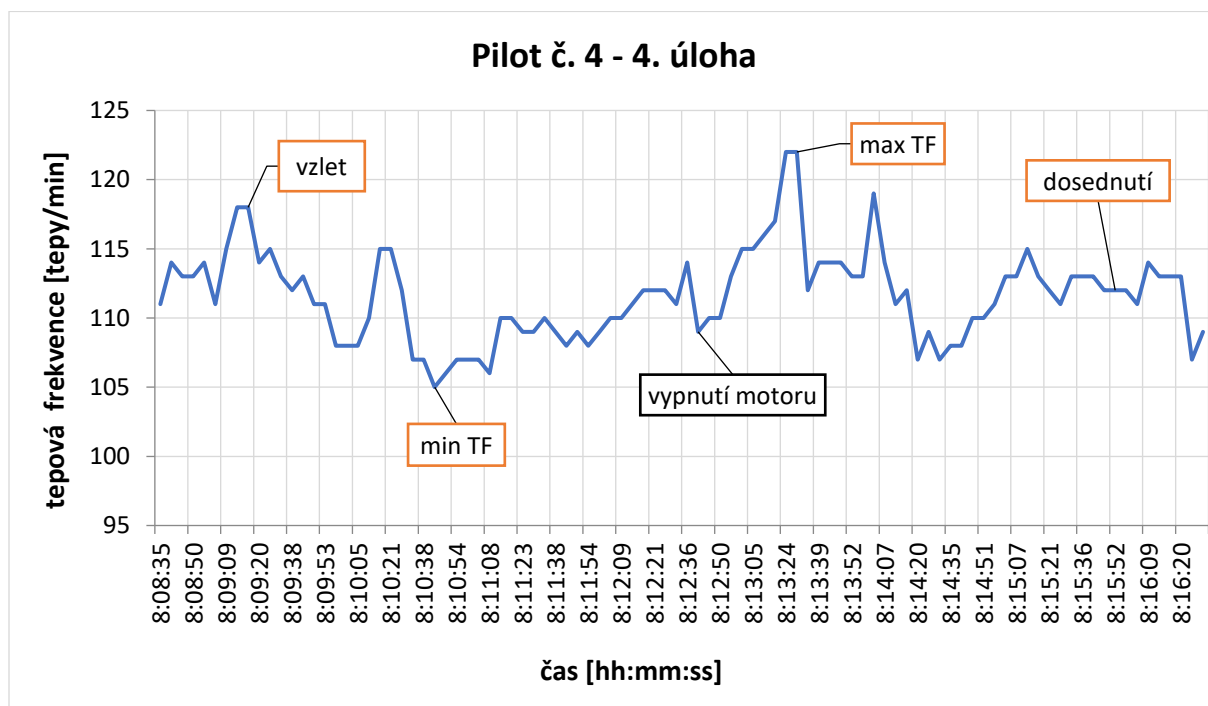
Graf 19: Srdeční frekvence při 3. úloze pilota č. 4



4.8.3.4 Pilot č. 4 – 4. úloha

V grafu č. 20 je vyznačen začátek a konec úlohy a okamžik vypnutí motoru. Tak jako po celý let, se i této poslední úlohy hodnoty srdeční frekvence blíží průměrným hodnotám a nejsou zde významné odchylky. Pilot při této úloze hodnotil pociťovanou míru stresu na desetibodové škále jako 1/10.

Graf 20: Srdeční frekvence při 4. úloze pilota č. 4



4.8.4 Získané hodnoty

Posledního měření v rámci experimentu se účastnil pilot, který byl nejzkušenější ze všech zúčastněných. Naměřené hodnoty srdeční frekvence odpovídají jeho dosaženým kvalifikacím. Na grafu č. 16 vidíme, že vyšší hodnoty srdeční frekvence byly při prvním vzletu, poté už nedochází k významným odchylkám. V průběhu úloh se také vrací nejnížší hodnoty srdeční frekvence na stejné hodnoty, nedochází tedy k tomu, že by hodnoty minimální frekvence postupně rostly. Pilot v dotazníku po letu hodnotil každou úlohu na desetibodové škále jako 1/10, tedy jako nejméně stresující.

Při první úloze byla stanovena průměrná referenční hodnota klidové tepové frekvence na 107 tepů/min. Při druhé úloze byla průměrná frekvence v rámci celé této úlohy stanovena na 112 tepů/min. Nejvyšší tep, který zde byl zaznamenán byl 119 tepů/min, a to v poloze po větru, naopak nejnížší byl 107 tepů/min taktéž v poloze po větru. Při třetí úloze byl průměrný tep 112 tepů/min. Maximální naměřený tep byl 120 tepů/min při vzletu, minimální byl 107 tepů/min v poloze po větru před stažením plynu. Ve čtvrté úloze byl průměrný tep 112 tepů/min, maximální tep byl naměřený při vypínání motoru 122 tepů/min a nejnížší v průběhu stoupání nad letiště a to 105 tepů/min. Shrnutí těchto hodnot je uvedeno v tabulce č. 17.

Tabulka 17: Shrnutí získaných hodnot pilota č. 4

Referenční hodnota TF: 107 tepů/min				Subjektivní hodnocení úloh po letu
	Průměrná hodnota TF	Nejvyšší TF	Nejnižší TF	
2. úloha	112	119	107	1/10
3. úloha	112	120	107	1/10
4. úloha	112	122	105	1/10

Pilot podle PSS dotazníku v posledním měsíci zažívá mírný stres, tím by neměla být ovlivněna klidová tepová frekvence. Při úlohách na sobě nepocíťoval žádný stres. Výsledky ukazují velmi vyrovnané hodnoty po celou dobu letu při všech úlohách (tabulka č. 17).

4.9 Srovnání získaných hodnot

V rámci experimentu byly provedeny čtyři stejné lety za srovnatelných podmínek se dvěma žáky a dvěma piloty. Z letů jsme získali hodnoty srdeční frekvence, které mohou být mezi sebou porovnány. Jelikož první dva lety absolvovali žáci a další dva lety piloti, kteří měli vyšší nálet i dosažené kvalifikace, budou porovnávány tyto lety zvlášť.

