



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  

---

**FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ**  
**Katedra biomedicínské techniky**

**Metody hodnocení dlouhodobé pracovní  
zátěže a operátorů systémů v protivzdušné  
obraně**

**Methods for assessing long-term work load  
of systems operators in air defense**

Diplomová práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Biomedicínský inženýr

Autor diplomové práce: Bc. Klára Ševčíková

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Volf

---

**Kladno 2019**



# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Ševčíková** Jméno: **Klára** Osobní číslo: **434146**  
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**  
Garantující katedra: **Katedra biomedicínské techniky**  
Studijní program: **Biomedicínská a klinická technika**  
Studijní obor: **Biomedicínský inženýr**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Metody hodnocení dlouhodobé pracovní zátěže a operátorů systémů v protivzdušné obraně**

Název diplomové práce anglicky:

**Methods for assessing long-term work load of system operators in air defense**

Pokyny pro vypracování:

V rámci diplomové práce realizujte měření a hodnocení fyziologických dat operátorů systémů protivzdušné obrany. V rámci vyhodnocení se zaměřte na kvantitativní hodnocení chybovosti zápisů operátorů PVO v závislosti na psychickém stresu a mentální únavě. Zápis bude obsahovat minimálně čas přeletu hranic ČR a volací značku letadla. Měření bude probíhat v simulovaném režimu za využití flightradar24. Metody hodnocení budou využívat data ze snímačů pohybové aktivity, dechové frekvence, srdečního tepu a vlhkosti. Cílem je ověřit hypotézu, že je vztah mezi chybovostí zápisů operátorů PVO a jejich psychickým stresem, případně mentální únavě vyvolanými vyšší hustotou provozu. Vybrané metody implementujte v prostředí Matlab a dokumentujte potenciál využití pro optimalizaci výběru směn operátorů.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Ripka, P., Típek, A., Modern Sensors Handbook, ed. 1, John Wiley & Sons, 2010, 518 s., ISBN 9780470394892
- [2] Ingle, V., Proakis, J., Digital Signal Processing Using MATLAB, ed. 3, Cengage Learning, 2011, 624 s., ISBN 9781111427375
- [3] Kutílek, P., Volf, P., Viteckova, S., Smrcka, P., Krivanek, V., Lhotska, L., ... & Stefek, A., Wearable Systems and Methods for Monitoring Psychological and Physical Condition of Soldiers, Advances in Military Technology, ročník 17, číslo 2, 2017

Jméno a příjmení vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Petr Volf**

Jméno a příjmení konzultanta(ky) diplomové práce:

**doc. Ing. Patrik Kutílek, MSc., Ph.D., mjr. Ing. Václav Křivánek, Ph.D.; Mgr. at. Mgr. Iveta Fajnerová, Ph.D.(externí)**

Datum zadání diplomové práce: **18.02.2019**

Platnost zadání diplomové práce: **20.09.2020**

prof. Ing. Peter Kneppo, DrSc.  
podpis vedoucí(ho) katedry

prof. MUDr. Ivan Dylevský, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem „Metody hodnocení dlouhodobé pracovní zátěže a operátorů systémů v protivzdušné obraně“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k diplomové práci.

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

V Kladně 16. 5. 2019

.....

Bc. Klára Ševčíková

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji Ing. Petru Volfovi za vedení mé práce, připomínky, rady a podporu při psaní mé diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat panu doc. Ing. Patriku Kutílkovi, MSc, PhD. za přínosné rady a připomínky, Mgr. et Mgr. Ivetě Fajnerové, PhD. za pomoc při psaní práce v oblasti psychologického hodnocení, mjr. Ing. Václavu Křivánkovi za pomoc v oblasti vojenských technologií a v neposlední řadě MUDr. Haně Řádové, PhD. za ochotu a pomoc při hledání subjektivních metod hodnocení používaných v České republice.

## **ABSTRAKT**

### **Metody hodnocení dlouhodobé pracovní zátěže a operátorů systémů v protivzdušné obraně**

Cílem diplomové práce bylo realizovat měření a navrhnout hodnocení fyziologických dat operátorů systémů protivzdušné obrany. Hodnocení bylo zaměřeno na kvantitativní hodnocení chybovosti zápisů operátorů PVO v závislosti na psychickém stresu a mentální únavě. Pro vyhodnocení byla použita objektivní metoda Poincarého grafu a parametru variabilita srdečního tepu (HRV) a statistické testování hypotézy, zda chybovost zápisů probanda je závislá na hustotě leteckého provozu. Vyhodnocením parametru HRV nebyl prokázán vliv stresové situace na srdeční činnost. Byla prokázána závislost chybovosti zápisů letadel na hustotě leteckého provozu na hladině významnosti 5 %. Závěry této práce lze využít pro optimalizaci směn operátorů řízení leteckého provozu.

### **Klíčová slova**

řízení letového provozu, pracovní zátěž, tepová frekvence, dechová frekvence, chybovost záznamů

## **ABSTRACT**

### **Methods for assessing long-term work load of systems operators in air defense**

The aim of Master's thesis was to realize measurements and to propose evaluation of physiological data of air defense system operators. The evaluation was focused on the quantitative evaluation of the human error rate of air defense operators depending on mental stress and mental fatigue. The objective method of Poincaré graph and heart rate variability (HRV) parameter and statistical testing of the hypothesis, whether the human error rate is dependent on the air traffic density, was used for evaluation. The evaluation of the HRV parameter did not demonstrate the effect of the stress situation on cardiac activity. The dependence of the human error rate of aircraft operators on the air traffic density at the 5% significance level was demonstrated. The conclusions of this thesis can be used for optimization of air traffic control operators shifts.

### **Keywords**

air traffic control, work load, heart rate, breath rate, human error rate

# Obsah

|  |           |
|--|-----------|
| Seznam symbolů a zkratek.....  | 9         |
| <b>1 Úvod .....</b>  | <b>11</b> |
| 1.1 Přehled současného stavu.....  | 11        |
| 1.2 Cíle práce.....  | 12        |
| <b>2 Přehled současného stavu.....</b>   | <b>14</b> |
| 2.1 Pracovní a stresová zátěž organismu .....  | 14        |
| 2.2 Metody hodnocení fyziologických dat.....   | 15        |
| 2.2.1 Objektivní.....  | 15        |
| 2.1 Subjektivní .....  | 19        |
| 2.1.1 Metodika pro hodnocení úrovně pracovních podmínek z hlediska psychické a senzorické zátěže ..... | 19        |
| <b>3 Metody .....</b>  | <b>28</b> |
| 3.1 Vybrané metody hodnocení .....   | 28        |
| 3.1.1 Objektivní metoda .....  | 28        |
| 3.1.2 Subjektivní metoda.....  | 29        |
| 3.2 Sběr dat.....  | 30        |
| 3.2.1 Probandi.....  | 30        |
| 3.2.2 Vybavení.....  | 30        |
| 3.3 Průběh experimentu.....  | 35        |
| 3.4 Zpracování dat.....  | 38        |
| 3.4.1 Zpracování dat ze systému FlexiGuard – fyziologické parametry.....                               | 39        |
| 3.4.2 Zpracování dat ze systému FlexiGuard – parametr HRV .....  | 43        |
| 3.4.3 Zpracování dat – záznam letadel probandem do archu .....   | 45        |
| 3.4.4 Statistické vyhodnocení chybovosti .....   | 47        |
| <b>4 Výsledky.....</b>   | <b>49</b> |
| 4.1 Výsledky fyziologických parametrů .....  | 49        |
| 4.2 Výsledky parametru HRV .....   | 53        |
| 4.3 Výsledky záznamů letadel jednotlivých probandů.....  | 54        |
| 4.4 Výsledky statistického zpracování dat .....  | 58        |
| 4.5 Výsledky subjektivní metody.....   | 61        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>5</b> | <b>Diskuse.....</b>   | <b>62</b>  |
| <b>6</b> | <b>Závěr.....</b>   | <b>65</b>  |
|          | <b>Seznam použité literatury .....</b>  | <b>66</b>  |
|          | <b>Příloha A: Informovaný souhlas .....</b>                                     | <b>73</b>  |
|          | <b>Příloha B: Schválení Etickou komisí.....</b>                                 | <b>74</b>  |
|          | <b>Příloha C: Dotazníky pro subjektivní hodnocení pracovní zátěže.....</b>      | <b>75</b>  |
|          | <b>Příloha D: Vzorový zdrojový kód pro zpracování dat programu Matlab .....</b> | <b>87</b>  |
|          | <b>Příloha E: Další výsledky .....</b>  | <b>98</b>  |
|          | <b>Příloha F: Obsah přiloženého CD .....</b>                                    | <b>109</b> |



# Seznam symbolů a zkratek

## Seznam symbolů

| Symbol       | Jednotka | Význam  |
|--------------|----------|---|
| RR           | -        | Rekurentní rozsah                                       |
| $R_{ij}$     | -        | Rekurentní matice                                       |
| $N$          | -        | Počet záznamů   |
| $N_n$        | -        | Průměrný počet sousedních bodů                          |
| DET          | -        | Determinismus   |
| DIV          | -        | Divergence  |
| $l$          | m        | Délka struktury   |
| $L_{max}$    | m        | Maximální délka diagonální struktury                    |
| $p(l)$       | -(%)     | Pravděpodobnost existence diagonální linie              |
| ENTR         | -        | Shannonova entropie                                     |
| RATIO        | -        | Poměr determinismu a rekurentního rozsahu               |
| $P(l)$       | -        | Počet diagonálních čar                                  |
| LAM          | -        | Laminarita  |
| $P(v)$       | -        | Počet vertikálních čar                                  |
| TT           | min      | Zachycovací čas   |
| $v_{min}$    | m        | Předdefinovaná minimální délka vertikální délky         |
| $V_{max}$    | m        | Maximální délka vertikálních linií                      |
| $N_v$        | -        | Absolutní hodnota počtu vertikálních linií              |
| $t$          | s        | Čas   |
| $\delta x_i$ | -        | Euklidovská vzdálenost                                  |
| $\lambda_i$  | -        | Průměrný růst počáteční vzdálenosti $\ \delta x_i(0)\ $ |
| $m$          | -        | Počet Lyapunových exponentů                             |
| $P_i(t)$     | -        | Délka i-té osy  |
| $\bar{x}$    | -        | Aritmetický průměr                                      |
| $\sigma, SD$ | -        | Směrodatná odchylka                                     |
| SD1, SD2     | -        | Parametry Poincarého metody                             |
| $f$          | Hz       | Frekvence   |
| $p$          | -        | p-hodnota   |
| $n$          | -        | počet záznamů   |
| $Mean$       | -        | Průměrná počet záznamů                                  |
| $W$          | -        | Testovací kritérium Shapiro-Wilksova testu normality    |
| $U$          | -        | Testovací kritérium Mann-Wilkeyova testu                |

## Seznam zkratek

| Zkratka  | Význam                   |
|----------|--------------------------|
| PVO      | Protivzdušná obrana      |
| ŘLP      | Řízení leteckého provozu |
| NASA TLX | NASA Tak Load Index      |
| HDP      | Hrubý domácí produkt     |
| ČR       | Česká republika          |
| HRV      | Heart Rate Variability   |
| EKG      | Elektrokardiograf        |
| R        | Množina reálných čísel   |

## **pokračování Seznamu zkratek**

---

|        |  |
|--------|--|
| SZÚ    | Státní zdravotní ústav   |
| KHS    | Krajská hygienická stanice                                     |
| SPÚ    | Subjektivní příznaky únavy                                     |
| PVS    | Personal Views Survey  |
| HS     | Hrubé skóre  |
| HD     | Hardiness, tj. odolnost  |
| CO     | Control, tj. zvládnání   |
| CM     | Commitment, tj. odpovědnost                                    |
| CA     | Challenge, tj. výzva   |
| USA    | United States of America, tj. Spojené státy americké           |
| AČR    | Armáda České republiky   |
| ČVUT   | České vysoké učení technické                                   |
| FBMI   | Fakulta biomedicínského inženýrství                            |
| ADS-B  | Automatic Dependent Surveillance-broadcast                     |
| ATC    | Air Traffic Control, tj. řízení leteckého provozu              |
| MLAT   | Multilateration  |
| TDOA   | Time Difference of Arrival                                     |
| MSU    | Modular sensing unit   |
| NÚDZ   | Národní ústav pro duševní zdraví                               |
| BAI    | Beck Anxiety Inventory, tj. Beckův inventář úzkosti            |
| GMT    | Greenwich Mean Time  |
| AMS    | Automatic Monitoring System                                    |
| Matlab | Mathematic Laboratory  |
| FIR    | Finite impulse response, tj. filtr s konečnou impulzní odezvou |
| HTD    | High Traffic Density, tj. velká hustota provozu                |
| LTD    | Low Traffic Density, tj. malá hustota provozu                  |

---

# 1 Úvod

Protivzdušná obrana státu je klíčovou složkou obrany každého státu a jejím cílem je ochrana leteckého prostoru státu. Proto je nutné klást na ni vysoké požadavky. A to jak na technickou stránku, tak na lidské zdroje. Armáda ČR klade důraz na zajištění co nejlepšího technického vybavení nutného ke splnění tohoto úkolu. Stejně jako je kladen velký důraz na technické vybavení, je třeba aby obsluha této techniky měla adekvátní podmínky ke splnění tohoto úkolu a byla vybavena jak po technické stránce, tak po vědomostní a personální. V posledních desetiletích nebylo provedeno žádné výrazné přizpůsobení se současnému vývoji v letecké dopravě a stále narůstajícímu počtu letadel pohybujících se v leteckém prostoru. Vedení Armády ČR se rozhodlo tento stav řešit a byl zahájen projekt s cílem optimalizovat směny operátorů Protivzdušné obrany (dále jen PVO) na Řízení leteckého provozu (dále jen ŘLP). Dílčím úkolem tohoto projektu je tato diplomová práce, která se zaměřuje na hodnocení dlouhodobé pracovní zátěže a operátorů systémů v PVO.

K vyhodnocení pracovní zátěže na organismus existuje mnoho metod – jak objektivních jako je například Poincarého metoda, Layponův exponent aj., tak subjektivních jako např. NASA TLX dotazník nebo speciálně pro Českou republiku sestavená Metodika pro hodnocení úrovně pracovních podmínek z hlediska psychické a sensorické zátěže, která byla sestavena Statním zdravotním ústavem na základě mnohaletých zkušeností z praxe z ověřených mezinárodně uznávaných testů.

## 1.1 Přehled současného stavu

Obrana českého státu je klíčovým prvkem jeho existence. V dnešní době sice nejsou v oblasti střední Evropy běžné lokální konflikty o jednotlivá menší území jako tomu bylo například v dávné historii, zato ale bohužel nejsou výjimkou globální konflikty, hlavně na Blízkém východě, v některých oblastech Afriky nebo Asie. V dnešní době se válka vede hlavně na poli kybernetickém, ale i pozemní válka má stále nezastupitelný podíl ve vedení vojenského konfliktu. Jednotlivé státy, především menší státy, resp. státy s menším počtem obyvatel jsou odkázány ale také na mezinárodní pomoc. Proto v průběhu historie vznikala různá spojení a později vojenské organizace, které měly, popř. mají, za úkol ochranu vnějších hranic státu svých spojenců a v případě vojenského

konfliktu se spojit a danému spojenci pomoci. Příkladem této vojenské výpomoci je například euroatlantický vojenský pakt NATO, které bylo založeno po druhé světové válce [1]. Česká republika je členem této aliance od roku 1999, kdy do aliance vstoupila jako jedna z prvních zemí tzv. Východního bloku. Aby mohla být vojenská pomoc v případě vojenského konfliktu spojenecké země poskytnuta, bylo nutno stanovit několik podmínek členství, např. směřovat k tržnímu hospodářství, podporovat demokracii a diverzitu aj. [2]. Jednou z podmínek je i každoroční investice 2 % HDP na ozbrojené složky [3].

Stejně jako musí země splňovat dané podmínky, tak i samotný členský stát se stará o obranu svého území [4]. A to jak pozemního prostoru, tak vzdušného prostoru. Proto součástí Armády ČR jsou Vzdušné síly Armády ČR, jejichž úkolem je obrana vzdušného prostoru státu. Jednotky a útvary Vzdušných sil Armády ČR jsou zároveň součástí integrovaného systému protivzdušné a protiraketové obrany NATO s názvem NATINAMDS a v případě ohrožení je systém dále podpořen aktivací Národního posilového systému protivzdušné obrany [5].

Tato práce je zaměřena na hodnocení dlouhodobé zátěže operátorů Řízení leteckého provozu. Konkrétně na reakce organismu na dlouhodobé vystavení organismu velké zátěži, která je součástí práce operátora Řízení leteckého provozu. Snaží se vyhodnotit vliv této zátěže na organismus člověka a vliv této zátěže na chybovost a výkon operátora ŘLP.

## 1.2 Cíle práce

Cílem této diplomové práce je návrh a aplikace vhodných metod v pilotním experimentu pro hodnocení dlouhodobé pracovní zátěže pro operátory Řízení leteckého provozu Armády České republiky z naměřených fyziologických dat a vyplněných záznamů letadel při simulovaném experimentu na Univerzitě Obrany v Brně.