U každého srovnání jsou uvedeny informace o žácích/pilotech a dále meteorologické a provozní podmínky, za kterých se lety uskutečnily. Jsou zde uvedeny grafy s vývojem srdeční frekvence, které začínají od druhé úlohy (v rámci první úlohy byla stanovena referenční hodnota klidové tepové frekvence, která je na grafech taktéž znázorněna).

Dále jsou zde znázorněny hodnoty srdeční frekvence, které byly stanoveny pro každou úlohu zvlášť:

- nejvyšší tepová frekvence
- průměrná tepová frekvence
- nejnižší tepová frekvence
- referenční tepová frekvence

Tyto funkce byly zvoleny z toho důvodu, že názorně demonstrují vývoj srdeční frekvence při jednotlivých úlohách a jejich použití je jednoduché i v rámci většího počtu dat. U těchto objektivních hodnot je uvedeno i subjektivní hodnocení pilotů, které provedli ihned po letu.

Na závěr jsou porovnány hodnoty srdeční frekvence jako objektivní veličiny, se subjektivním hodnocením. Piloti po letu vyplnili dotazník, kde v rámci každé úlohy měli ohodnotit, jak na sobě pociťovali stres. Hodnocení bylo pro každou úlohu zvlášť a bylo formou bodové stupnice od 1 do 10, kde 10 představuje nejvyšší pociťovaný stres. Dotazník, který piloti po letu vyplňovali je uveden v příloze 3.

4.9.1 Srovnání pilota č. 1 a 2

4.9.1.1 Údaje o žácích a podmínkách letů

Tabulka 18: Informace o žácích

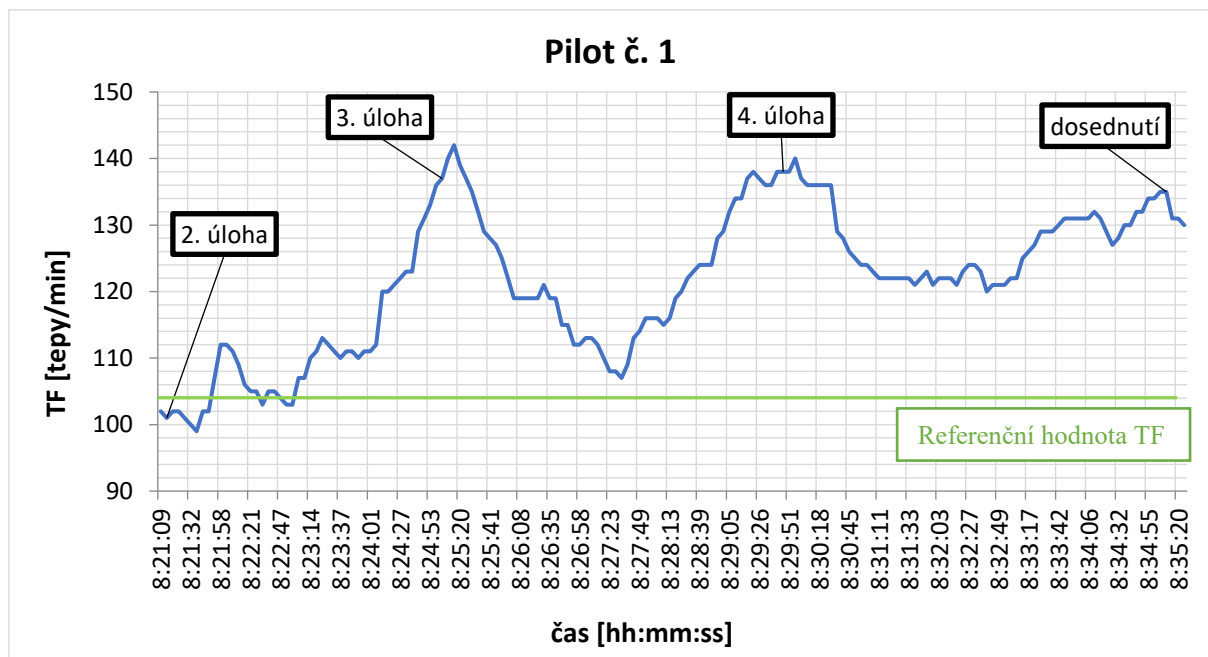
Informace o žácích	pilot č. 1	pilot č. 2
Věk	48	34
Hodinový nálet v rámci ULL	19	35
Počet startů v rámci ULL	127	330
Další dosažené kvalifikace	-	-