Tato diplomová práce si klade za dílčí cíl na základě naměřených fyziologických dat (srdeční tep, dechová frekvence, pohybové aktivity a relativní vlhkosti těla) a současných poznatků o reakci organismu na dlouhodobou zátěž stanovit míru zátěže operátorů ŘLP. Dalším dílčím cílem této diplomové práce je stanovení chybovosti operátorů ŘLP na základě zaznamenaných počtů záznamů letadel během simulovaného experimentu a pomocí statistického vyhodnocení stanovit, zda je souvislost mezi hustotou provozu a chybovostí operátorů kvůli psychickému stresu případně mentální únavě.

Následné využití této práce je v detailnějším zpracování vyhodnocení chybovosti operátorů a komplexnějším zhodnocení fyziologických parametrů. Výsledky této diplomové práce mohou posloužit jako výchozí hodnocení pro rozsáhlejší zkoumání dlouhodobé pracovní zátěže pracovníků podobných pozic v Armádě České republiky.

## 2 Přehled současného stavu

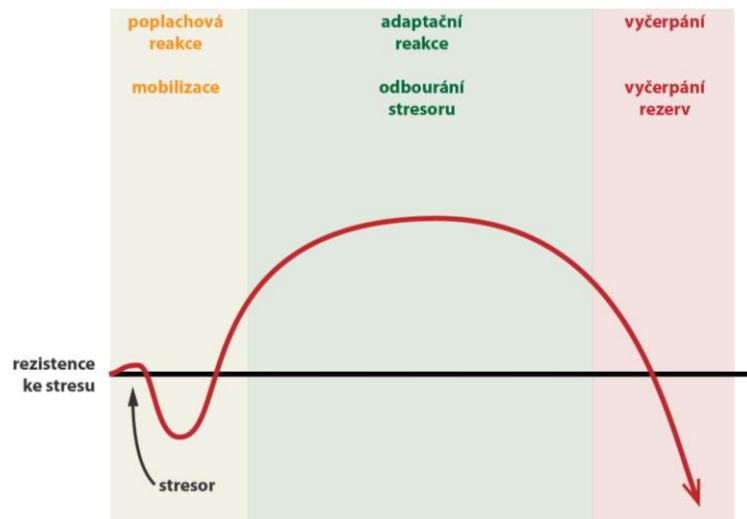
### 2.1 Pracovní a stresová zátěž organismu

Lidský organismus je neustále vystavován určité míře stresových situací, protože na něj pořád působí nějaké vlivy z okolního prostředí. Na tato podněty lidské tělo reaguje a odpovídá svým způsobem. Aby člověk udržel určitou míru optimálního stavu, je nucen reagovat různými obrannými reakcemi. Pokud je lidské tělo nuceno se přizpůsobovat více, než je meze běžných výkyvů, odpovídá tělo stresovou reakcí. Je to přirozená reakce lidské mysli a těla na neočekávané nároky aktuální situace. Literatura [6] rozlišuje tři druhy stresu. Fyzikální stres vzniká v důsledku působení fyzikálních vlivů z okolního prostředí, např. přetížení, horko aj. Fyziologický stres vzniká v důsledku změn vnitřního prostředí lidského organismu, např. hladovění, spánková deprivace aj. A emocionální stres, který vzniká v důsledku působení nadměrné emocionální zátěže ve vztazích člověka k okolí a ve společnosti, např. časová tíseň, složitá rodinná situace a další. [6]

Tělo na stres odpovídá fyziologickou odpovědí. Tato odpověď vzniká na podkladě reakce „útek nebo útok“. Jde o vývojový mechanismus, který kdysi zajišťoval lidem přežití v nebezpečném prostředí. Hlavní roli v reakci na stresovou situaci hraje autonomní nervový systém. Tělo je připravováno na zvýšený výkon, proto jedním z hlavních příznaků stresu je zrychlení srdečního tepu a dechové frekvence a zvýšené pocení. [6] [7]

Díky moderní technice je v dnešní době možnost velmi přesného záznamu srdeční činnosti a její následné analýzy. Žádná technologie nemůže nahradit člověka, popř. lékaře, ale v posledních letech je stále více možností, jak vyhodnocovat mentální stres za použití vyhodnocovacích metod. Velmi slibnou metodou je metoda hodnocení parametru variabilita srdečního rytmu (HRV), který se podle [8] zdá velmi slibnou a přesnou metodou. Proto byla zvolena i v této práci jako objektivní metoda pro vyhodnocení dlouhodobé pracovní zátěže.

Dalším parametrem vhodným k vyhodnocení je zvýšené pocení lidské pokožky. Dle [9] je normální hodnota relativní vlhkosti lidské pokožky 35–60 %. Protože se během stresové situace taktéž zvyšuje dechová frekvence, která se v klidu pohybuje mezi 12–16 dechy za minutu [10], byl i tento fyziologický parametr zvolen pro vyhodnocení dlouhodobé pracovní zátěže. Posledním zvoleným parametrem je pohybová aktivita. Podle toho, v jaké fázi stresu (viz obrázek 2.1) se lidský organismus nachází, tak reaguje i pohybem, resp. útlumem. [11]



**Obrázek 2.1: Graf fází reakce lidského organismu na stresový podnět [11]**

1. fáze – poplachová, 2. fáze – adaptační, 3. fáze – fáze vyčerpání

## 2.2 Metody hodnocení fyziologických dat

Dynamické fyziologické systémy lze rozdělit na lineární a nelineární. Lineární dynamické fyziologické systémy se dají popsat prostým součtem jejich jednotlivých složek. Příkladem takového systému je sinoatriální uzel. Nelineární dynamické fyziologické systémy se vyznačují tím, že jednotlivé složky se sčítají, ale podílejí se také na zesílení jednotlivých vstupních parametrů. Příkladem nelineárního systému je autonomní kontrola srdeční. Ta je podle řady odborníků z oblasti fyziologie navíc systémem deterministickým, tedy systémem, kde dochází k periodickému opakování daného stavu, tj. rekurenci. [12] [13] [14] [15] [16] [17] [18] [19] [20] [21]

### 2.2.1 Objektivní

Objektivní metody jsou takové, které hodnotí proces objektivně, nezávisle na subjektivním hodnocení. Tyto metody v případě zpracování biomedicinských dat zpracovávají data naměřená například na probandech a objektivně je hodnotí. Neberou ale v úvahu subjektivní hodnocení a pocity probanda, které často pomohou velmi pomoci v celkovém hodnocení.

Jedním z dělení objektivních metod zpracování dat je rozdělení na lineární a nelineární metody, tedy metody, které jsou (ne)závislé na čase.

## Nelineární metody

Nelineární metody jsou v současné době velmi oblíbeným nástrojem pro analýzu záznamu EKG. A to především díky jejich robustnosti v extrakci a klasifikaci znaků. [22]

### Rekurentní analýza (RQA)

Rekurentní analýza patří k poměrně novým metodám zpracování záznamu srdeční činnosti a posouzení variability srdeční činnosti. Je určena především pro grafické zobrazení rychle se měnících a nestabilních dat [16]. Na rozdíl od většiny metod rekurentní analýza nepředpokládá, že časové řady jsou získávány od autonomního dynamického systému. Tzn., že údaje časové řady by měly být delší než charakteristický čas dynamického systému. Díky tomu poskytuje tato metoda užitečné informace i v případě, že výše uvedené podmínky nejsou splněny. [22]

Na základě metody je sestaven rekurentní graf, který hodnotí systémy ve dvou časech a naznačuje existenci podobnosti umístěním bodu do rekurentního grafu [22]. Hlavní výhodou metody je, že není třeba žádné matematické transformace nebo předpokladu [23]. Nevýhodou je skutečnost, že výsledky metody jsou pouze kvalitativní. Aby byla překonána tato omezení, bylo navrženo několik opatření komplexity, které kvantifikují maloplošné struktury v rekurentním grafu [24]. Některé práce uvádí, že proměnné rekurentní analýzy mohou detekovat bifurkační body jako přechody chaos-pořádek [25]. Vertikální struktury představují intermitentní a laminární stavy. Proměnné rekurentní analýzy odpovídající svislým strukturám umožňují detekci přechodu chaos-chaos [24]. Metoda využívá následující proměnné ke zkoumání změn v rekurentním grafu:

- **rekurentní rozsah** (recurrence rate, RR) nebo také procento rekurence – Tato proměnná měří hustotu rekurentních bodů v grafu. Matematicky je definována vztahem

$$RR(\varepsilon) = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N R_{i,j}(\varepsilon), \quad (1)$$

kde  $R_{i,j}$  je rekurentní matice a  $N$  je počet záznamů.

- **průměrný počet sousedních bodů** (average number of neighbours,  $N_n$ ) – Proměnná reprezentuje průměrný počet sousedních bodů, které jsou závislé na každém bodě trajektorie v jeho  $\varepsilon$ -sousedství. Matematicky je vyjádřena vztahem

$$N_n(\varepsilon) = \frac{1}{N} \sum_{i,j=1}^N R_{i,j}(\varepsilon), \quad (2)$$

kde  $N_n$  je počet (nejbližších) sousedních bodů.



- **determinismus** (DET) – Determinismus, jinak předvídatelnost systému, vyjadřuje poměr počtu bodů rekurence tvořících diagonální struktury (délka struktur  $\geq l_{min}$ ) a celkovému počtu rekurentních bodů. Prahová hodnota  $l_{min}$  vylučuje diagonální hodnoty, které jsou vytvářeny tangenciálním pohybem trajektorie fázového prostoru. Determinismus je vyjádřen matematickým vztahem

$$DET = \frac{\sum_{l=l_{min}}^N lP(l)}{\sum_{l=1}^N lP(l)}, \quad (3)$$

kde  $P(l) = \sum_{i,j=1}^N (1 - R_{i-1,j-1}(\varepsilon)) (1 - R_{i+l,j+l}(\varepsilon)) \prod_{k=0}^{l-1} R_{i+k,j+k}(\varepsilon)$  je histogram diagonálních struktur o délce  $l$ .

- **divergence** (DIV) – Inverze nejdelší diagonální struktury objevující se v rekurentním grafu. Odpovídá exponenciální divergenci trajektorie fázového prostoru, tzn., že čím je divergence větší, diagonální struktury jsou kratší a trajektorie diverguje rychleji. Divergenci se matematicky vyjadřuje jako

$$DIV = \frac{1}{L_{max}} = \frac{1}{\max(\{l_i\}_{i=1}^{N_l})}, \quad (4)$$

kde  $L_{max}$  je délka nejdelší diagonální struktury.

- **entropie** (ENTR) – Shannonova entropie je pravděpodobnost  $p(l)$  existence diagonální linie délky  $l$  v rekurentním grafu. Tato proměnná ukazuje komplexitu grafu a zároveň bere v potaz diagonální linie. Matematicky je vyjádřena

$$ENTR = - \sum_{l=l_{min}}^N p(l) \ln(p(l)), \quad (5)$$

kde  $p(l)$  je pravděpodobnost existence diagonální linie.

- **poměr** (RATIO) – Ratio je poměr determinismu a rekurentního rozsahu. Je vhodný pro identifikaci změn v dynamickém systému. Matematicky ho lze vyjádřit následovně

$$RATIO = N^2 \frac{\sum_{l=l_{min}}^N lP(l)}{(\sum_{l=1}^N lP(l))^2}, \quad (6)$$

kde  $P(l)$  je počet diagonálních čar.

- **laminarita** (LAM) – Laminarita je poměr počtu rekurentních bodů představujících vertikální linie a celkového počtu rekurentních bodů v grafu. Tato proměnná poskytuje informaci o výskytu laminárních stavů v systému. Hodnota laminarity klesá, pokud v rekurentním grafu je více jednotlivých bodů než vertikálních struktur. Matematicky ji lze popsat jako

$$LAM = \frac{\sum_{v=v_{min}}^N v P(v)}{\sum_{v=1}^N v P(v)}, \quad (7)$$

kde  $P(v) = \sum_{i,j=1}^N (1 - R_{i,j})(1 - R_{i,j+v}) \prod_{k=0}^{v-1} R_{i,j+k}$  je počet vertikálních čar.

- **zachycovací čas** (trapping time, TT) – Jedná se o odhad průměrné délky vertikálních struktur. Tato proměnná informuje o průměrném času, po který systém vydrží v určitém stavu. Výpočet proměnné vyžaduje brání v potaz minimum délky  $v_{min}$  a vypočítá se jako

$$TT = \frac{\sum_{v=v_{min}}^N v P(v)}{\sum_{v=v_{min}}^N P(v)}, \quad (8)$$

kde  $v_{min}$  je předdefinovaná minimální délka vertikální délky.

- **maximální délka vertikálních linií** (maximum length of vertical lines,  $V_{max}$ ) – Tato proměnná je matematicky definována jako

$$V_{max} = (\{v_l\}_{l=1}^{N_v}), \quad (9)$$

kde  $N_v$  je absolutní hodnota počtu vertikálních linií. [22]

### Lyapunův exponent

Metoda Lyapunova exponentu je kvantitativní metoda sloužící ke změření průměrné míry zobrazení divergence a konvergence přilehlých trajektorií ve fázovém prostoru, zobrazující změnu v dynamickém systému při změně vstupních podmínek, na kterou je dynamický systém velmi citlivý [26]. Lyapunovy exponenty udávají odhad doby, po kterou je chování systému předpověditelné, než převládne v systému chaos.

Pozitivní Lyapunův exponent ukazuje na divergující trajektorie ve fázovém prostoru a na systém ztrácející předvídatelnost, tj. systém se začíná chovat chaoticky. Negativní Lyapunův exponent reprezentuje průměr konvergence trajektorií ve fázovém prostoru. [27] [28] [29]

Pokud  $\|\delta x_i(0)\|$  a  $\|\delta x_i(t)\|$  reprezentují Euklidovskou vzdálenost mezi dvěma sousedícími body fázového prostoru v  $i$ -tém směru v čase 0 až  $t$ , Lyapunův exponent můžeme definovat jako průměrný růst  $\lambda_i$  počáteční vzdálenosti  $\|\delta x_i(0)\|$ .

$$\lambda_i = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \log \frac{\|\delta x_i(t)\|}{\|\delta x_i(0)\|}, \quad (10)$$

kde  $\lambda_i$  je průměrný růst počáteční vzdálenosti  $\|\delta x_i(0)\|$ .

Počet dimenzí dynamického systému rozhoduje o počtu Lyapunových exponentů, tzn., pokud systém je definován v  $R^m$ , tak systém má  $m$  Lyapunových exponentů ( $\lambda_1 \geq \lambda_2, \dots, \lambda_m$ ). Lyapunovy exponenty daného dynamického systému s počtem dimenzí  $m$  mohou být souhrnně popsány za podmínky uvážení extrémně malé oblasti počátečních

podmínek majících  $m$  dimenzí, která je upevněna do referenční trajektorie fázového prostoru. Pokud  $P_i(t)$  představuje délku  $i$ -té osy a osy jsou uspořádány v pořadí od nejrychlejší k nejpomalejší, pak vzorec (11) vyjadřuje kompletní set Lyapunových exponentů uspořádaných od největšího po nejmenší. [30]

$$\lambda_i = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \log \left( \frac{P_i(t)}{P_i(0)} \right), \quad (11)$$

kde  $i = 1, 2, \dots, m$ .

Lyapunovy exponenty mohou být vypočítány z dalších matematických rovnic popisujících dynamický systém nebo z pozorování časových řad. Obvykle se používají dvě rozdílné metody pro získání Lyapunových exponentů zpozorovaných signálů. První metoda bývá založena na konceptu časového vývoje poblíž bodů ve fázovém prostoru. Tato metoda ale umožňuje pouze hodnocení největšího Lyapunova exponentu. Ostatní metody jsou závislé na výpočtu lokálních Jakobiánů a odhadu všech Lyapunových exponentů. Všechny Lyapunovy exponenty dynamického systému dohromady tvoří Lyapunovo spektrum. [22]

## 2.1 Subjektivní

Subjektivní metody hodnotí subjektivní pocity probandů a doplňují objektivní hodnocení. Subjektivním hodnocením se hodnotí mentální stres, vliv monotonie práce, snížená bdělost a další. Pro hodnocení těchto parametrů je v České republice využívána Metodika pro hodnocení úrovně pracovních podmínek z hlediska psychické a senzorické zátěže, která byla sestavena Státním zdravotním ústavem (SZÚ) právě pro toto hodnocení. [31]

### 2.1.1 Metodika pro hodnocení úrovně pracovních podmínek z hlediska psychické a senzorické zátěže

Při hodnocení a posuzování mentálních a psychických faktorů práce se podle této zmíněné metodiky SZÚ sledují následující faktory: typy prováděných úkolů, způsob a frekvence provádění jednotlivých úkolů, možnost změny polohy těla, hodnocení stimulačních úkolů, volnost vlastního rozhodování probanda při práci, vazba na další osoby, časový tlak, motivace probanda k práci, pracovní zkušenosti (zácvik), dostatek odpočinkových pauz. Mezi základní stresory, tj. faktory při práci způsobující stres, vyplývající z charakteru práce se podle metodiky SZÚ řadí (pouze vybrané, které se týkají operátora systémů protivzdušné obrany): vysoký stupeň monotonie, zvýšené nároky

na kognitivní procesy jako pozornost, zpracování velkého množství informací a další, práce s vědomím rizika a odpovědnosti, nevhodný režim práce a odpočinku (nevhodná rotace směn, nerovnoměrné rozložení časových úkolů aj.).