Tabulka 19: Meteorologické a provozní podmínky

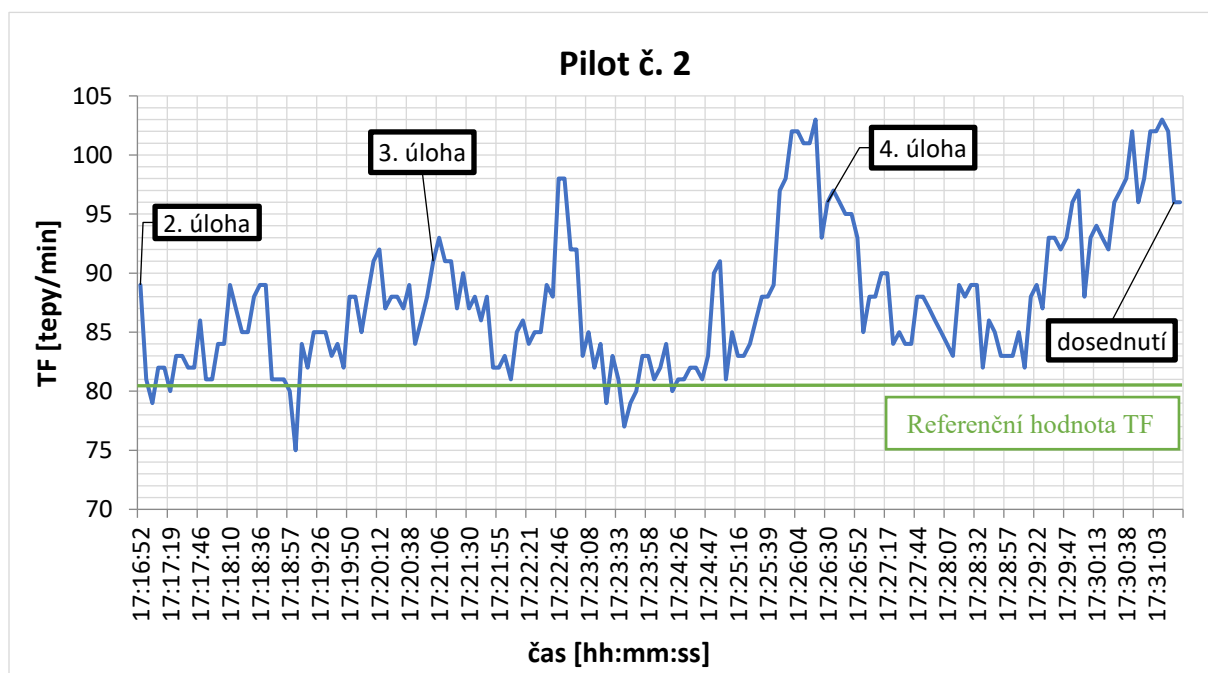
Meteorologické a provozní podmínky	pilot č. 1	pilot č. 2
Vítr	30003KT	18004KT
Dohlednost a oblačnost	CAVOK	CAVOK
Teplota a rosný bod	05/M03	18/02
Další provoz během letu	2 odlety	2 přílety, 1 MLČ

4.9.1.2 Průběhy srdeční frekvence během letů

Graf 21: Srdeční frekvence pilota č. 1



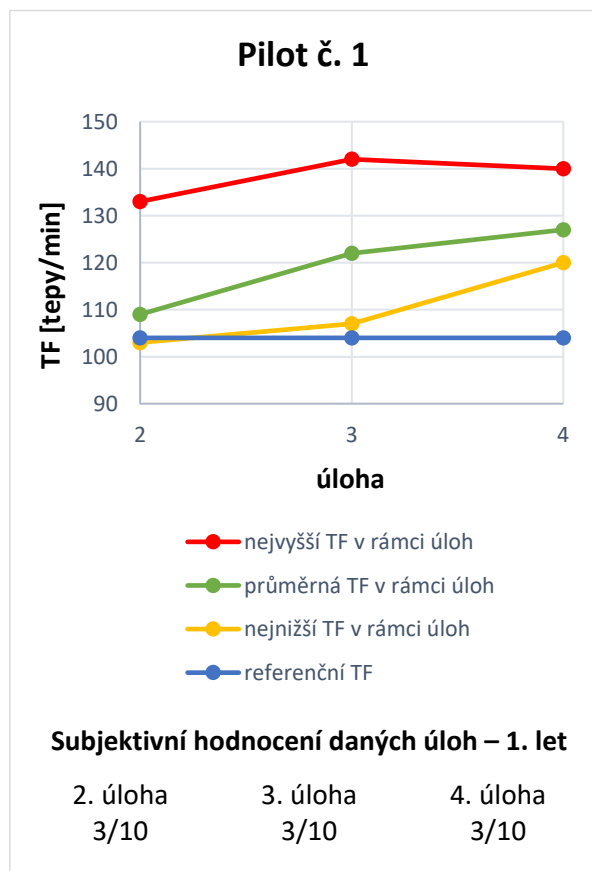
Graf 22: Srdeční frekvence pilota č. 2



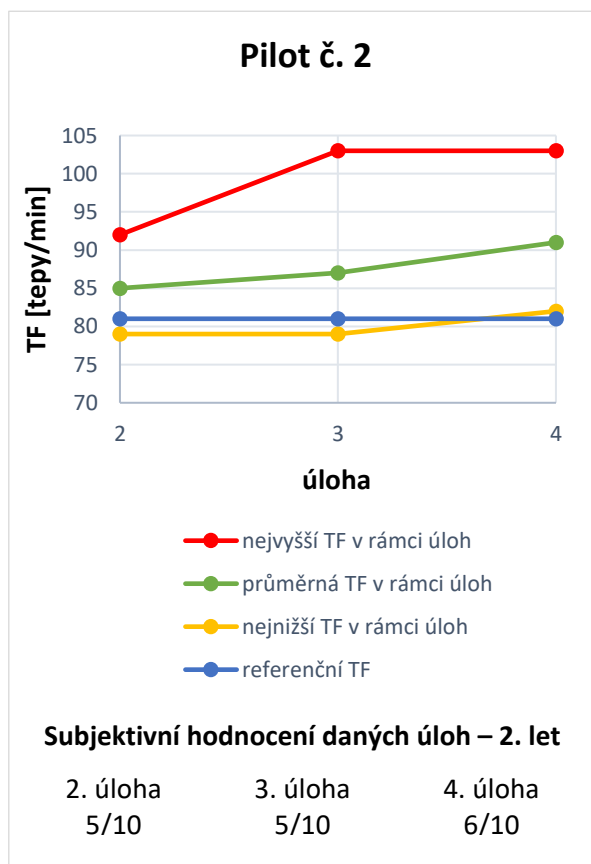
Při porovnání prvního a druhého letu vidíme (grafy č. 21 a 22), že při vzletu a přistání dochází k nejvyššímu nárůstu srdeční frekvence u obou žáků, což splnilo očekávání. Při letu č. 2 po 3. úloze vidíme výrazný nárůst srdeční frekvence, dle záznamu z kamery tento nárůst odpovídá okamžiku, kdy proběhla krátká konverzace mezi žákem a instruktorkou.

4.9.1.3 Srovnání výsledných hodnot srdeční frekvence

Graf 23: Získané hodnoty TF z 1. letu
a subjektivní hodnocení žáka



Graf 24: Získané hodnoty TF z 2. letu
a subjektivní hodnocení žáka



Objektivní měření: Tyto lety absolvovali žáci se srovnatelným náletem a zkušenostmi a za srovnatelných meteorologických a provozních podmínek (tabulky č. 18 a 19). Na grafech č. 23 a 24 můžeme vidět, že v průběhu obou letů se nejvyšší hodnoty srdeční frekvence dosažené v rámci jednotlivých úloh zvyšovaly nebo zůstávaly stejné. Také rostla i průměrná frekvence a nejnižší frekvence během těchto úloh. Můžeme tedy dle objektivních hodnot vyvodit, že v průběhu letů se zátěž na oba žáky zvyšovala.

Subjektivní hodnocení: Hodnocení provedli žáci v dotaznících po letu. Na desetibodové škále měli uvést pocíťovanou míru stresu v rámci každé úlohy, kdy 10 představuje nejvyšší pocíťovanou míru stresu. První let hodnotil žák tak, že pro první úlohu uvedl hodnocení 4/10 a pro všechny následující hodnocení 3/10. Vyšší hodnocení první úlohy odůvodnil tím, že vědomí toho, že na něm probíhá měření, ho znervózňovalo. Při dalších úlohách na sobě pocíťoval stejnou míru stresu.

U druhého letu žák hodnotil první úlohu jako 4/10, při této úloze na sobě pocíťoval nejméně stresu ze všech úloh. Druhou a třetí úlohu hodnotil jako 5/10 a poslední úlohu jako 6/10.

Tabulka 20: Výsledky dotazníků po letu (viz. příloha 3)

	1. úloha	2. úloha	3. úloha	4. úloha
pilot č. 1	4/10	3/10	3/10	3/10
pilot č. 2	4/10	5/10	5/10	6/10

Porovnání objektivního měření se subjektivním hodnocením: U prvního letu vidíme (graf č. 23) nárůst srdeční frekvence v průběhu letu, přičemž žák na sobě pociťoval stejnou míru stresu v rámci všech úloh. Žák po dobu úloh pociťoval mírný stres, ale hodnoty tepové frekvence postupně rostly. V tomto případě se tedy subjektivní hodnocení od objektivního liší.

U druhého letu (graf č. 24) opět vidíme nárůst srdeční frekvence v průběhu letu. V tomto případě žák na sobě pociťoval postupně zvyšující se stres s tím, jak rostla náročnost úloh. Zde se subjektivní hodnocení shoduje s objektivními hodnotami.

4.9.2 Srovnání pilota č. 3 a 4

4.9.2.1 Údaje o pilotech a podmínkách letů

Tabulka 21: Informace o pilotech

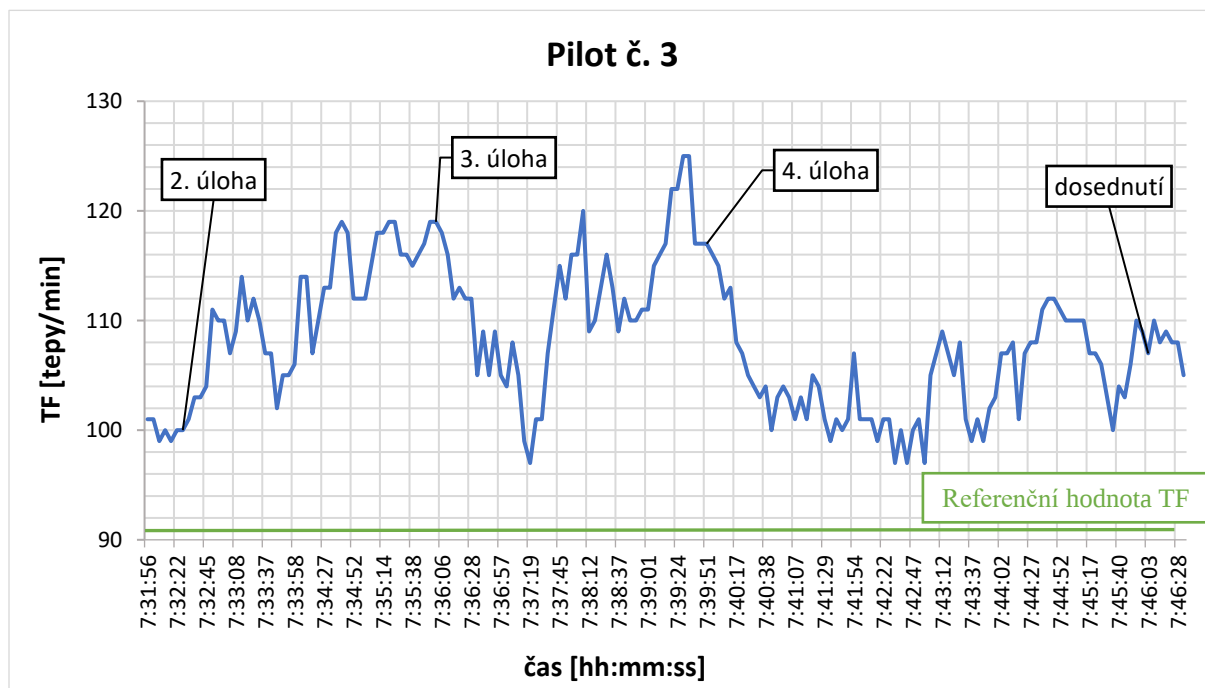
Informace o pilotech	pilot č. 3	pilot č. 4
Věk	25	42
Hodinový nálet v rámci ULL	200	980
Počet startů v rámci ULL	900	6000
Další dosažené kvalifikace	SPL, ULL (TOW), PPL (A)	ULL (TOW), PPL (A), FI (A)