Mezi metody používané a doporučené SZÚ a Krajskými hygienickými stanicemi (KHS) pro hodnocení psychické zátěže řadíme Meisterův dotazník (hodnocení psychické zátěže při práci), dotazník N-5 (hodnocení neurotických potíží), dotazník SPÚ (dotazník subjektivních příznaků únavy), dotazník PVS (Personal Views Survey), Bortnerův dotazník a dotazník zrakových potíží. [31]

### Meisterův dotazník

Meisterův dotazník se používá k hodnocení vlivů pracovní činnosti na psychiku pracovníků, v tomto případě na operátory systémů protivzdušné obrany. Dotazník byl sestaven W. Meisterem v 70. letech a následně ověřen hygienickou službou. Používá se záznamový arch a při vyhodnocení výsledků lze postupovat dvojím způsobem. Buď podle faktorů nebo podle jednotlivých položek. Při hodnocení zatěžujících faktorů se sleduje překročení kritických hodnot mediánu. U druhého způsobu je u položek, kde je překročena kritická hodnota mediánu, práce hodnocena negativně, a kde kritická hodnota překročena nebyla, tak je práce hodnocena kladně. Vzor dotazníku dle [31] je v příloze C. [31]

Vyhodnocení Meisterova dotazníku podle faktorů stanovuje tři faktory. Prvním faktorem je přetížení, druhým faktorem jednostrannost, tedy monotonie a třetím faktorem je tzv. nespecifický faktor, který je také nazýván jako stresová odezva. Každý faktor má v otázkách dotazníku své zastoupení, viz tabulka 2.1. Celkové hodnocení lze použít pro jednotlivce či skupinu. Pro celou skupinu se používají aritmetické průměry jednotlivých sledovaných faktorů a hrubého skóre. [32]

**Tabulka 2.1: Jednotlivé faktory a příslušné hodnocení [32]**

| <b>Faktor</b> | <b>Název faktoru</b> | <b>Součet položek<br/>(body za jednotlivé<br/>otázky)</b> | <b>Maximum</b> |
|---------------|----------------------|---|----------------|
| I.            | Přetížení            | 1 + 3 + 5   | 15             |
| II.           | Monotonie            | 2 + 4 + 6   | 15             |
| III.          | Nespecifický faktor  | 7 + 8 + 9 + 10  | 20             |
| HS            | Hrubé skóre          | I. + II. + III.   | 50             |

V tabulce 2.2 a 2.3 jsou uvedeny aritmetické průměry (pro hodnocení skupiny) a kritické hodnoty (pro jednotlivce) k vyhodnocení Meisterova dotazníku pro ženy

a muže zvlášť. Uvedené hodnoty byly získány a zpracovány hygienickou službou pro českou populaci. Překročení uvedených kritických hodnot je hodnoceno jako nadměrná zátěž v dané oblasti hodnocení. [32]

**Tabulka 2.2: Aritmetické průměry a kritické hodnoty pro ženy k vyhodnocení Meisterova dotazníku**

| <b>Ženy</b>   |                      |  |  |                         |
|---------------|----------------------|--|--|-------------------------|
| <b>Faktor</b> | <b>Název faktoru</b> | <b>Aritmetický průměr <math>\bar{x}</math> (-)</b> | <b>Směrodatná odchylka <math>\sigma</math> (-)</b> | <b>Kritická hodnota</b> |
| I.            | Přetížení            | 8,4  | 3,2  | 10,0                    |
| II.           | Monotonie            | 7,6  | 3,0  | 9,0                     |
| III.          | Nespecifický faktor  | 11,7   | 4,4  | 14,0                    |
| HS            | Hrubé skóre          | 25,0   | 8,1  | 29,0                    |

**Tabulka 2.3: Aritmetické průměry a kritické hodnoty pro muže k vyhodnocení Meisterova dotazníku**

| <b>Muži</b>   |                      |  |  |                         |
|---------------|----------------------|--|--|-------------------------|
| <b>Faktor</b> | <b>Název faktoru</b> | <b>Aritmetický průměr <math>\bar{x}</math> (-)</b> | <b>Směrodatná odchylka <math>\sigma</math> (-)</b> | <b>Kritická hodnota</b> |
| I.            | Přetížení            | 10,6   | 3,0  | 12,0                    |
| II.           | Monotonie            | 6,4  | 3,2  | 8,0                     |
| III.          | Nespecifický faktor  | 10,3   | 4,1  | 12,0                    |
| HS            | Hrubé skóre          | 22,9   | 6,4  | 26,0                    |

*Poznámka: Kritické hodnoty v tabulkách x a x reprezentují  $x + 0,5\sigma$ .*

Dalším možným pojetím vyhodnocení Meisterova dotazníku je vyhodnocení podle jednotlivých položek. Při hodnocení zatěžujících faktorů hodnotí překročení kritických hodnot mediánů (viz tabulka 2.4). V těchto položkách se při vyhodnocení podle položek sledují položky, kde medián překračuje kritickou hodnotu, a práce je hodnocena negativně. U položek nedosahujících kritickou hodnotu mediánu je práce hodnocena kladně. Jednotlivé kritické hodnoty mediánu u položek jsou vyneseny do tabulky 2.4 (viz tabulka 2.4). [32]

Následně je třeba klasifikovat psychickou zátěž, která se určuje ve třech stupních, které jsou uvedeny v tabulce 2.6. Vyhodnocení se provede tak, že se sečtou mediány pro jednotlivé faktory (např. pro faktor I. se sečtou otázky 1, 3 a 5 atd.). Po sečtení mediánů mohou nastat tři situace. V první situaci má faktor I. nejméně o dva body vyšší součet mediánů než faktor II., a proto se k němu přičte součet mediánů faktoru III., tj. jsou sečteny součty mediánů I. a III. faktoru. Dle tabulky 2.5 se poté vyhodnotí stupeň

a k tomu odpovídající zátěžová tendence. Ve druhém případě má II. faktor nejméně o dva body vyšší součet mediánů než I. faktor, proto se sečtou součty mediánů II. a III. faktoru a opět se podle tabulky 2.5 určí výsledný stupeň zátěže a odpovídající zátěžová tendence. Ve třetí situaci je uvažováno, že rozdíl mezi faktory I. a II. je menší než dva body, proto se sečtou součty mediánů všech faktorů dohromady. Opět se dle tabulky 2.5 určí stupeň zátěže. [32]

**Tabulka 2.4: Kritické hodnoty mediánů [32]**

| Číslo položky | Otázka<br>(předmět otázky) | Kritická hodnota<br>mediánu (-) | Začlenění<br>do faktoru |
|---------------|----------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| 1.            | Časová tíseň               | 3,0                             | I.                      |
| 2.            | Malé uspokojení            | 2,5                             | II.                     |
| 3.            | Vysoká odpovědnost         | 3,0                             | I.                      |
| 4.            | Otupující práce            | 2,5                             | II.                     |
| 5.            | Problémy a konflikty       | 2,5                             | I.                      |
| 6.            | Monotonie                  | 2,5                             | II.                     |
| 7.            | Nervozita                  | 3,0                             | III.                    |
| 8.            | Přesycení                  | 3,0                             | III.                    |
| 9.            | Únava                      | 3,0                             | III.                    |
| 10.           | Dlouhodobá únosnost        | 2,5                             | III.                    |

**Tabulka 2.5: Určení hodnoty zátěže [32]**

| Jestliže je součet: | Stupeň | Zátěžová tendence                            |
|---------------------|--------|--|
| <b>1. situace</b>   |        |  |
| 7–19                | 1      | -  |
| 20–24               | 2      | k přetížení                                  |
| 25–35               | 3      | k přetížení                                  |
| <b>2. situace</b>   |        |  |
| 7–21                | 1      | -  |
| 22–26               | 2      | k monotonii                                  |
| 27–35               | 3      | k monotonii                                  |
| <b>3. situace</b>   |        |  |
| 10–26               | 1      | -  |
| 27–32               | 2      | kombinace obou (tj. k přetížení i monotonii) |
| 33–50               | 3      | kombinace obou (tj. k přetížení i monotonii) |

**Tabulka 2.6: Klasifikace psychické zátěže [31]**

| <b>Stupeň zátěže</b> | <b>Popis hodnocení stupně zátěže</b>   |
|----------------------|--|
| <b>1</b>             | Psychická zátěž, při které není pravděpodobné ovlivnění zdraví, subjektivního stavu a výkonnosti (přitom je nutno odhlédnout od náhodných situačně podmíněných výkyvů v průběhu pracovní směny). |
| <b>2</b>             | Psychická zátěž, při které může docházet pravidelně k dočasným ovlivněním subjektivního stavu, resp. výkonnosti.   |
| <b>3</b>             | Psychická zátěž, při níž nelze vyloučit zdravotní rizika.  |

**Hodnocení neurotické zátěže – dotazník N-5**

Neurotické potíže jsou dobře sledovatelným parametrem při poruše psychických funkcí v závislosti na požadavcích, které vyžaduje prostředí od člověka. Neurotické potíže jsou velmi dobře sledovatelné pomocí dotazníku N-5 od Engelsmanna a Knoblocha, který zjišťuje neurastenické (tj. potíže plynoucí do nervové slabosti [33]), vegetativní, depresivní a úzkostné potíže. Na základě zjištěné intenzity potíží se následně určuje míra dlouhodobých neurotických tendencí člověka. Dotazník lze, stejně jako Meisternův dotazník dávat individuálně nebo skupině pracovníků. U jednotlivých položek se proband hodnotí intenzitu potíží podle příslušného stupně (0 = vůbec, 1 = mírně, 2 = silně, 3 = velmi silně). [31]

Hodnocení je prováděno pomocí dotazníku (viz příloha C). Vyhodnocení pro jednotlivce je provedeno následovně. Vypočte se tzv. I-skóre, což je intenzita potíží jednotlivce získaná součtem všech bodových hodnot u jednotlivých položek. Vypočtená hodnota I-skóre pak odpovídá jednotlivým pásmům uvedených v tabulce 2.7. [31]

**Tabulka 2.7: Pásmo neuroticismu pro zařazení jednotlivce (převzato dle [31])**

| <b>Pásmo</b>                    | <b>I-skóre</b> |
|---------------------------------|----------------|
| Norma                           | 0–12           |
| Mírné neurotické tendence       | 13–19          |
| Silné neurotické tendence       | 20–31          |
| Velmi silné neurotické tendence | 32 a více      |

**Dotazník subjektivních příznaků únavy (SPÚ)**

Dotazník subjektivních příznaků únavy, anglicky *Subjective Symptoms of Fatigue*, byl vyvinut v Japonskou asociací průmyslového zdraví pro hodnocení směnové únavy

samotným probandem, resp. pracovníkem (plné znění dotazníku viz příloha C). Autorem tohoto dotazníku je Yoshitakea a podle něj tvoří strukturu dotazníku tři faktory a tři skóry. Prvním faktorem je únava centrálního nervového systému (součet položek 1–10), druhým faktorem je úbytek motivace (součet položek 11–20) a třetím faktorem jsou somatické příznaky (součet položek 21–30). Lži skóra tvoří součet položek 31–32. Celkový skóra (HS) je získán součtem položek 1–30. U jednotlivých položek pracovník zaznamenává intenzitu únavy pomocí stupnice (0 = žádný pocit, 1 = mírný pocit, 2 = silný pocit) 30 minut po začátku směny a 30 minut před koncem směny znova do dalšího dotazníku z důvodu pracovní stabilizace pracovníka. Při interpretaci výsledků se vychází z průměrných hodnot faktorů na začátku a na konci směny. [31]

### **Dotazník Personal Views Survey (PVS)**

Dotazník *Personal Views Survey* je další součástí metodiky SZÚ. Jedná se o dotazník s 50 otázkami, který sestavila Kobasa v roce 1979. Jeho prostřednictvím formulovala koncept “hardiness“ neboli odolnost (HD). Tento koncept je tvořen třemi strukturami osobnosti, které odrážejí schopnost absorbovat dopady stresu na zdraví. První strukturou je CONTROL (CO), tedy zvládání. Tato struktura reprezentuje tendenci zdolávat, zvládat a mít pocit osobní kontroly nad životními okolnostmi i nad sebou samým. V dotazníku tato struktura je zastoupena 17 otázkami. Druhou strukturou je COMMITMENT (CM), neboli odpovědnost. V této struktuře je zahrnut hluboký pocit zodpovědnosti k sobě a k práci, povědomí smysluplnosti života i jednotlivých událostí v něm. Otázky z této struktury odrážejí i víru ve vlastní hodnotu, význam a zaměření na cíl, pocit sounáležitosti s ostatními, důraz na aktivitu a snahu čelit událostem, dále také schopnost převzít odpovědnost za úkol, projekt či vztah. Tuto strukturu zastupuje v dotazníku 16 otázek. Třetí strukturou je CHALLENGE (CA), tj. výzva. Tato struktura představuje postoj flexibilní adaptace na životní změny, které jsou chápány jako výzvy a ne hrozby. Tuto strukturu zastupuje v dotazníku 17 otázek. [31]

Použitý dotazník je verze vypracovaná v Hardiness Research Institute Inc, USA (viz tabulka v příloze C). Opět lze dotazník zadávat individuálně nebo skupině. Respondenti odpovídají pomocí čtyřstupňové škály (0 = zcela nepravdivý, 1 = převážně nepravdivý, 2 = převážně pravdivý, 3 = zcela pravdivý). Při vyhodnocení u otázek 6–21 a 28–50 se obrací skórování (namísto 0 je 3, namísto 1 je 2 atd.). Hrubé skóre (HS) hardiness je výsledkem součtu skóru jednotlivých otázek. Hrubé skóre Challenge tvoří 17 otázek (otázky 2, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 37, 40, 43, 46 a 49). Hrubé skóre



Commitment je tvořeno 16 otázkami (otázky 1, 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26, 29, 32, 38, 39, 41, 44, 47 a 50). Hrubé skóre Control je složeno ze 17 otázek (otázky 3, 4, 5, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 31, 34, 35, 42, 45 a 48). Vážené skóre je získáno pro CA vydělením 51, pro CM vydělením 48 a pro CO vydělením 51. Následně se sečte vážené skóre jednotlivých struktur, součet se vydělí 3 a vynásobí 100. Výsledná hodnota váženého skóre hardiness se pohybuje v rozmezí 0 až 100. Normy celkového váženého skóre hardiness jsou vyneseny do tabulky 2.8. Aritmetické průměry a směrodatné odchylky do tabulky 2.9. [31]

**Tabulka 2.8: Normy celkového hodnocení váženého skóre hardiness [31]**

| Pásmo                       | Norma     |
|-----------------------------|-----------|
| Pásmo vysokého průměru      | 100–93,2  |
| Pásmo nadprůměru            | 93,1–83,6 |
| Pásmo průměru (průměr 74,0) | 83,5–64,4 |
| Pásmo podprůměru            | 64,3–54,7 |
| Pásmo výrazného podprůměru  | 54,8–0    |

**Tabulka 2.9: Aritmetické průměry a směrodatné odchylky jednotlivých struktur [31]**

| Struktura       | Aritmetický průměr | Směrodatná odchylka $\sigma$ (-) |
|-----------------|--------------------|----------------------------------|
|                 | $\bar{x}$ (-)      |                                  |
| Commitment (CM) | 38,0               | 5,1                              |
| Control (CO)    | 39,0               | 4,3                              |
| Challenge (CA)  | 34,0               | 5,3                              |

### Bortnerův dotazník

Bortnerův dotazník, nebo také Bortnerova škála, je určen k vyhledávání rizikových typů chování a postojů, které se vyskytují často u osob ohrožených některými chronickými somatickými chorobami a zhoršením psychického zdraví. Z dotazníku lze získat orientační informace o následujících faktorech: typ chování, úroveň iritability, tenze, hostility, interpersonální senzitivity, frustrace a prožívání životních událostí (citováno dle [31]).

Dotazník stejně jako předchozí dotazníky lze využít individuálně i skupinově. Znění dotazníku je v příloze C. [31]

Dotazník se vyhodnocuje pomocí pravítka, kdy se změří vzdálenost v mm od levého okraje vodorovné čáry ke klientem zaznamenané svislé značce. Naměřená hodnota se zadá do počítačového programu, který vyhodnotí každý faktor. Jednotlivé

údaje se následně porovnávají s průměry pro českou populaci. Dále je možné z dotazníku určit, zda je nutný intervenční postup a další vyšetření probanda. [31]

### Dotazník zrakových potíží

Dotazník zrakových potíží je posledním ze sady testů metodiky SZÚ sloužící ke sledování zrakové únavy subjektivním hodnocením u osob v profesích s předpokládanou vyšší zrakovou zátěží. Dotazník byl upraven Hladkým pro potřeby v terénu a na základě shromážděných dat byly stanoveny orientační normy. Opět lze dotazník zadávat individuálně i skupinově. Nyní se zaměřím na individuální, které se hodnotí podle kritických hodnot uvedených v tabulce 2.10. Jejich překročení indikuje zrakové potíže v dané oblasti. Pracovníkům, kteří překročili jednotlivé kritické hodnoty pro dané oblasti je doporučeno oftalmologické vyšetření. Plné znění dotazníku je v příloze C. [31]

**Tabulka 2.10: Kritické hodnoty pro dané oblasti [31]**

| <b>Okulární potíže</b> | <b>Aritmetický průměr <math>\bar{x}</math> (-)</b> | <b>Směrodatná odchylka <math>\sigma</math> (-)</b> | <b>Kritická hodnota (-)</b> | <b>Součet položek</b> |
|------------------------|--|--|-----------------------------|-----------------------|
| Při práci              | 5,3  | 4,4  | 7                           | 1, 2, 3, 4, 5         |
| Po práci               | 4,0  | 4,1  | 6                           | Maximum = 25          |
| <b>Vizuální potíže</b> | <b>Aritmetický průměr <math>\bar{x}</math> (-)</b> | <b>Směrodatná odchylka <math>\sigma</math> (-)</b> | <b>Kritická hodnota (-)</b> | <b>Součet položek</b> |
| Při práci              | 3,5  | 3,4  | 6                           | 6, 7, 8, 9            |
| Po práci               | 2,6  | 3,3  | 4                           | Maximum = 20          |

### NASA-TLX

Subjektivní multidimenzionální metoda pro vyhodnocení vnímané pracovní zátěže za účelem posouzení efektivnosti pracovní zátěže, výkonu nebo týmu. Metoda hodnotí v první části celkovou pracovní zátěž a to tak, že vyhodnocuje šest subjektivních podskupin: mentální poptávka (jakým způsobem a jak moc byl vyžit mentální aspekt osoby), fyzická poptávka (jak velká fyzická výkonnost byla vyžadována), časová náročnost (pod jakým časovým tlakem osoba byla, jaké bylo tempo), výkon (úspěšnost a spokojenost s úkolem), snaha (kolik úsilí bylo třeba vyvinout) a frustrace (jak moc byla osoba iritována, vystresovaná nebo otrávená). Ve druhé části se vytváří individuální váha těchto šesti podskupin pomocí dvojic na základě porovnávání vnímané důležitosti. Skóre je následně vynásobeno hodnotami stupnice pro danou podskupinu a vyděleno 15. Je možno použít i zkrácenou verzi, tzv. raw TLX. [34]

Pro zpracování dat je možné využít mobilní aplikaci dostupnou na internetu přímo od NASA.

Plné znění dotazníku je uvedeno v anglickém jazyce v příloze C.

## 3 Metody

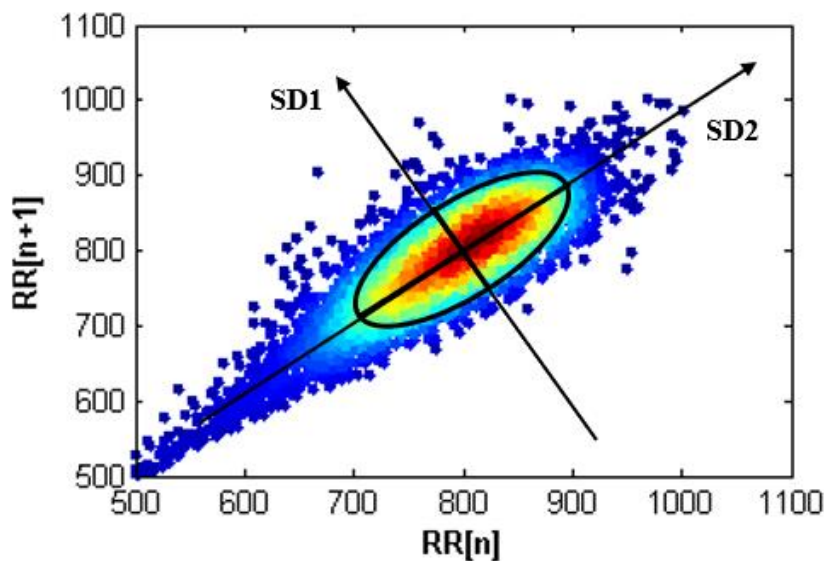
### 3.1 Vybrané metody hodnocení

#### 3.1.1 Objektivní metoda

##### Poincarého metoda

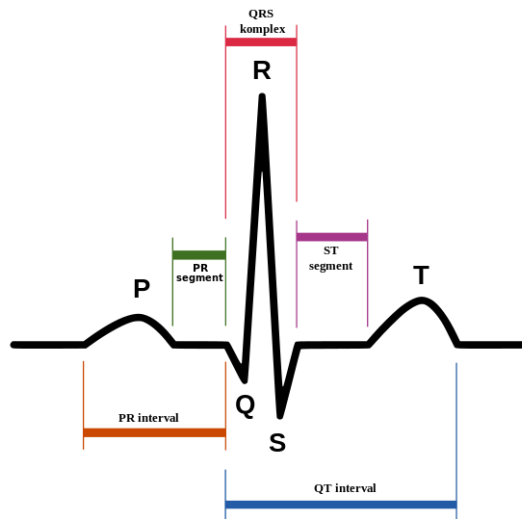
Další nelineární metodou je Poincarého metoda, jejíž graf umožňuje zobrazení vývoje dynamického systému ve fázovém prostoru a hojně se používá pro najít skrytých podobností a vzorců. Umožňuje zároveň redukci dimenzí fázového prostoru a zároveň konvertuje průběžný časový tok do diskrétní časové mapy. Od rekurentního grafu se tento graf liší tím, že je definovaný ve fázovém prostoru, na rozdíl od rekurentního, který je definován v časovém prostoru. Dále je také generován vynášením momentální hodnoty RR intervalu (tj. intervalu mezi dvěma po sobě jdoucími srdečními rytmy, konkrétně vrcholu R) oproti hodnotě RR intervalu předcházejícímu. Tudíž Poincarého graf zobrazuje pouze délku RR intervalu, ale ne množství RR intervalů. [22]

Poincarého graf využívá dvou parametrů – SD1 a SD2. Parametr SD1 popisuje směrodatnou odchylku projekce vedlejší osy na hlavní osu (tj.  $y = -x$ ), a projekce na hlavní osu (tj.  $y = x$ ) je parametr SD2. Poměr SD1 a SD2 se nazývá SD12. Poincarého graf se využívá k získání informace o srdeční autonomní aktivitě. Parametr SD1 vypovídá o parasympatické aktivitě, zatímco parametr SD2 je inverzně spojený se sympatickou aktivitou (viz obrázek 3.1).



Obrázek 3.1: Zobrazení parametru SD1 a SD2 v grafu dle [35]

Výhodou této metody je, že může zobrazit variabilitu srdečního rytmu (dále jen HRV, anglicky *heart rate variability*), která signifikantně ukazuje reakci lidského organismu na pracovní a stresovou zátěž. Několik studií prokázalo souvislost mezi HRV a stresem, když parametr HRV byl použit jako psychofyziologický index mentálního stresu. Výrazně nižší průměrný RR interval, tj. čas mezi R–vlnami v QRS komplexu (viz obrázek 3.2) na záznamu srdeční činnosti, byl naměřen během mentálního úkolu oproti kontrolní skupině. [8] [36] [37]



Obrázek 3.2: Křivka srdeční činnosti [38]  
R–vlna označena v grafu písmenem R

### 3.1.2 Subjektivní metoda

#### Beckův inventář úzkosti

Beckův inventář úzkosti je subjektivní metodou pro hodnocení úzkosti za poslední týden. Byl vytvořen Aaronem T. Beckem a jeho kolegy. Obsahuje 21 otázek (viz tabulka 3.5) s možnostmi odpovědí za škály 0 až 3 (0 – vůbec až 3 – vážně). Dotazník je zaměřen na závažnost úzkosti jak u dospělých, tak u dětí. Otázky jsou zaměřeny na běžné příznaky úzkosti jako např. pocení, brnění, strach z nejhoršího a další. Standardizované meze dle [39] jsou: 0–7 minimální úzkost, 8–15 mírná úzkost, 16–25 střední úzkost a 26–63 závažná úzkost. [40]

Dotazník byl kritizován za převažující zaměření na fyzické příznaky úzkosti, proto je často také spárován s Penn State Worry dotazníkem, který přesněji stanovuje kognitivní složky úzkosti jako starosti, přehnané reakce na špatné události aj., které se vyskytují u generalizované úzkostné poruchy. [40]

## 3.2 Sběr dat

### 3.2.1 Probandi

Pilotního experimentu se účastnili čtyři kadeti Univerzity obrany v Brně ve věku 24 let, z toho tři muži a jedna žena. Všichni probandi jsou budoucími příslušníky AČR, protivzdušné obrany. Během studia jsou připravováni pro profesi operátora ŘLP. Všichni probandi mají nulové nebo minimální zkušenosti s touto profesí. Probandi taktéž absolvovali kompletní lékařskou prohlídku, která zahrnuje kompletní anamnézu včetně neurologických onemocnění a krevní testy.

Studie byla navrhována v souladu s Helsinskou deklarací a byla schválena Etickou komisí Fakulty biomedicínského inženýrství ČVUT v Praze (viz příloha B – schválení studie Etickou komisí FBMI ČVUT v Praze).

Probandi byli před začátkem experimentu seznámeni s průběhem experimentu a možnými riziky, která jsou v tomto případě minimální. Následně podepsali informovaný souhlas, který byl pro tento účel vytvořen (viz příloha A – Informovaný souhlas).

Více probandů nebylo možné zajistit z důvodu malého počtu studentů studujících takto vysoce specializovaný obor a vzhledem k časové a koordinační náročnosti experimentu. Naměřená data budou hodnocena individuálně bez statistického zpracování, které není v takto malém počtu probandů možné.

### 3.2.2 Vybavení

V průběhu experimentu bylo použito následující vybavení. V první řadě byl použit online přístupný systém Flightradar24 ke sledování letadel v reálném čase a dále systém FlexiGuard, který sloužil k monitoraci fyziologických dat probandů.

#### **Systém Flightradar 24**

Systém Flightradar24 je celosvětový online sledovací systém letadel, který poskytuje informace o letadlech v leteckém prostoru po celém světě. Tento systém zahrnuje více než 180 000 letů od více než 1 200 leteckých společností, které se uskutečňují na více než 4 000 letištích po celém světě v reálném čase. [41]

Flightradar24 je projekt, který založili dva švédští letečtí nadšenci v roce 2006 jako zálibu. V roce 2009 se rozhodli síť otevřít veřejnosti a zpřístupnit ji ostatním. V současnosti pokrývá mnoho oblastí světa a další stále přibývají. [41]

System Flightradar24 je sledovací systém kombinující data z několika zdrojů. Mezi tyto zdroje patří ADS-B, MLAT a data z radaru. Data z těchto zdrojů jsou v systému kombinována a spojována dohromady s letovým plánem a aktuálními informacemi od leteckých společností a letišť z celého světa. Primárním zdrojem pro systém Flightradar24 je technologie ADS-B neboli automatic dependent surveillance-broadcast. Technologie ADS-B funguje tak, že letadla dostávají svou lokaci z GPS navigace (pomocí satelitů). Následně ADS-B transpondér v letadle vysílá signál obsahující lokaci spolu s dalšími informacemi a signál je zachycován přijímačem na Zemi, který je napojen na Flightradar24. Poté jsou data posílána přímo do systému Flightradar24 (viz obr. 3.3). Tato technologie je ale relativně nová a podle [41] ji používá odhadem jen 70 % všech komerčních letadel, přičemž v Evropě je procentuální zastoupení o přibližně 10 % větší. Pro všeobecné letectví je to kolem 20 %. Procentuální zastoupení se ale neustále zvyšuje, protože do roku 2020 bude tato technologie povinná pro většinu letadel a nahradí tak primární radar jako výhradní metodu sledování používanou ATC (tj. Air Traffic Control). Touto technologií pokrývá Flightradar24 na výletní výšce (nad 30 000 stop) 100 % Evropy a USA. V dalších státech je pokrytí různé. [41]



**Obrázek 3.3: Schéma technologie ADS-B [41]**

Pozemní síť ADS-B dále doplňuje satelitní sledování letů, které se snaží pokrýt především oblastí, kde pozemní sledování není možné, tedy oblastí letů nad oceánem. Satelity vybavené přijímači ADS-B sbírají data z letadla a následně jsou data odesílána

do sítě Flightradar24. Tato data pochází od více poskytovatelů, tzn., že počet satelitů a jejich umístění je dynamické a pokrytí satelitem se liší. [41]

Další technologií dodávající data do systému Flightradar24 je MLAT (Multilateration), která pomáhá při výpočtu pozice letadel bez technologie ADS-B, za použití metody známé jako Time Difference of Arrival (TDOA). Metoda měří čas potřebný k přijetí signálu z letadla se starším transpondérem ModeS a z toho je možné vypočítat polohu těchto letadel. K tomu jsou potřeba čtyři Flightradar24 přijímače a více a přijímání signálů ze stejného letadla. Limitací této technologie je, že pokrytí je pouze v rozmezí 3 000 až 10 000 stop, protože pravděpodobnost, že čtyři a více přijímačů mohou přijímat signál transpondéru, se zvyšuje s nadmořskou výškou. Touto technologií je dnes pokryta většina Evropy a severní Ameriky v rozmezí 3 000–10 000 stop. Menší pokrytí v rozmezí této nadmořské výšky je i nad státy jižní Ameriky a státy Asie a Austrálie. Další přijímače této technologie stále přibývají. [41]

Pro oblast Severní Ameriky jsou do systému Flightradar24 dále dodávána živá data, která jsou založena na radarových datech a zahrnují většinu pravidelného a komerčního leteckého provozu v americkém a kanadském vzdušném prostoru a části Atlantského a Tichého oceánu. [41]

Další technologií je technologie Flarm, která je jednodušší verzí technologie ADS-B. Má kratší dosah a primárně je používána menšími letadly. Rozsah přijímače Flarm je mezi 20 a 100 km. Tyto přijímače jsou často instalovány na menších letištích pro malá letadla. [41]

Pokud letadlo letí mimo pokrytí systému Flightradar24, odhad polohy letadla se udržuje po dobu až dvou hodin za předpokladu, že cíl daného letadla je znám. U letadel s neznámým cílem se poloha odhaduje až po dobu 10 minut. Poloha je vypočítávána na základě mnoha parametrů vstupujících do systému. většinou je určení polohy přesné, nicméně u delších letů se odhad může lišit až o 100 km. [41]

Technologií ADS-B nedisponují všechna letadla, proto pokrytí systému Flightradar24 není kompletní. Transpondéry ADS-B nedisponují většinou starší modely letadel, menší letadla a další. Z bezpečnostních a osobních důvodů jsou některé informace o letadlech na radaru limitovány nebo blokovány. Toto opatření zahrnuje většinu armádních letadel, bezpečnostních tajných služeb a vysoce chráněná letadla, jako např. letadlo amerického prezidenta Air Force One. [41]



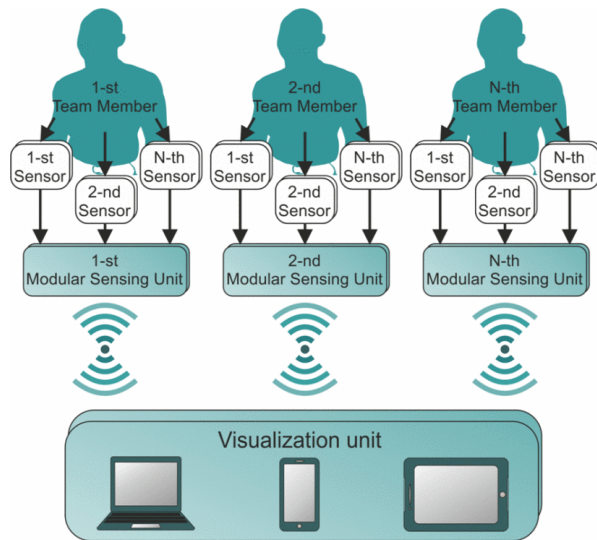
System Flightradar24 je online přístupný komukoli s internetovým připojením. Pro účely experimentu této diplomové práce bylo použito online vysílání, které bylo zaznamenáno ve formátu *.mp3* pro pozdější zpracování (viz níže) [42]. Byla vybrána oblast České republiky a prostor sousedních států blízko hranic, aby probandi byli schopni detekovat přelet letadel přes hranice. Záznam byl proveden v čase 9:02:52 až 13:02:50. Doba celkového záznamu je tedy 3:59:58.

### **System FlexiGuard**

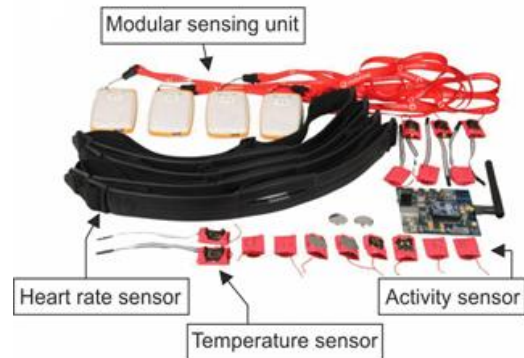
FlexiGuard je modulární biotelemetrický systém pro monitoraci fyziologických veličin speciálních vojenských jednotek v reálném čase. System byl navržen a sestaven ve spolupráci Českého vysokého učení technického v Praze a Technické univerzity v Košicích. Hlavním záměrem sestavení tohoto systému byla potřeba automatického sledování speciálních jednotek prostřednictvím paralelního sledování jednotlivých členů speciální jednotky. Možné využití systému je ideální pro potřebu optimalizace operačních strategií nebo sledování aktuálního stavu vojáků při plnění úkolu. [43]

System se skládá ze senzorů pro monitoraci fyziologických parametrů jako je například teplota těla, srdeční rytmus, akcelerace aj. a modulární snímací jednotky, která nahrává naměřená data a posílá je do zobrazovací jednotky. Navrhovaný systém je navržen jako senzorová síť zajišťující bezdrátovou telekomunikaci fyziologických proměnných, které jsou měřeny na těle probanda nebo v jejich těsné blízkosti, např. v oblečení. System FlexiGuard je založen na modulární platformě, která se skládá fyzický ze tří základních jednotek. První jednotkou (vrstvou) je sada senzorů pro bezdrátovou síť snímající fyziologické parametry (WBAN), druhou jednotkou (vrstvou) je modulární snímací jednotka (MSU = modular sensing unit) a třetí jednotkou (vrstvou) je koncentrační a vizualizační jednotka (visualization unit) viz obr. 3.4.