Tabulka 22: Meteorologické a provozní podmínky

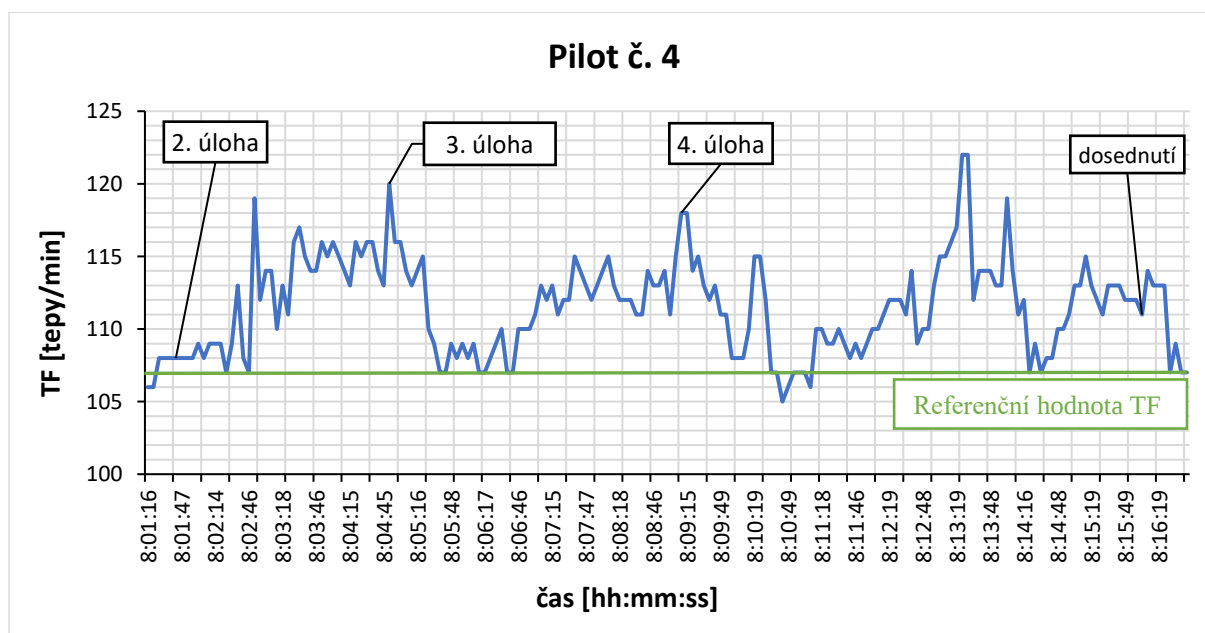
Meteorologické a provozní podmínky	pilot č. 3	pilot č. 4
Vítr	31002KT	31002KT
Dohlednost a oblačnost	CAVOK	CAVOK
Teplota a rosný bod	10/03	10/03
Další provoz během letu	bez provozu	1 odlet