Při experimentu byly využity komerční senzory pro měření srdečního rytmu (HMR-G1, Garmin Inc.), teploty (TMP112, Texas Instruments, Inc.) relativní vlhkosti (SHT21, Sensirion, Inc.) a aktivity (senzory MMA8452Q, 12b, FreeScale Semi Conduktor, Inc.). A protože modularita systému to dovoluje, tak pro měření dechové frekvence a myopotenciálu byly využity senzory sestavené vývojovým týmem (viz obr. 3.5). [43]



**Obrázek 3.4:** Schéma systému FlexiGuard [43]

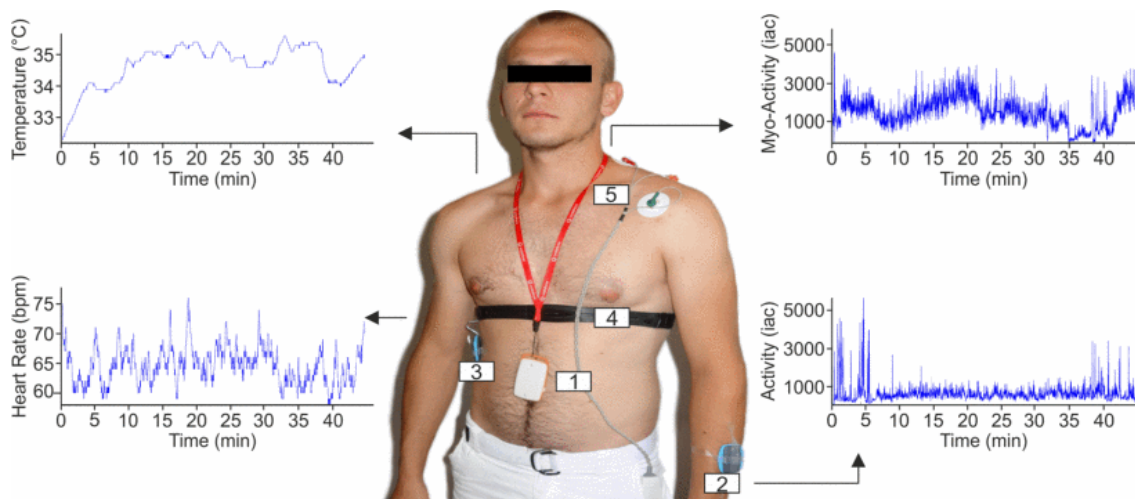


**Obrázek 3.5:** Modulární snímací jednotka se senzory pro snímání aktivity, srdečního rytmu a teploty [43]

Vizualizační jednotka zobrazuje aktuální zobrazení psychofyziologického stavu včetně hodnot fyzických parametrů prostředí pro velitele či jiný dohled. Tato vrstva je využitelná pro více účelů, protože zahrnuje algoritmy pro výpočet např. energického výdeje, stressové úrovně a další. Data jsou posílána a ukládána na paměťovou kartu ve formátu .CSV. Každý datový balíček zahrnuje identifikaci jednotky, identifikaci senzoru, naměřená data a reálný čas měření. Data jsou vzorkována s frekvencí  $f = 10$  Hz. [43] [42]

Na obrázku 3.6 je příklad umístění senzorů na probandovi pro měření akcelerace, srdečního rytmu a elektromyografie. Podobným způsobem byly senzory umístěny i v tomto experimentu spolu s dalšími senzory (senzor pro měření teploty těla, relativní vlhkosti a dechové frekvence). [43]

System byl otestován na 34 probandech – profesionálních vojácích – rozdělených do čtveřic. Během testování nedošlo k žádným výpadkům systému. Při přenosu do vizualizační jednotky bylo zjištěno množství odhadem 0,2 % ztracených balíčků dat. Tato chyba je dána vlastnostmi bezdrátové sítě Xbee a komunikační protokol to zohledňuje (balíčky dat posílá redundantně). [43]



**Obrázek 3.6:** Příklad umístění modulární snímací jednotky (1) a senzorů na těle probanda pro měření akcelerace (2), teploty (3), srdečního rytmu (4) a elektromyografie (5) [43]

### 3.3 Průběh experimentu

Experiment byl proveden podle schváleného protokolu Etickou komisí FBMI ČVUT v Praze. Jelikož jsou současné technologie a vybavení Armády ČR zákonem chráněny, byl experiment simulován na půdě Univerzity obrany v Brně. Experiment byl prováděn v učební místnosti, kde každý proband simulované pracoviště zvlášť, tedy stůl a počítač. Každý proband byl detailně seznámen s průběhem experimentu a podepsáním informovaného souhlasu (viz příloha A) stvrdil, že se vším souhlasí a všemu rozuměl. Experiment probíhal pro všechny probandy současně po dobu čtyř hodin (od 9 do 13 hodin).

Každý proband byl nasazen systém FlexiGuard a byly připraveny počítače s online sledovačem leteckého provozu Flightradar24. Každému probandovi byly také připraveny archy pro vyplňování údajů o letadlech. Hlavička archu, který měli po dobu čtyř hodin probandi vyplňovat měla následující podobu (viz tabulka 3.1).

**Tabulka 3.1:** Příklad archu k vyplňování údajů o letadlech ze systému Flightradar24 včetně příkladů vyplnění [-]

| Kód letadla | Sektor vletu/odletu | Čas vletu | Výška vletu | Čas odletu | Výška odletu | Vzlet (ČR) | Přistání (ČR) |
|-------------|---------------------|-----------|-------------|------------|--------------|------------|---------------|
| AFL2450     | 4                   | 9:08:24   | 34000       | -          | -            | -          | -             |
| N31CR       | 9                   | -         | -           | 9:09:26    | 26049        | -          | -             |

Aby objektivní hodnocení fyziologických parametrů bylo možné porovnat se subjektivním hodnocením, před a po zahájení experimentu dostal každý proband k vyplnění dotazník k vyhodnocení aktuální prožívané úzkosti a subjektivní stresové

zátěže. Dotazník byl sestaven Mgr. et. Mgr. Ivetou Fajnerovou, PhD. z Národního ústavu pro duševní zdraví (dále jen NÚDZ).

Před zahájením experimentu probandi vyplnili první část dotazníku, kdy subjektivně hodnotili aktuální stresovou zátěž. Na škále od 1 do 5 probandi hodnotili hladinu subjektivního neklidu, kterou aktuálně prožívají, a dále míru objektivní stresové zátěže, kterou očekávají od následujícího experimentu (viz tabulka 3.2).

**Tabulka 3.2: První část dotazníku subjektivního hodnocení aktuální stresové zátěže**

| Ohodnoťte hladinu subjektivního neklidu, který aktuálně prožíváte.                        |                |                      |                |               |
|---|----------------|----------------------|----------------|---------------|
| 1   | 2              | 3                    | 4              | 5             |
| žádný neklid  | mírný neklid   | mírně zvýšený neklid | zvýšený neklid | značný neklid |
| Ohodnoťte míru objektivní stresové zátěže, kterou očekáváte od následujícího experimentu. |                |                      |                |               |
| 1   | 2              | 3                    | 4              | 5             |
| žádná zátěž   | nepatrná zátěž | mírně zvýšená zátěž  | zvýšená zátěž  | značná zátěž  |

Druhou částí dotazníku, kterou probandi vyplňovali před zahájením experimentu byla zkrácená verze Beckova inventáře úzkosti skládající se ze 7 otázek, které byly sestaveny na základě celkových 21 otázek Beckova inventáře úzkosti (anglicky *Beck Anxiety Inventory*, BAI) za účelem subjektivního hodnocení úzkosti. Zkrácená verze (dále BAI7) je uvedena v tabulce 3.3. Probandi hodnotili předložené otázky na stupnici 0 až 3 (0 – vůbec; 1 – mírně, moc mě to nerušilo; 2 – středně, bylo to nepříjemné, ale dalo se to vydržet; 3 – vážně, stěží jsem to vydržel/a). Beckův inventář úzkosti byl vyvinut k měření závažnosti úzkosti v psychiatrické populaci. Tento test hodnotí míru úzkosti za poslední týden. [44]

**Tabulka 3.3: Otázky zkrácené verze BAI [44]**

| Otázky                                  |
|---|
| 1. Neklid a nervozita                   |
| 2. Neschopnost odpočinku                |
| 3. Bušení srdce, zrychlený tep          |
| 4. Pocit horka a pocení                 |
| 5. Chvění rukou, třes                   |
| 6. Namáhavé dýchání nebo pocit dušnosti |
| 7. Trávicí potíže nebo bolesti břicha   |

Po vyplnění první části dotazníků byl zahájen experiment. Experiment trval pod dobu čtyř hodin, kdy proband mohl požádat o přestávku. V tomto čase proband byl stále

připojen k monitorovacímu systému FlexiGuard, ale nezaznamenával údaje o letadlech do archů. Všechny přestávky probandů byly zaznamenány do archů vedoucím experimentu. V průběhu experimentu mohli proband mezi sebou komunikovat, aby bylo co nejvíce simulováno reálné prostředí a situace operátora řízení leteckého provozu.

Po ukončení experimentu byla probandům dána k vyplnění druhá část dotazníku ke zhodnocení subjektivní stresové zátěže po experimentu (otázky viz tabulka 3.4) a plná verze Beckova inventáře úzkosti (21 otázek, opět hodnocení od 0 do 3 – viz výše; viz tabulka 3.5). Vyplnění druhé části dotazníku subjektivního hodnocení zátěže byl experiment ukončen.

**Tabulka 3.4: První část dotazníku subjektivního hodnocení aktuální stresové zátěže a zátěže vyvolané prováděným experimentem**

|   |                |                      |                |               |
|---|----------------|----------------------|----------------|---------------|
| Ohodnoťte hladinu subjektivního neklidu, který aktuálně prožíváte.  |                |                      |                |               |
| 1   | 2              | 3                    | 4              | 5             |
| žádný neklid  | mírný neklid   | mírně zvýšený neklid | zvýšený neklid | značný neklid |
| Ohodnoťte míru objektivní stresové zátěže, kterou na Vás kladl prováděný experiment (bez ohledu na skutečnou vyvolanou míru neklidu). |                |                      |                |               |
| 1   | 2              | 3                    | 4              | 5             |
| žádná zátěž   | nepatrná zátěž | mírně zvýšená zátěž  | zvýšená zátěž  | značná zátěž  |
| Ohodnoťte míru neklidu subjektivně prožívaného během experimentální zátěže (v průběhu samotného experimentu).                         |                |                      |                |               |
| 1   | 2              | 3                    | 4              | 5             |
| žádný neklid  | mírný neklid   | mírně zvýšený neklid | zvýšený neklid | značný neklid |

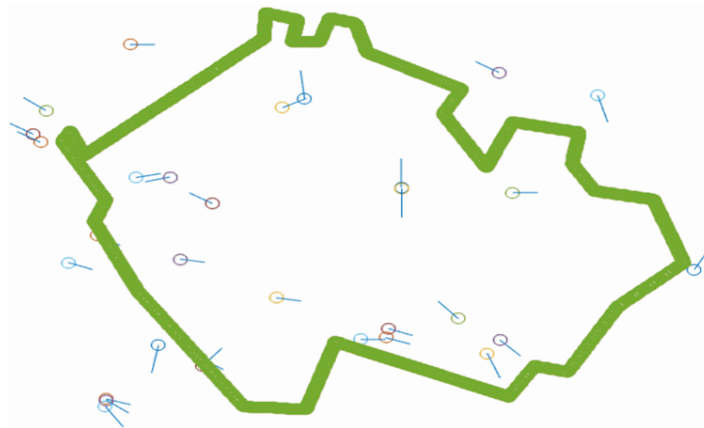
**Tabulka 3.5: Otázky plné verze BAI [44]**

| Otázky                          |  |
|---------------------------------|--|
| 1. Mrtvění nebo mravenčení      | 12. Chvění rukou                       |
| 2. Pocit horka                  | 13. Třes                               |
| 3. Vratkost nohou               | 14. Strach ze ztráty kontroly          |
| 4. Neschopnost odpočinku        | 15. Namáhavé dýchání                   |
| 5. Strach z nejhorší události   | 16. Strach ze smrti                    |
| 6. Závrať nebo pocit na omdlení | 17. Panika                             |
| 7. Bušení srdce, zrychlený tep  | 18. Trávicí potíže nebo bolesti břicha |
| 8. Neklid                       | 19. Pocit na omdlení                   |
| 9. Zděšení                      | 20. Zarudnutí v obličeji               |
| 10. Nervozita                   | 21. Pocení                             |
| 11. Pocit dušnosti              |  |

### 3.4 Zpracování dat

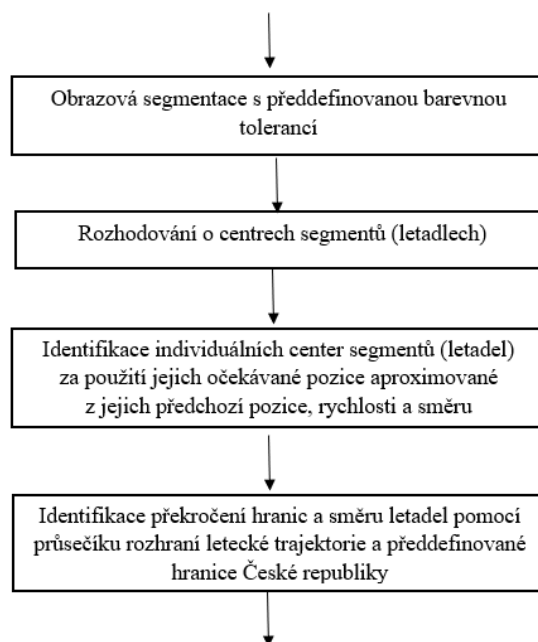
Data ze systému FlexiGuard mi byla dodána ve formátu *.CSV* pro všechny čtyři probandy. Soubor obsahoval veškeré záznamy fyziologických parametrů, včetně časových značek. Pro potřeby této diplomové práce byly vybrány tyto parametry: pohybová aktivita, dechová frekvence, srdeční tep a vlhkost. Oproti zadání budou okrajově prezentovány i výsledky sledování teploty těla probanda, které ale nemají příliš vypovídající hodnotu, protože při měření docházelo k příliš dlouhému ustalování senzoru, tudíž se nedá z výsledků příliš usuzovat. Dále byla použita data aktuálního posledního RR intervalu průběhu srdeční činnosti k výpočtu parametru HRV.

Pro další hodnocení byl také nahrán záznam letového provozu ze systému Flightradar24 funkcí Playback (rychlost 12x, středa 25. 10. 2017 9:02 až 13:02 GMT) a pomocí CamStudio ([camstudio.org](http://camstudio.org)) s frekvencí 30 snímků za sekundu a rozlišením 1920x1080 pixelů. Video bylo rozděleno na dva soubory ve formátu *.mp4* kvůli délce záznamu. Díky automatizovanému monitorovacímu systému (dále jen AMS) pro letecký provoz vyvinutému v programu Matlab (MATLAB R2010b, Mathworks, Inc., Natick, MA, USA), který funguje na základě obrazového zpracování videa byla možná detekce jednotlivých letadel na záznamu ze systému Flightradar24. AMS byl navržen tak, aby počítal letadla letící do anebo ven z předem definovaných hranic. AMS je taktéž schopen identifikovat směr překročení hranic letadlem (viz obrázek 3.7). [42]



**Obrázek 3.7: Příklad výsledného diagramu zobrazujícího identifikaci směru letadla a počtu letadel nad hranicemi České republiky [42]**

Algoritmus AMS pro detekci letadel je založen na obrazové segmentaci s přednastavenou barevnou tolerancí. Směr letadla je určován na základě dvou po sobě jdoucích snímků videa. Následně je určen směr letadla na předem definovaných hranicích. Na vývojovém diagramu na obrázku 3.8 je možné vidět průběh zpracování dat pomocí AMS. [42]



**Obrázek 3.8: Vývojový diagram algoritmu pro zpracování snímků videa pomocí AMS [42]**

Dalšími daty byly zaznamenané údaje o letadlech na papírových arších. Tato data byla přepsána do programu Microsoft Office Excel a dále zpracovávána (viz níže).

Data z dotazníků o subjektivním hodnocení byla předána odborníkům z NÚDZ a následně vyhodnocena. Výsledky byly interpretovány a předány zpět (viz kapitola Výsledky).

### 3.4.1 Zpracování dat ze systému FlexiGuard – fyziologické parametry

Ze všech naměřených dat byly vybrány tyto fyziologické parametry, které mají dle [36] a [37] vypovídající hodnotu pro hodnocení dlouhodobé zátěže operátorů ŘLP: srdeční tep, dechová frekvence, pohybová aktivita (akcelerace), vlhkost těla a okrajově teplota těla. Naměřená data byla zpracována v programu Matlab (MATLAB R2014a, Mathworks, Inc., Natick, MA, USA).

Nejprve funkcemi *clc*, *close all* a *clear all* bylo zajištěno vymazání obsahu *Command window*, zavření všech předchozích spuštěných skriptů a smazání všech proměnných v operační paměti programu, aby nedošlo k jejich záměně nebo přepsání (viz níže).

```

clc
close all
clear all
  
```

Dále do proměnné *biodata* byla načtena naměřená fyziologická data ze systému FlexiGuard pro každého probanda zvlášť, v tomto případě pro probanda se senzorem č. 6. Data ještě před tímto krokem převedena z formátu *.CSV* do formátu *.txt*, aby bylo možné

je lépe zpracovat v programu Matlab. Dále byly vytvořeny dvě pomocné proměnné pro čas – jedna pro celkový záznam fyziologického parametru a jedna pro pětiminutový výřez (proměnné *time2* a *time4*, viz níže).

```
%% FYZIOLOGICKÁ DATA
biodata = load('biodata_upr_6.txt'); %načtení fyziologických dat
                                       získaných ze systému FlexiGuard
time2 = 0:143963; %celkový záznam
time4 = 72000:75000; %5 min záznam
```

Následně byly zpracovány jednotlivé fyziologické parametry, které byly postupně načteny jednotlivě do samostatných proměnných (např. srdeční tep do proměnné *HR*) a pokud to bylo potřeba, byla data upravena tak, aby byly co nejvíce eliminovány chyby způsobené špatně naměřenými daty, resp. špatně přilehlými elektrodami/senzory a další (příklad viz níže). U parametru akcelerace byl navíc ještě vypočten výsledný vektor akcelerace, protože byla naměřena pouze poloha ve směrech osy x, osy y a osy z. Výpočet byl proveden standardním fyzikálním výpočtem pro výsledný vektor (viz níže, proměnná *acc*).

```
HR = biodata(:,1); %načtení dat srdečního tepu
HR(HR<40) = 50; %eliminace chyb
HR(HR>125) = 125; %eliminace chyb a pohybových artefaktů - předpoklad
                  zdravého jedince

acc = biodata(:,3:5); %načtení dat pohybové aktivity
%výpočet výsledného vektoru akcelerace
for h = 1:length(acc)/3
    nas(h) = abs(sqrt(acc(h,1).^2 + acc(h,2).^2 + acc(h,3).^2));
end
```

Každý fyziologický parametr byl zobrazován jako celkový záznam v průběhu čtyř hodin měření a také pětiminutový úsek vybraný přibližně v polovině doby experimentu, tedy na začátku třetí hodiny experimentu. Jako příklad bude níže popsáno zobrazení srdečního tepu. Zpracování dat dechové frekvence je popsáno samostatně níže. Za znakem % je u vybraných funkcí uveden komentář zelenou barvou.

U každého fyziologického parametru byla použit pro zobrazení grafu funkce *plot* a použity její další možnosti (např. barva linie aj.). Dále byly pomocí funkcí *ylim* a *xlim* nastaveny limity zobrazených os a pomocí funkce *xbounds* a *set* byly nastaveny hodnoty osy x, jelikož data byla naměřena s frekvencí  $f = 10$  Hz a objem dat k času nebyl úměrný (viz funkce *set* a parametr funkce '*XTick*'). Popis osy x byl nastaven po 15 minutách (viz níže). Funkce *hold on* drží již zobrazená data v paměti.

```
%graf srdečního tepu
figure(1)
plot(time2(1,:),HR(:,1),'k');
```



```

ylim([49 130]); %nastavení os
xlim([0 143963]);
xbounds = xlim;
set(gca, 'XTick', xbounds(1):8990:xbounds(2));
set(gca, 'XTickLabel', [0 15 30 45 60 75 90 105 120 135 150 165 180 195
    210 225 240]);
hold on

```

Dále v grafu za pomoci funkce `plot` byly vyznačeny pauzy probanda, aby bylo jasné, kde mohlo docházet k výskytu šumu. Za pomoci funkcí `xlabel` a `ylabel` byly nastaveny popisky osy x a osy y.

```

plot(time2(88200), HR(88200)+25, '*', 'MarkerSize', 12, 'MarkerEdgeColor',
    [.1 .8 .4]); %označení pauzy probanda v grafu
xlabel('Čas (min)', 'FontWeight', 'bold');
ylabel({'Srdeční tep HR (bpm)'}, 'FontWeight', 'bold');
hold on

```

Protože data byla nejprve upravena (eliminace výrazných chyb měření), bylo za použití `for` cyklu a funkce `plot` tyto eliminace chyb vyznačeny v grafu. Jako poslední byla v grafu zobrazena legenda pomocí funkce `legend`.

```

for d = 1:length(HR) %označení eliminovaných chyb v grafu
    if HR(d) == 50
        plot(time2(d), HR(d)+75, 'r.', 'MarkerSize', 14, 'MarkerEdgeColor',
            [1 0 0]);
    end
    if HR(d) == 125
        plot(time2(d), HR(d)+2, 'r.', 'MarkerSize', 14, 'MarkerEdgeColor',
            [1 0 0]);
    end
end
leg = legend({'Srdeční tep', 'Pauza', 'Chyba'}, 'FontWeight', 'bold',
    , 'Location', 'NorthWest');

```

Pětiminutový výřez u každého fyziologického parametru byl zobrazován podobně jako celkový záznam fyziologického parametru. Navíc byl použit Savitzky-Golayeho vyhlazovací FIR filtr vhodný na fyziologické parametry (funkce `sgolayfilt`). [45] [46]

```

%graf srdečního tepu - 5 min
figure(2)
HRs = sgolayfilt(HR(72000:75000), 1, 5, 251); %použití Savitzky-Golayeho
    vyhlazovacího filtru
plot(time4(1, :), HRs(:, 1), 'k', 'LineWidth', 1.5);
ylim([60 110]); %nastavení os
xlim([72000 75000]);
xbounds = xlim;
set(gca, 'XTick', xbounds(1):600:xbounds(2));
set(gca, 'XTickLabel', [0 1 2 3 4 5]);
xlabel('Čas (min)', 'FontWeight', 'bold');
ylabel({'Srdeční tep HR (bpm)'}, 'FontWeight', 'bold'); grid
leg = legend({'Srdeční tep'}, 'FontWeight', 'bold', 'Location',
    , 'NorthEast');

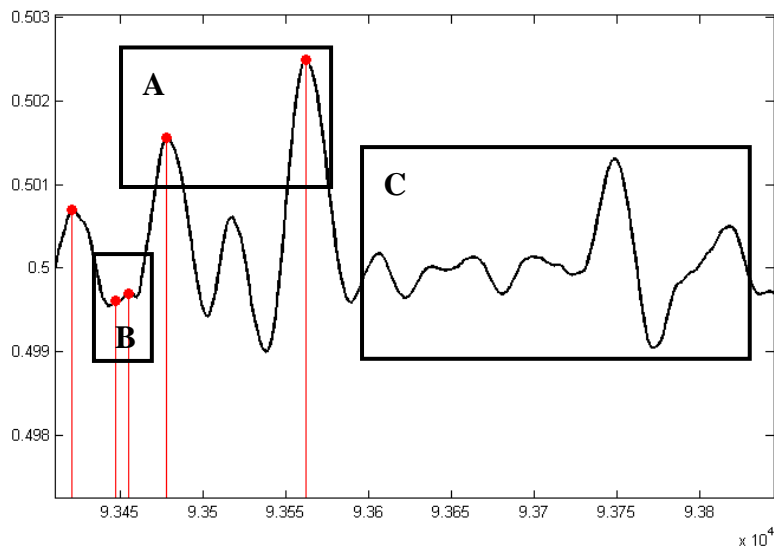
```

U dechové frekvence bylo nutné použít další zpracování dat, protože systém FlexiGuard měří dechovou impedanci hrudníku. Zamýšlenou technikou hledání dechové

frekvence bylo najít difference mezi jednotlivými peaky dechové impedance, následně data normalizovat, použít vyhlazovací funkci *smooth* a pomocí funkce *findpeaks* s parametrem *THRESHOLD* najít peaky dechové frekvence a spočítat počet nádechů za daný časový úsek. Bohužel funkce *findpeaks* má přednastavené parametry a hledá peaky za určitý pevně daný úsek a dochází k tomu, že některé peaky jsou detekovány, některé jsou detekovány vůbec nejsou a některé jsou detekovány několikrát (viz obrázek 3.9). V některých úsecích nedetekované úseky i převažovaly. I přes veškerou snahu se nepodařilo vyladit detekci nádechů tak, aby bylo možné ji použít pro vyhodnocení v této diplomové práci.

```
%graf dechové frekvence - filtrování
breathss = sgolayfilt(breath(:,1),5,61); %použití Savitzky-Golayeho
                                         vyhlazovacího filtru
breathss = diff(breathss); %hledání diferencí v datech
breathssNorm = breathss-min(breathss); %normalizace dat
breathssNorm = breathssNorm/max(breathssNorm);
breathssNorm = smooth(breathssNorm,15); %vyhlazení funkce
[ pks,locs] = findpeaks(breathssNorm,'THRESHOLD',0.000002); %hledání
                                                         peaků v datech

plot(breathssNorm(:,1),'k','LineWidth',1.5);
xlim([2.62e4 2.72e4]);
ylim([0.5185 0.5210]);
hold on
stem(locs,pks,'filled','ro','LineWidth',1); %zobrazení peaků v grafu
```



**Obrázek 3.9: Vybraný úsek detekce dechové frekvence s vyznačenými problémy [-]**  
A – správně detekované peaky, B – špatně detekované peaky, C – nedetekované peaky

Data z měření tělesné teploty byla zpracována, ale vzhledem k velmi dlouhému ustalování senzoru (přibližně 50–90 min) nebyla data vyhodnocována. Chyba je způsobena špatným vývojovým nastavením systému FlexiGuard.

### 3.4.2 Zpracování dat ze systému FlexiGuard – parametr HRV

Vzhledem ke špatně naměřenému průběhu srdeční činnosti monitorovací jednotkou u dvou probandů, byla použita data pro výpočet parametru HRV pouze u dvou probandů (jedna žena – senzor 2 a jeden muž – senzor 3). Tento problém nebylo možné zjistit již v průběhu měření, proto ho nešlo ani napravit. Problém se špatně naměřenými daty byl zjištěn až po zobrazení dat v grafu. Součástí výstupu ze systému FlexiGuard jsou naměřené délky RR intervalů, které jsou určovány ze záznamu srdeční činnosti. Pomocí těchto hodnot, průměrných hodnot RR intervalů, standardní odchylky RR intervalů a efektivní hodnoty následujícího rozdílu mezi RR intervaly s délkou plovoucího okna 5 min (4 min overlap) byly vypočítány parametry HRV pro jednotlivé probandy (viz kód níže). Data naměřená během přestávek probanda nebyla z analýzy vyloučena. [42]

Nejprve funkcemi *clc*, *close all* a *clear all* bylo zajištěno vymazání obsahu *Command window* jako u předchozího zpracování dat, zavření všech předchozích spuštěných skriptů a smazání všech proměnných v operační paměti programu, aby nedošlo k jejich záměně nebo přepsání. Následně byla postupně načtena data srdeční činnosti a záznamů počtu letadel (viz níže).

```
clc
close all
clear all

load('Heart02.mat'); %načtení dat - záznam srdeční činnosti
load('Planes.mat'); %načtení dat - záznam letadel
```

Aby byla data synchronizována se záznamem letadel, byla stanovena proměnná *heartAgreg* s hodnotou 600, což odpovídá počtu vzorků srdeční činnosti na jednu položku v záznamech letadel. Velikost okna v záznamech letadel byla stanovena na 1. Dále funkcí *find* a *diff* byly do proměnné *RRsamples* uloženy nalezené difference v RR intervalech.

```
heartAgreg = 600; %počet vzorků srdeční činnosti na jednu položku
                v Planes
windowSize = 1; %velikost okna v položkách v Planes

RRsamples = find(diff(Heart.RRcounter)); %fce hledá difference
                v RR intervalech
RR = Heart.LastRR(RRsamples);
```

Poté pomocí for cyklu byly počítány dané intervaly Poincareho metodou (viz níže).

```
for i=1:3 %for cyklus počítající RR intervaly
    sumace = 0;
    rrcount = 0;
    j = 1;
    if i==2;
        j = rrcouter(1);
```

```

end
if i==3;
    j = rrcouter(1)+rrcouter(2);
end
if i==4;
    j = rrcouter(1)+rrcouter(2)+rrcouter(3);
end
while(sumace <= 3600000)
    sumace = sumace+RR(j);
    rrcount = rrcount+1;
    j = j+1;
end
rrcouter(i) = rrcount;
end

```

```
rrcouter(4) = length(RR)-sum(rrcouter);
```

Následně opět pomocí for cyklu byly vypočtené parametry HRV zobrazeny do grafu (viz níže).

```

for ii = 1:4 %for cyklus zobrazující vypočítaný parametr Poincareho
    %metodou HRV
    dstnce = [];
    if ii == 1
        dstnce = RR(1:4548);
    end
    if ii == 2
        dstnce = RR(4548:4548+4411);
    end
    if ii == 3
        dstnce = RR(4548+4411:4548+4411+4547);
    end
    if ii == 4
        dstnce = RR(4548+4411+4547:length(RR));
    end
    subplot(2,2,ii)
    for d=1:length(dstnce)-1
        plot(dstnce(d),dstnce(d+1),'.');
        hold on
    end
    axis([500 1100 500 1100]);
    xlabel('RR[n]', 'FontWeight','bold');
    ylabel('RR[n+1]', 'FontWeight','bold');
    if ii == 1
        title({'\fontsize{12}První hodina měření'}, 'FontWeight',
            'bold')
    end
    if ii == 2
        title({'\fontsize{12}Druhá hodina měření'}, 'FontWeight',
            'bold')
    end
    if ii == 3
        title({'\fontsize{12}Třetí hodina měření'}, 'FontWeight',
            'bold')
    end
    if ii == 4
        title({'\fontsize{12}Čtvrtá hodina měření'}, 'FontWeight',
            'bold')
    end
    hold on;
end

```

```

dscatter(dstnce(1:end-1),dstnce(2:end));
colorbar
set(gca, 'CLim', [0, 1])
end
%suptitle({'\fontsize{14}Parametr HRV - proband 6'})

```

### 3.4.3 Zpracování dat – záznam letadel probandem do archu

Data se záznamy letadel byla dodána v papírové podobě. Nejprve byla převedena do digitální podoby do programu Microsoft Office Excel. Podle času záznamu byla ke každému zaznamenanému letadlu (tj, maximálně 4 záznamům) přiřazena hodnota času po pěti minutách, aby bylo možné detekovat počty záznamů po pěti minutách (příklad viz tabulka 3.6). Následně byla přiřazena jednotlivým typům chyb a správných záznamů čísla, aby data mohla být zpracována v programu Matlab (viz tabulka 3.7). Dále byla data převedena do textového souboru, aby mohla být dále zpracována v programu Matlab.

**Tabulka 3.6: Příklad přiřazení hodnot času (v minutách) k jednotlivým řádkům záznamů pro jednodušší zpracování**

| Kód letadla | Sektor | Čas vletu | Výška vletu | Přiřazená hodnota času (min) |
|-------------|--------|-----------|-------------|------------------------------|
| SVA941      | 11     | 9:04:01   | 13000       | 0                            |
| AFL2450     | 3      | 9:07:08   | 34000       | 5                            |
| OKZKK       | 9      | 9:10:20   | 10000       | 10                           |
| FHY325      | 9      | 9:11:15   | 36000       | 10                           |

**Tabulka 3.7: Přiřazení čísel jednotlivým typům správných/chybných záznamů**

| Typ správného/chybného záznamu | Přiřazená značka          | Přiřazené číslo |
|--------------------------------|---------------------------|-----------------|
| Záznam neměl být               | –                         | 0               |
| Správně vyplněno               | (žádná značka)            | 1               |
| Nevyplněno                     | N                         | 2               |
| Špatně vyplněno                | W                         | 3               |
| Oprava                         | C                         | 4               |
| Oprava (prohození dat)         | P                         | 5               |
| Nečitelný záznam               | R                         | 6               |
| Nekompletní záznam             | (nc)                      | 7               |
| Neznámý kód letadla            | A                         | 8               |
| Kombinovaná chyba              | (značka podle druhu chyb) | 9               |

V programu Matlab bylo nejprve funkcemi *clc*, *close all* a *clear all* zajištěno vymazání obsahu *Command window* jako u předešlých zpracování dat, zavření všech předchozích spuštěných skriptů a smazání všech proměnných v operační paměti programu, aby nedošlo k jejich záměně nebo přepsání. Následně byla postupně načtena

data reálných počtů letadel ze systému Flightradar24 a záznamů letadel probanda (viz níže).

```
clc
close all
clear all

%DATA ZÁZNAMŮ LETADEL
load('PlanesNEWBEST.mat'); %načtení dat - reálný počet letadel
                             ze systému Flightradar24
data = load('2_data_letadla.txt'); %načtení dat - záznamy letadel
                                   probanda
```

Dále byly vytvořeny pomocné matice, do kterých byly následně ukládány výsledky pomocí funkce *zeros*, která vytvoří matice o daných rozměrech plné nul. Proměnná *suma\_output* slouží k ukládání počtů správných záznamů letadel vyplněných probandem, proměnná *bad\_output* pro ukládání špatných záznam letadel probandem a proměnná *celk\_output* pro uložení celkového počtu záznamů letadel probandem. Dále byla stanovena proměnná *time* a *timePlanes* pro zobrazení záznamů v závislosti na čase a aby bylo možné spojit záznamy s přiřazenými hodnotami času v datech (viz níže). Poté byly obecně špatné záznamy přepsány na hodnotu 10. K dalšímu zkoumání a využití dat lze později data rozdělit a zkoumat jednotlivé druhy chyb. To ale není předmětem zkoumání v této diplomové práci.

```
suma_output = zeros(1, (data(end,7)/5)+1); %matice pro výsledky
bad_output = zeros(1, (data(end,7)/5)+1); %matice pro výsledky
celk_output = zeros(1, (data(end,7)/5)+1); %matice pro výsledky
b = 0;
time = 0:5:240;
timePlanes = 5:5:240;
data(data(:,1:6)>1) = 10; %obecně špatné hodnoty přepsány na 10 (0 je
                           nevyplněno)
```