4.9.2.2 Průběhy srdeční frekvence během letů

Graf 25: Srdeční frekvence pilota č. 3

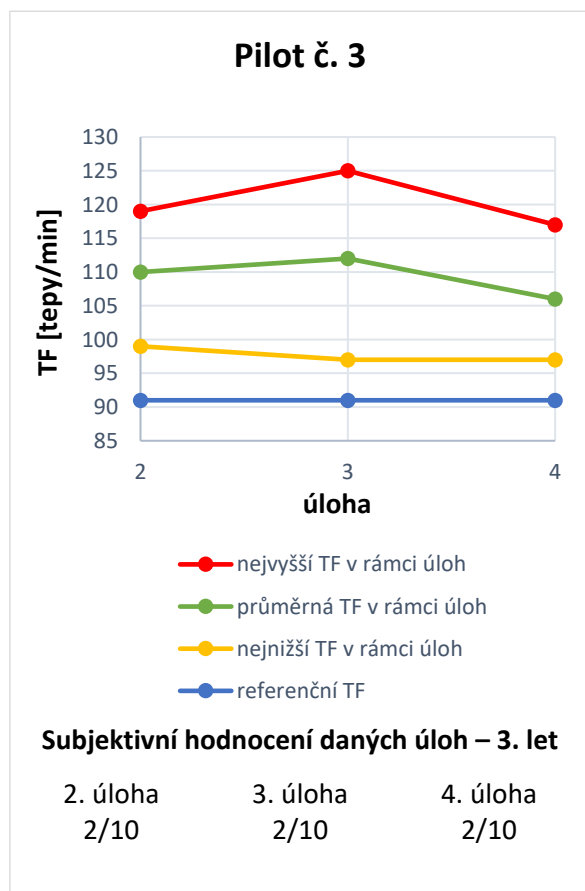


Graf 26: Srdeční frekvence pilota č. 4

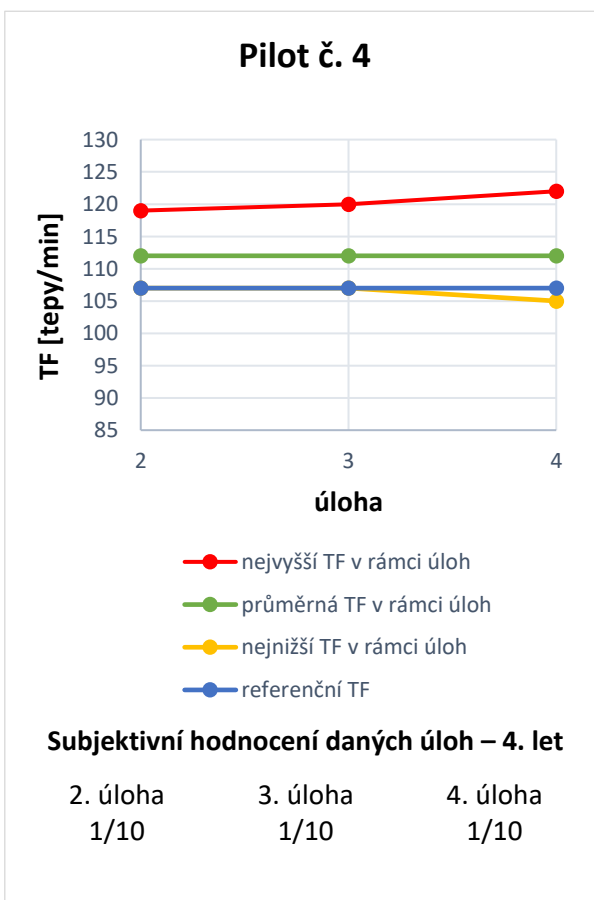


4.9.2.3 Srovnání výsledných hodnot srdeční frekvence

Graf 27: Získané hodnoty z 3. letu a subjektivní hodnocení pilotky



Graf 28: Získané hodnoty z 4. letu a subjektivní hodnocení pilota



Objektivní měření: Tyto lety absolvovali piloti s vyšším náletem a více dosaženými kvalifikacemi. Na grafech č. 27 a 28 vidíme, že srdeční frekvence se zde vyvíjela zcela odlišně oproti letům se žáky. I přes rostoucí náročnost úloh se u třetího letu jednotlivé parametry srdeční frekvence snižují a u čtvrtého letu se dokonce téměř nemění. Pro piloty tedy lety nepředstavovaly zvýšenou zátěž.

Subjektivní hodnocení: Subjektivní hodnocení letu provedli piloti opět v dotaznících po letu. Kdy na desetibodové škále uvedli pociťovanou míru stresu v rámci každé úlohy, kdy 10 je jako nejvíce stresující. U všech úloh v rámci třetího letu pilotka pociťovala stejnou míru stresu, na stupnici uvedla hodnocení 2/10. Čtvrtý let pilot ohodnotil obdobně, v rámci všech úloh pociťoval stejnou míru stresu a na stupnici hodnotil číslem 1/10 všechny úlohy.

Tabulka 23: Výsledky dotazníků po letu (viz. příloha 3)

	1. úloha	2. úloha	3. úloha	4. úloha
pilot č. 3	2/10	2/10	2/10	2/10
pilot č. 4	1/10	1/10	1/10	1/10

Porovnání objektivních veličin se subjektivním hodnocením: I když při třetím letu se tepová frekvence v rámci úloh měnila a došlo postupně ke snižování srdeční frekvence, pilotka při všech úlohách pocítovala stejnou míru stresu.

Při čtvrtém letu subjektivní hodnocení pilota odpovídá naměřeným hodnotám srdeční frekvence. Z grafu č. 28 vidíme, že hodnoty srdeční frekvence se téměř nemění, čemuž odpovídá i hodnocení pilota. Pilot po celou dobu letu nepocítoval žádný stres.

5 Závěr

Cílem diplomové práce bylo popsat dopady stresu na výkon pilota a navrhnout vhodnou metodiku pro zjišťování míry stresu pilota a tu ověřit během reálného experimentu. První část práce se věnuje právě vlivu stresu na pilotovy schopnosti. Dále jsou zde uvedeny studie, které se tématem měření stresu u pilotů již zabývaly a výsledky, které přinesly. Nakonec je zde uveden přehled funkcí, kterými disponuje současná nositelná elektronika a jejich využití v rámci experimentu.

Druhá část práce se věnuje návržení obecné metodiky pro zjišťování míry stresu pilota v reálném provozu. Pokud budou dodrženy jednotlivé body metodiky, může být použita jako podklad pro další měření. Tato metodika byla následně aplikována a ověřena v praxi.

V rámci experimentu k ověření metodiky byly provedeny čtyři stejné lety složené ze čtyř úloh, přičemž náročnost úloh se postupně zvyšovala. První dva lety provedli žáci a další dva lety piloti s vyšším náletem i dosaženými kvalifikacemi. Úlohy byly sestaveny s očekáváním, že u pilotů budou v průběhu letu postupně zvyšovat míru stresu. Toto očekávání se nakonec potvrdilo pouze u některých pilotů, konkrétně pouze u žáků.

Rostoucí náročnost úloh u žáků způsobila i adekvátní odpověď srdeční činnosti. Hodnoty srdeční frekvence se s každou úlohou zvyšovaly. U prvního žáka se průměrná hodnota srdeční frekvence zvýšila až o 22 % u poslední úlohy oproti referenční hodnotě klidové tepové frekvence za letu (kap. 4.5.4), u druhého žáka se zvýšila až o 12 % (kap. 4.6.4). U pilotů se toto očekávání nenaplnilo. V průběhu třetího letu došlo ke snížení hodnot srdeční frekvence z 21 % navýšení v druhé úloze po 17 % navýšení v rámci čtvrté úlohy (kap. 4.7.4). U čtvrtého letu se hodnoty srdeční frekvence i přes rostoucí náročnost téměř neměnily, průměrné navýšení srdeční frekvence bylo 5 % a to v rámci všech úloh oproti referenční hodnotě (kap. 4.8.4).

K posouzení míry stresu bylo použito také subjektivního hodnocení pilotů. Piloti prostřednictvím dotazníků po letu hodnotili na desetibodové škále, jak na sobě při jednotlivých úlohách vnímali stres. Toto subjektivní hodnocení se shodovalo s objektivním měřením pouze ve dvou případech. Konkrétně u pilota č. 2 a č. 4. Pilot, respektive žák druhého letu na sobě pociťoval rostoucí míru stresu. Toto subjektivní hodnocení odpovídá i naměřené srdeční frekvenci, která se v průběhu letu také zvyšovala. Pilot č. 4 na sobě v průběhu celého letu pociťoval stejnou míru stresu, toto hodnocení odpovídá taktéž naměřeným hodnotám srdeční frekvence.

Navržená metodika, která byla aplikována a ověřena v praxi, má potenciál s postupným sbíráním statisticky významných dat, které by pomohly stanovit hranici snesitelné míry stresu, pod kterou je žák během leteckého výcviku schopen učit se. Na základě toho pak může být vytvořena aplikace s prvky umělé inteligence, která by během letu vyhodnocovala u žáka stres.