Následující for cyklus prohledává všechna načtená data o záznamech letadel probanda a přiřazuje a počítá záznamy podle hodnot času a načítá je postupně do připravených matic *suma\_output*, *bad\_output* a *celk\_output* (viz níže).

```
for a = 1:((data(end,7)/5)+1) %for cyklus pro výpočet jednotlivých
                             matic
suma = ismember(data(:,7),b); %fce hledá v souboru dat počet záznamů
                              za posledních pět minut a následně je
                              sčítá do příslušných matic

nasobeni_s1 = data(suma,1);
nasobeni_s2 = data(suma,2);
nasobeni_s3 = data(suma,3);
nasobeni_s4 = data(suma,4);
nasobeni_s5 = data(suma,5);
nasobeni_s6 = data(suma,6);
suma_output(a) = sum(ismember(nasobeni_s1,1)+ismember(nasobeni_s2,1)+
                    ismember(nasobeni_s3,1)+ismember(nasobeni_s4,1)+
                    ismember(nasobeni_s5,1)+ismember(nasobeni_s6,1));
```

```

bad_output(a) = sum(ismember(nasobeni_s1,10)+ismember(nasobeni_s2,10)+
ismember(nasobeni_s3,10)+ismember(nasobeni_s4,10)+
ismember(nasobeni_s5,10)+ismember(nasobeni_s6,10));
celk_output(a) = suma_output(a) + bad_output(a);
b = b+5; end
suma_output = [0 suma_output]; %nastavení nulového počátečního počtu
bad_output = [0 bad_output];
celk_output = [0 celk_output];

```

Potom do proměnné *PriletlyOdlety* jsou načteny matice s reálnými počty letadel ze systému Flightradar24 a opět pomocí for cyklu je plovoucím oknem (okno 5 minut, overlap 4 minuty) spočítán součet příletů a odletů letadel (viz níže).

```

PriletlyOdlety = Planes.Odlety + Planes.Priletly; %matice reálných
odletů a příletů
ze systému
Flightradar24
for i = 1:5:length(PriletlyOdlety)- 4 %plovoucí okno počítající počet
letadel, okno 5 min, overlap
4 min
sumaPO(i) = sum(PriletlyOdlety(i:i+4));
end
sumaPO(sumaPO(1,:) == 0) = [];

```

Takto předpřipravená data byla zobrazena pomocí funkcí *stem* a *plot* do grafů. Opět byla použita úprava os, vzhledu grafů, zobrazení pauz probanda v grafech a legenda grafu jako u předchozích zpracování dat (viz příklad kódu níže a kapitola 3.4.1).

```

%graf správných záznamů probanda za posledních 5 min v čase
figure(1)
stem(time(1,2:length(time)),suma_output(1,2:length(suma_output)),
'filled','ko','LineWidth',1.5);
hold on
plot(time(28),suma_output(28)+2,'*', 'MarkerSize',12, 'MarkerEdgeColor',
[.1 .8 .4]); %označení pauzy probanda v grafu
axis([0 240 0 50]); %nastavení os grafu
xbounds = xlim;
set(gca, 'XTick', xbounds(1):10:xbounds(2));
xlabel('Čas (min)', 'FontWeight', 'bold');
ylabel({'Počet správně zaznamenaných záznamů za posledních 5 minut
(-)'}, 'FontWeight', 'bold');
%title({'\fontsize{12}Počet správně zaznamenaných záznamů
za posledních 5 minut v čase - senzor 2'}, 'FontWeight', 'bold');
leg = legend({'Správné záznamy', 'Pauza'}, 'FontWeight', 'bold',
'Location', 'NorthWest');

```

### 3.4.4 Statistické vyhodnocení chybovosti

Průměrný počet letadel za posledních 5 minut, které reálně překročili hranice České republiky, byl 23 (tj. minimálně 92 záznamů v archu). V lidských silách ale není možné všechna tato letadla i s jejich údaji detekovat a ručně zapsat do archu. Proto byl stanoven práh vyšší hustoty provozu (HTD) na 10 letadel za posledních 5 minut, tj. 40 záznamů (10 letadel, 1 letadlo odpovídá minimálně čtyřem správně zaznamenaným údajům). Počet

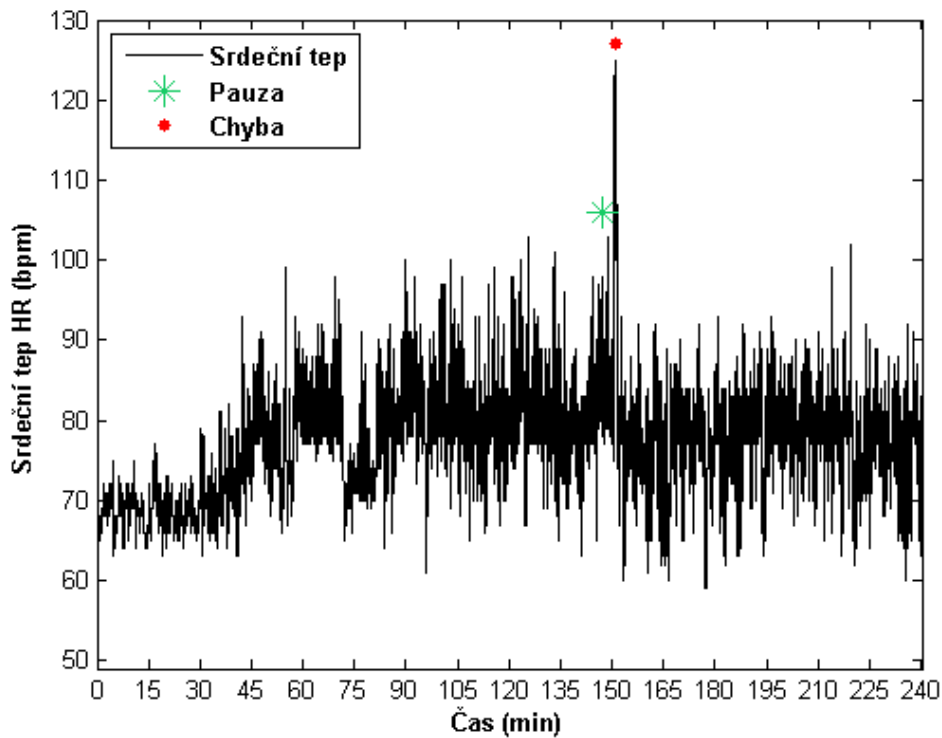
záznamů pod hranici 40 je nízká hustota provozu (LTD). Tato hodnota je průměrný počet záznamů za pět minut zaznamenaných na jednoho probanda. Pro statistické vyhodnocení byly vybrány u každého probanda třicet záznamů pod prahovou hodnotou a třicet záznamů nad prahovou hodnotou. Data byla pomocí Shapiro-Wilksova testu normality testována, zda mají normální rozdělení na hladině významnosti  $p < 0,01$  (viz kapitola Výsledky) [47]. Protože nevykazovala normální rozdělení, byl pro testování hypotézy použit Mann-Whitneyův neparametrický pořadový test [48].



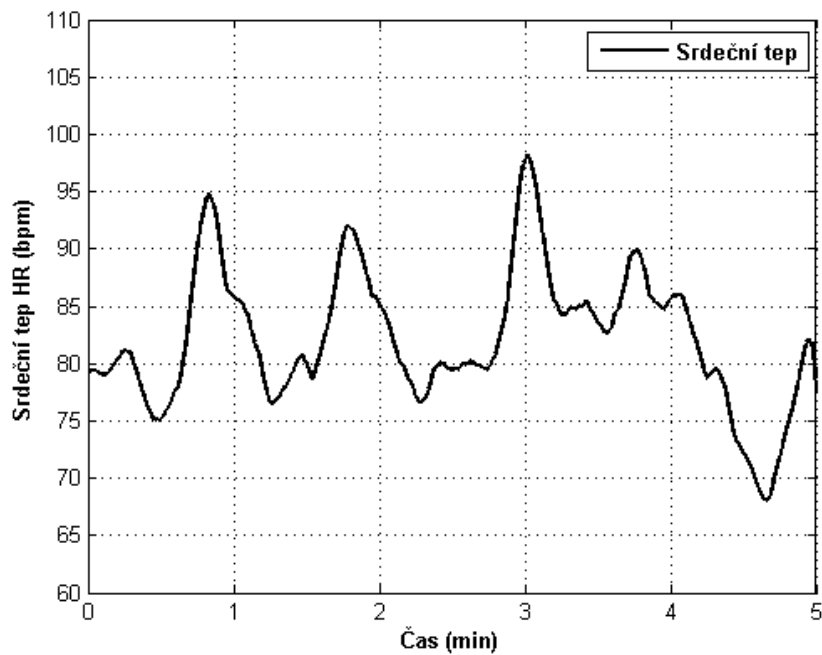
## 4 Výsledky

### 4.1 Výsledky fyziologických parametrů

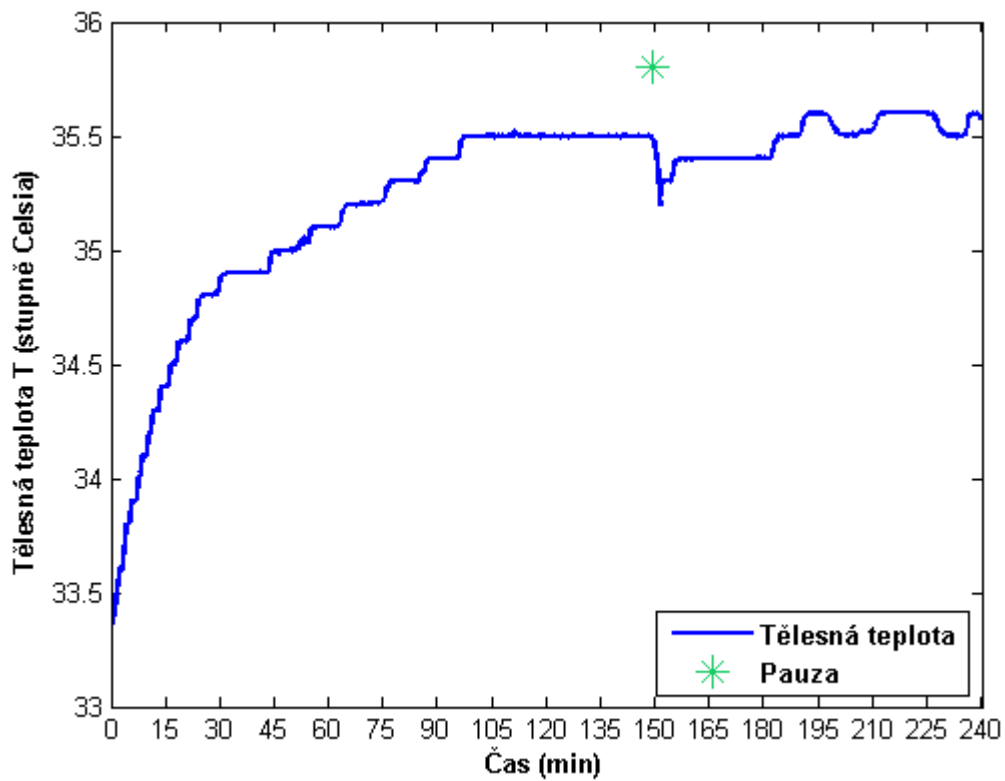
Výsledné grafy fyziologických dat probanda č. 6.



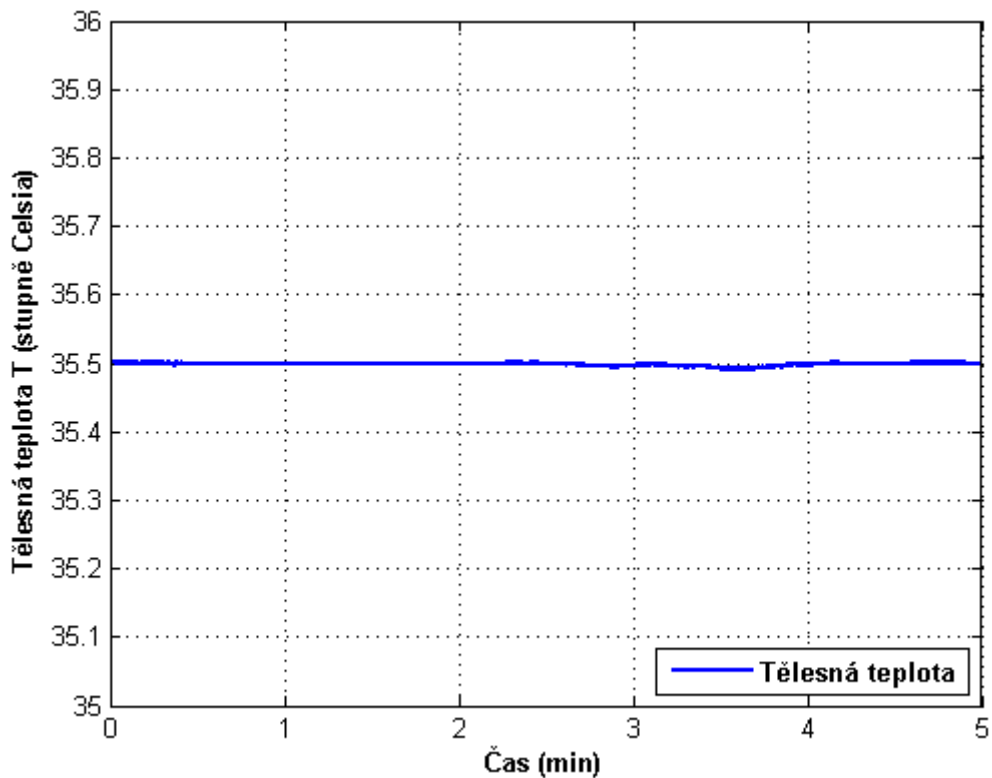
Obrázek 4.1: Graf celkového záznamu srdečního tepu probanda č. 6 [-]



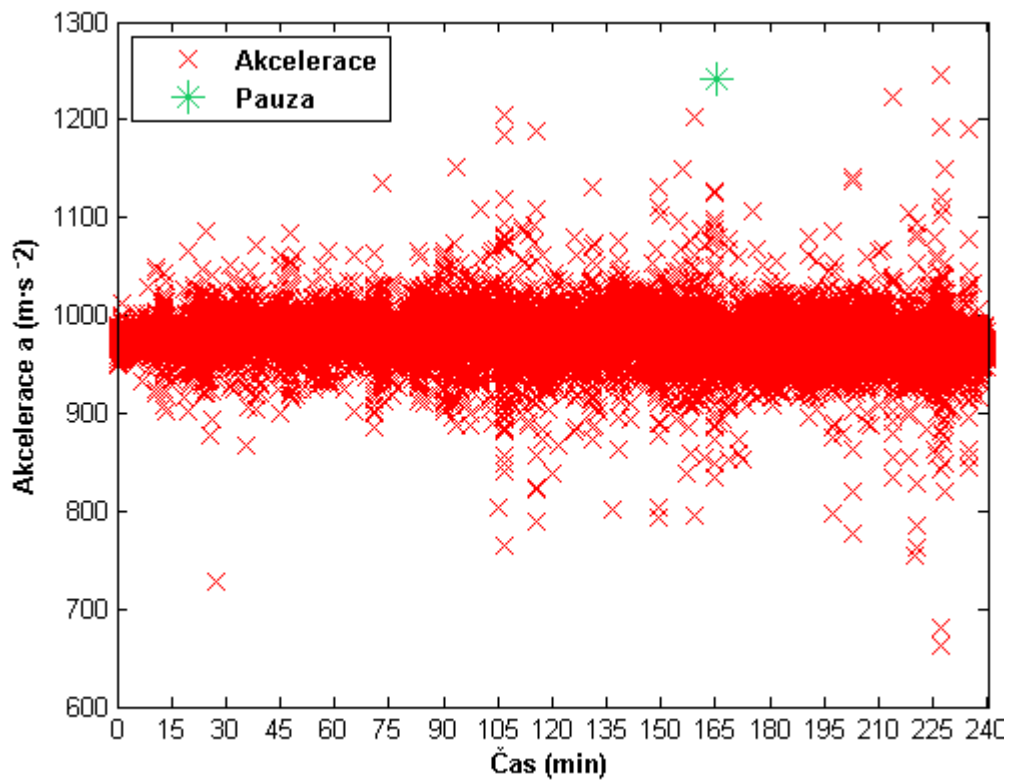
Obrázek 4.2: Graf 5minutového výřezu záznamu srdečního tepu probanda č. 6 v polovině experimentu [-]