Z provedeného měření také vyplývá, že v budoucím výzkumu bude vhodnější se v subjektivním hodnocení dotazovat na to, jak se účastníci měření cítí po celém letu a jak je psychicky unavil. Z experimentu a z konzultací s instruktory také vyplývá, že žáci mnohdy nejsou schopni na sobě vnímat zvýšenou zátěž a chtějí pokračovat ve výcviku i přes to, že

začínají dělat chyby, kterých se předtím nedopouštěli. Proto bude při budoucím výzkumu také potřeba znát hodnocení instruktorů. Výzkum bude vhodnější provádět na žácích, protože jak ukázal experiment, je u nich jednodušší vyvolat stres.

6 Seznam použitých zdrojů

- [1] MLČÁK, Jiří. *Psychologie zdraví a nemoci*. Vyd. 2. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2011. ISBN 978-80-7368-951-3. Str. 30, 31.
- [2] KŘIVOHLAVÝ, Jaro. *Jak zvládat stres*. Praha: Grada, 1994. ISBN 80-7169-121-6. Str. 12, 30.
- [3] GREGOR, Ota. *Žít se stresem, to je kumšt*. Vyd. 1. Jinočany: H&H, 1993. ISBN 80-85467-51-8. Str. 7.
- [4] Skybrary. *Stress and Stress Management (OGHFA BN)* © 2021-2022 [cit. 2022-02-03]. Dostupné z: <https://skybrary.aero/articles/stress-and-stress-management-oghfa-bn>
- [5] MIKOTOVÁ, Andrea. *Stres* [online]. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/med/jaro2016/MPPH081p/Stres.pdf>
- [6] 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. Str. 98, 73, 83
- [7] BURŠÍKOVÁ BRABCOVÁ, Dana a Jiří KOHOUT. *Psychometrické ověření české verze Škály vnímaného stresu* [online]. 2018 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: https://e-psycholog.eu/pdf/bursikova-brabcova_kohout.pdf
- [8] NASA task load index. *Digital Healthcare Research* [online]. 2010 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://digital.ahrq.gov/health-it-tools-and-resources/evaluation-resources/workflow-assessment-health-it-toolkit/all-workflow-tools/nasa-task-load-index>
- [9] MUSCHALIK, David. *Vyhodnocování úrovně stresu pilota při přistání s využitím nositelné elektroniky*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/133183>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce Miroslav Šplíchal.
- [10] Wearables – nositelná elektronika. *Jak na internet* [online]. 2022 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://www.jaknainternet.cz/page/2597/wearables---nositelna-elektronika/>
- [11] JELIČ, P. *Proč svítí senzory Apple Watch na spodní straně zrovna zeleně a červeně* [online]. 2022 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://jablickar.cz/proc-sviti-senzory-apple-watch-na-spodni-strane-zrovna-zelene-a-cervene/>

- [12] How to use the blood oxygen app on Apple Watch Series 6 or Series 7. *Support Apple* [online]. 2022 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://support.apple.com/en-us/HT211027>
- [13] What happens to your body when you're stressed – and how breathing can help. *The conversation* [online]. 2018 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://theconversation.com/what-happens-to-your-body-when-youre-stressed-and-how-breathing-can-help-97046>
- [14] Sledování tepové frekvence pomocí Apple Watch. *Podpora Apple* [online]. 2022 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://support.apple.com/cs-cz/HT204666>
- [15] Jak chytré hodinky a náramky měří srdeční tep? *XM* [online]. 2021 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://xm.cz/blog/jak-chytre-hodinky-a-naramky-meri-srdecni-tep/>
- [16] BLAŽEK, Martin. *Analýza stresových parametrů pilotů simulátoru Boeingu*. Praha, 2020. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická.
- [17] PPG Accuracy. *Corsano* [online]. 2022 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.corsano.com/accuracy/>
- [18] Health study finds Apple Watch has the most accurate heart-rate monitor. *Alphr* [online]. 2016 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.alphr.com/fitness-trackers/1004524/health-study-finds-apple-watch-has-the-most-accurate-heart-rate-monitor/>
- [19] RYBÁKOVÁ, Hana. *Sledování tělesné teploty* [online]. 2012 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: https://www.szscb.cz/wp-content/uploads/2016/09/vy_32_inovace_os2-ry-05.pdf
- [20] Best Smartwatch with Temperature Sensor for 2022. *Digital health central* [online]. 2021 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://digitalhealthcentral.com/2021/10/18/smartwatch-with-temperature-sensor/>
- [21] ŠPLÍCHALOVÁ, Markéta. *Má smysl procvičovat kognitivní funkce?* [online]. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/12111767/>
- [22] Human Factors. *The Boeing Company* [online]. 2021 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_08/human_textonly.html
- [23] DISMUKES KEY, R., T. E. GOLDSMITH a J. A. KOCHAN. *Effects of acute stress on aircrew performance: literature review and analysis of operational aspects* [online]. 2015 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z:

https://humansystems.arc.nasa.gov/flightcognition/Publications/NASA_TM_2015_218930-2.pdf

- [24] GILSTRAP, J. *Importance of communication in aviation* [online]. 2019 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://calibration.aero/importance-of-communication-in-aviation/>
- [25] NEWMAN, D. *An overview of spatial disorientation as a factor in aviation accidents and incidents* [online]. 2007 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.atsb.gov.au/media/29971/b20070063.pdf>
- [26] The Effect of Acute Stress on Memory: How It Helps and How It Hurts. *The Inquisitive Mind* [online]. 2018 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://www.in-mind.org/article/the-effect-of-acute-stress-on-memory-how-it-helps-and-how-it-hurts>
- [27] Learning and memory under stress: implications for the classroom. *Nature* [online]. 2016 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/npjscilearn201611>
- [28] VELTMAN, J.A. a A.W.K. GAILLARD. *Physiological indices of workload in a simulated flight task* [online]. 1996 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0301051195051651?via%3Dihb>
- [29] LEE, Y.-H. a B.-S. LIU. *Inflight workload assessment: Comparison of subjective and physiological measurements* [online]. 2003 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://psycnet.apa.org/record/2003-08637-005>
- [30] YLÖNEN, H., H. LYYTINEN, T. LEINO, J. LEPPÄLUOTO a P. KURONEN. *Heart rate responses to real and simulated BA Hawk MK 51 flight* [online]. 1997 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9215465/>
- [31] CAUSSE, M., F. DEHAIS, P. FAALAND a F. CAUCHARD. *An analysis of mental workload and psychological stress in pilots during actual flight using heart rate and subjective measurements* [online]. 2012 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: https://oatao.univ-toulouse.fr/16202/1/Causse_16202.pdf
- [32] XIAORU, W., D. ZHUANG a H. ZHANG. *Improving pilot mental workload evaluation with combined measures* [online]. 2014 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://content.iospress.com/download/bio-medical-materials-and-engineering/bme1041?id=bio-medical-materials-and-engineering%2Fbme1041>
- [33] HEALEY, A. J. a R. W. PICARD. *Detecting Stress During Real-World Driving Tasks Using Physiological Sensors* [online]. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://affect.media.mit.edu/pdfs/05.healey-picard.pdf>

- [34] FIGALOVÁ, Nikol. *Překlad a psychometrické vlastnosti české verze škály vnímaného stresu*. Olomouc, 2019. Dostupné také z: https://theses.cz/id/50ievv/DP_Figalov.pdf. Magisterská diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Filozofická fakulta, Katedra psychologie. Vedoucí práce Miroslav Charvát.
- [35] UL 3 – Výcviková osnova pilota ultralehkého letounu. Praha: Letecká amatérská asociace ČR LAA, 2022-05-09.

7 Seznam příloh

Příloha 1: Dotazník před letem

Příloha 2: PSS dotazník

Příloha 3: Dotazník po letu

8 Příloha 1

Dotazník před letem

1. Věk
.....
2. Celkový hodinový nálet v rámci ULL
.....
3. Celkový počet startů v rámci ULL
.....
4. Datum posledního letu
.....
5. Uveďte další dosažené kvalifikace:
.....
6. Ovlivňuje Vás při létání stres z každodenního života?
 - a) Ano, vždy
 - b) Ano, někdy
 - c) Ne, nikdy
7. Pociťujete stres při vzletu?
 - a) Ano, vždy
 - b) Ano, někdy
 - c) Ne, nikdy
8. Pociťujete stres při přistání?
 - a) Ano, vždy
 - b) Ano, někdy
 - c) Ne, nikdy
9. Pociťujete stres při nácviku nouzového přistání na známém letišti (s instruktorem na palubě)?
 - a) Ano, vždy
 - b) Ano, někdy
 - c) Ne, nikdy

10. Pociťujete stres při nácviku nouzového přisání bez motoru na známém letišti (s instruktorem na palubě)?
- a) Ano, vždy
 - b) Ano, někdy
 - c) Ne, nikdy
11. Přítomnost instruktora na palubě Vás:
- a) Uklidňuje
 - b) Znervózňuje
 - c) Nemá vliv
12. Má na Vás vliv, se kterým instruktorem letíte? Znervózňují Vás někteří instruktoři více než jiní? (Předpokládá se, že všechny instruktory osobně znáte)
- a) Ano.
 - b) Ne, je mi jedno s jakým instruktorem letím. Na mé výkony to nemá vliv.

9 Příloha 2

PSS dotazník [34]

Škála vnímaného stresu CZPSS-10

Otázky v této škále zjišťují Vaše pocity a myšlenky v **posledním měsíci**. U každé otázky prosím zakroužkujte Vaši odpověď. Odpovídejte, pokud možno, bez dlouhého přemýšlení – první odpověď, která Vás napadne, bývá obvykle nejpřesnější. Odpovězte prosím na každou otázku.

Věk: _____

Pohlaví: (zakroužkujte)

muž – žena – jiné

0 = Nikdy 1 = Téměř nikdy 2 = Občas 3 = Poměrně často 4 = Velmi často

1.	Jak často jste v posledním měsíci byl/a rozrušen/a něčím neočekávaným?	0	1	2	3	4
2.	Jak často jste v posledním měsíci měl/a pocit, že nemáte kontrolu nad důležitými věcmi ve svém životě?	0	1	2	3	4
3.	Jak často jste se v posledním měsíci cítil/a nervózní a ve stresu?	0	1	2	3	4
4.	Jak často jste v posledním měsíci věřil/a, že dokážete sebejistě zvládat své osobní problémy?	0	1	2	3	4
5.	Jak často Vám v posledním měsíci přišlo, že jdou věci podle plánu?	0	1	2	3	4
6.	Jak často jste v posledním měsíci zjistil/a, že nezvládáte všechny věci, které musíte udělat?	0	1	2	3	4
7.	Jak často jste v posledním měsíci cítil/a, že dokážete kontrolovat nepříjemné situace ve svém životě?	0	1	2	3	4
8.	Jak často jste v posledním měsíci cítil/a, že máte věci pod kontrolou?	0	1	2	3	4
9.	Jak často jste byl/a v posledním měsíci rozzlobený/á kvůli věcem, které jste nemohl/a ovlivnit?	0	1	2	3	4
10.	Jak často jste v posledním měsíci cítil/a, že se potíže hromadí tak moc, že je nedokážete zvládnout?	0	1	2	3	4

Zkontrolujte prosím, zda jste vyplnil/a všechny položky!

10 Příloha 3

Dotazník po letu

1. úloha – let do prostoru
2. úloha – klasický okruh
3. úloha – nácvik nouzového přistání s motorem
4. úloha – nácvik nouzového přistání bez motoru

Subjektivní hodnocení pilota jednotlivých úloh letu.

1 – nejméně stresující, 10 – nejvíce stresující

Pocitovaná míra stresu při **1. úloze:**

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Pocitovaná míra stresu při **2. úloze:**

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Pocitovaná míra stresu při **3. úloze:**

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Pocitovaná míra stresu při **4. úloze:**

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10