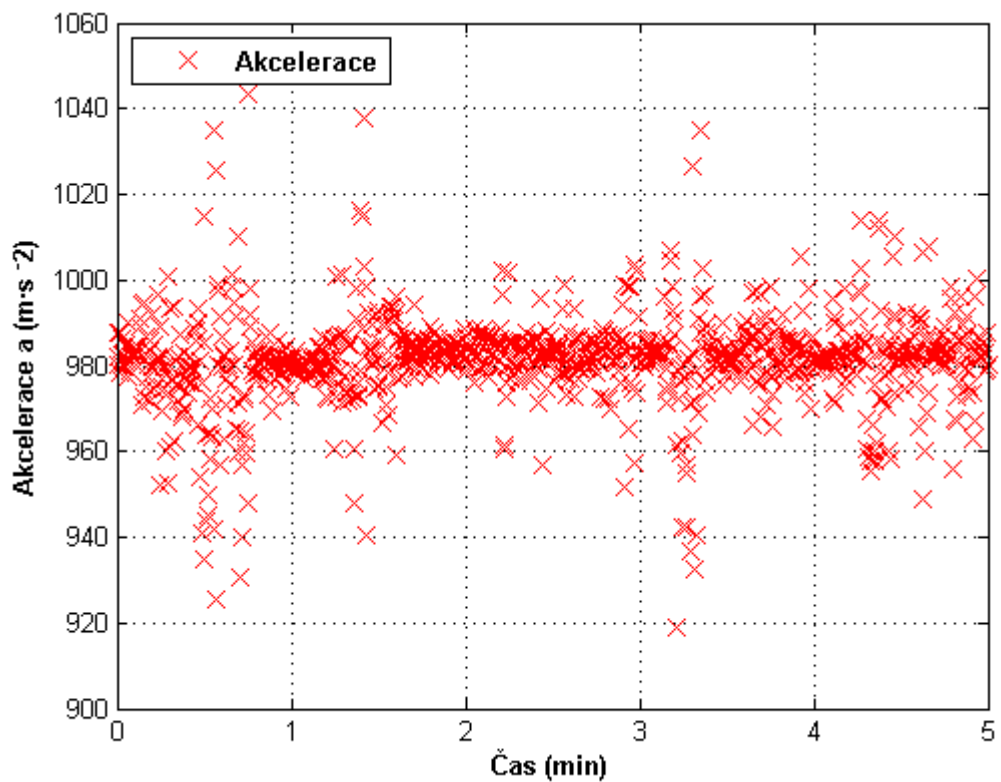
Obrázek 4.3: Graf celkového záznamu tělesné teploty probanda č. 6 s počátečním ustalováním senzoru [-]



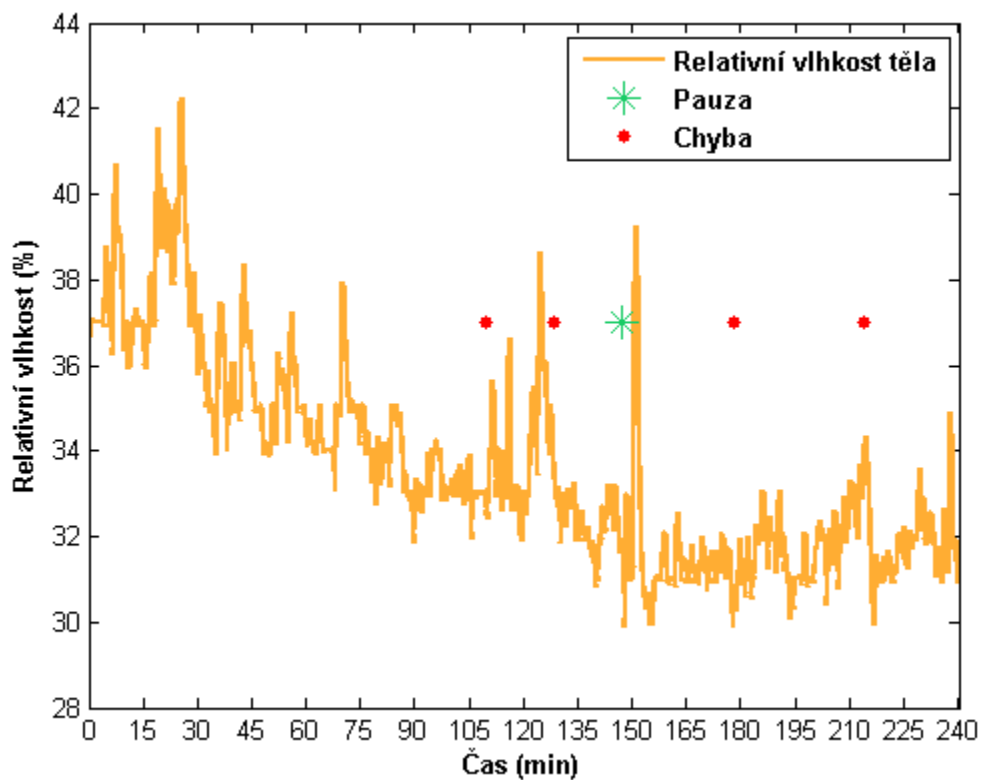
Obrázek 4.4: Graf 5minutového výřezu záznamu tělesné teploty probanda č. 6 v polovině experimentu [-]



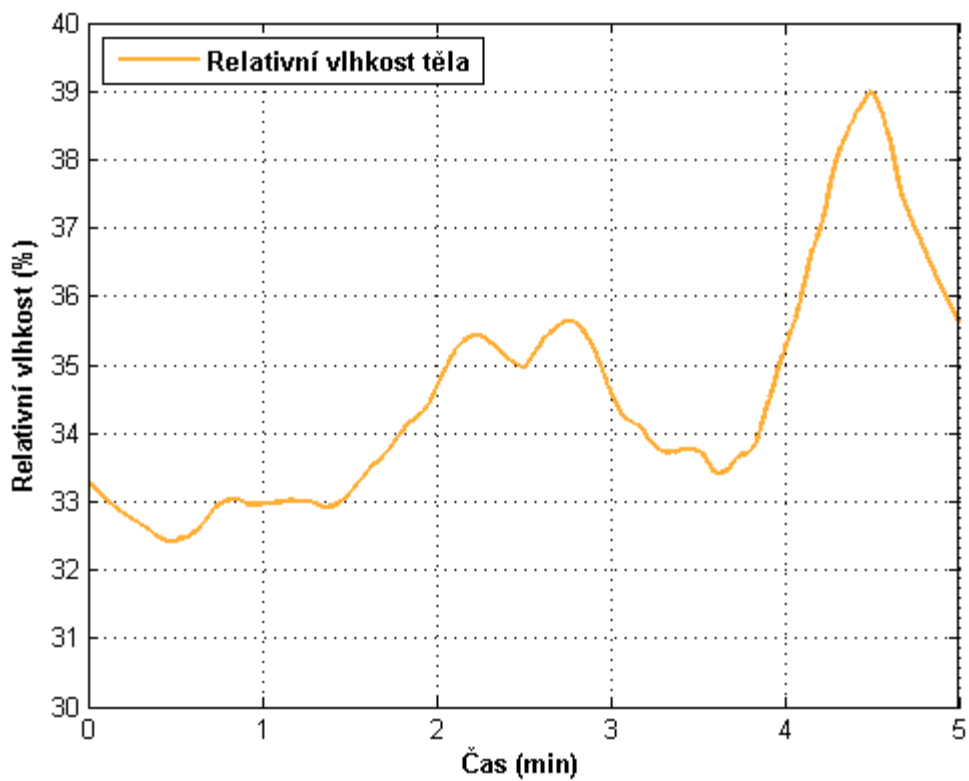
Obrázek 4.5: Graf celkového záznamu pohybové aktivity probanda č. 6 [-]



Obrázek 4.6: Graf 5minutového výřezu záznamu pohybové aktivity probanda č. 6 v polovině experimentu [-]



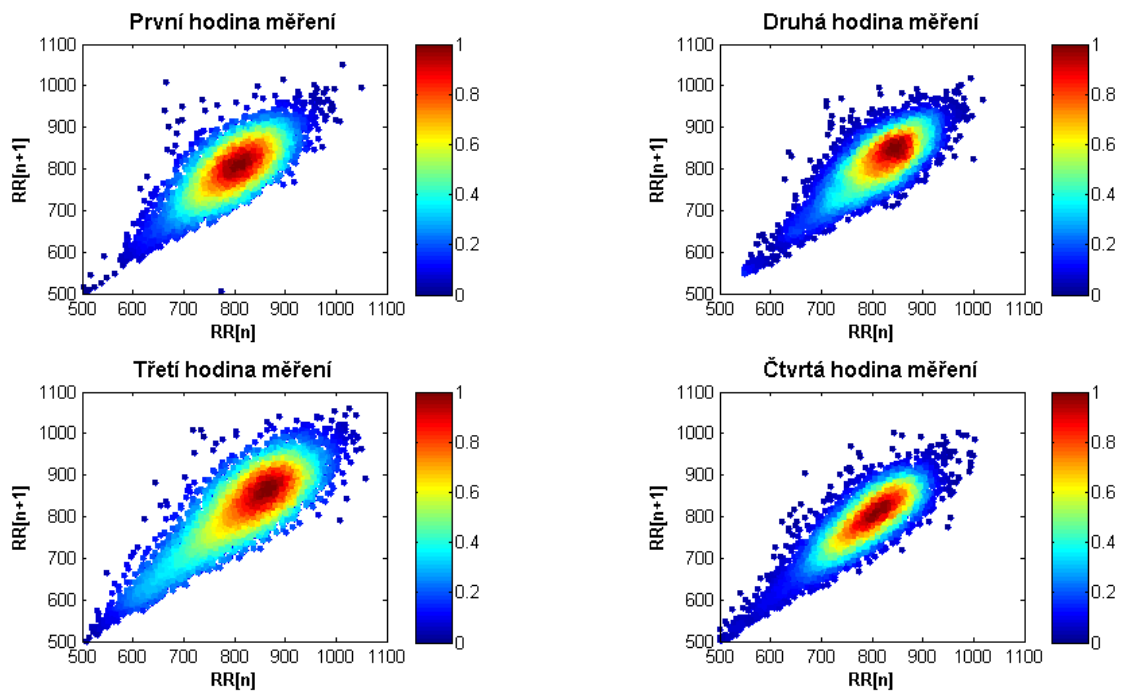
Obrázek 4.7: Graf celkového záznamu relativní vlhkosti těla probanda č. 6 [-]



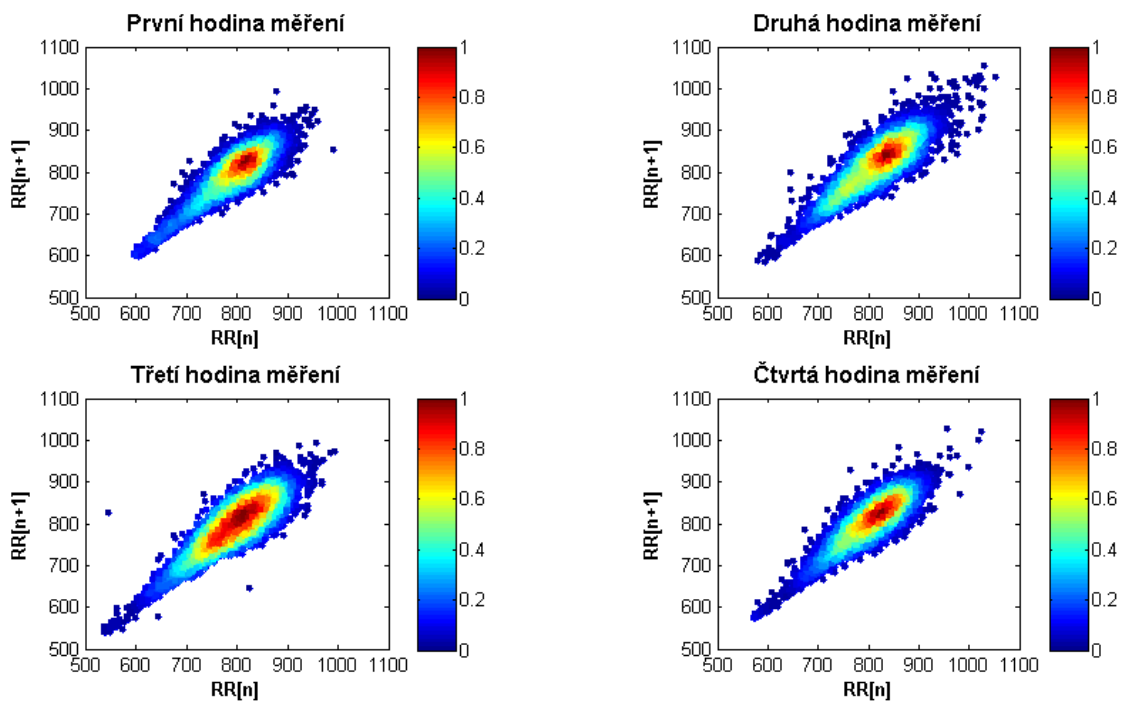
Obrázek 4.8: Graf 5minutového výřezu záznamu relativní vlhkosti probanda č. 6 v polovině experimentu [-]

## 4.2 Výsledky parametru HRV

Výsledek hodnocení parametru HRV probanda č. 2 a č. 3.



Obrázek 4.9: Parametr HRV u probanda č. 2 [-]

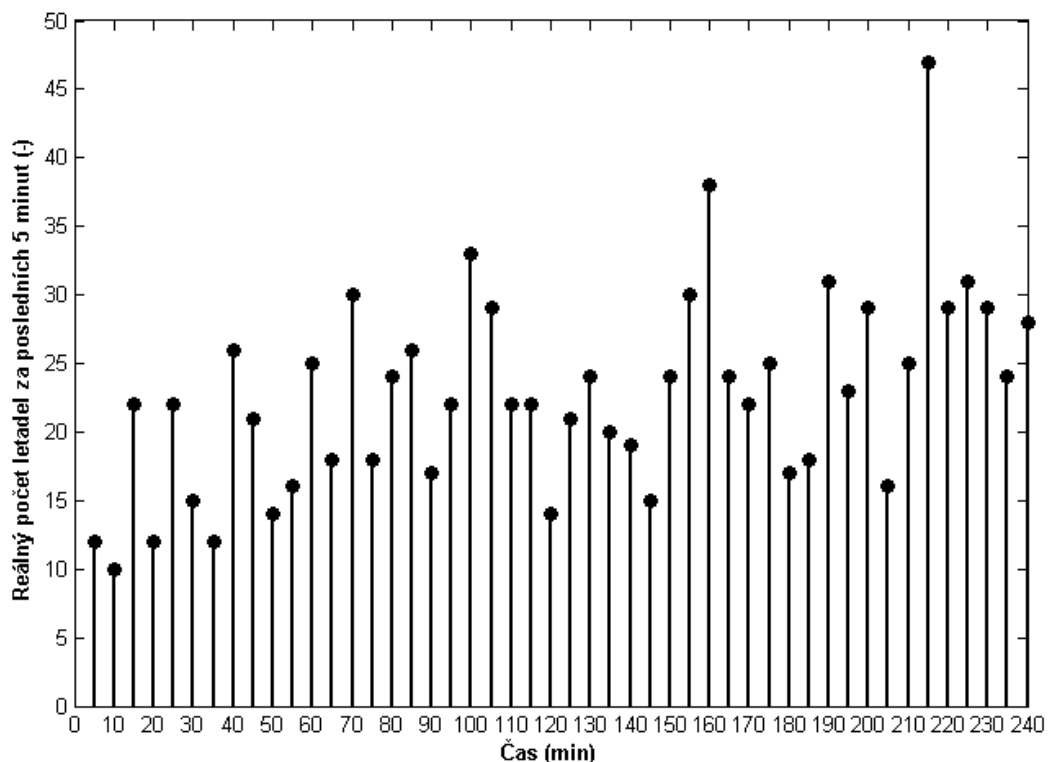


Obrázek 4.10: Parametr HRV u probanda č. 3 [-]

Parametr HRV u probanda č. 5 a č. 6 nebylo možné určit, resp. kvůli špatně naměřeným datům by vypočítaný parametr nebyl vypovídající.

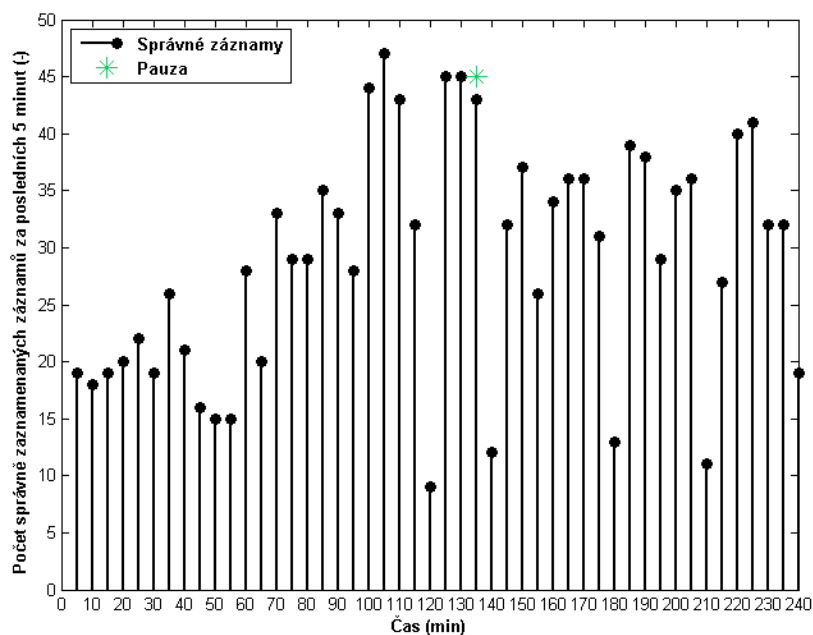
### 4.3 Výsledky záznamů letadel jednotlivých probandů

Výsledný graf reálného počtu letadel ze systému Flightradar 24.

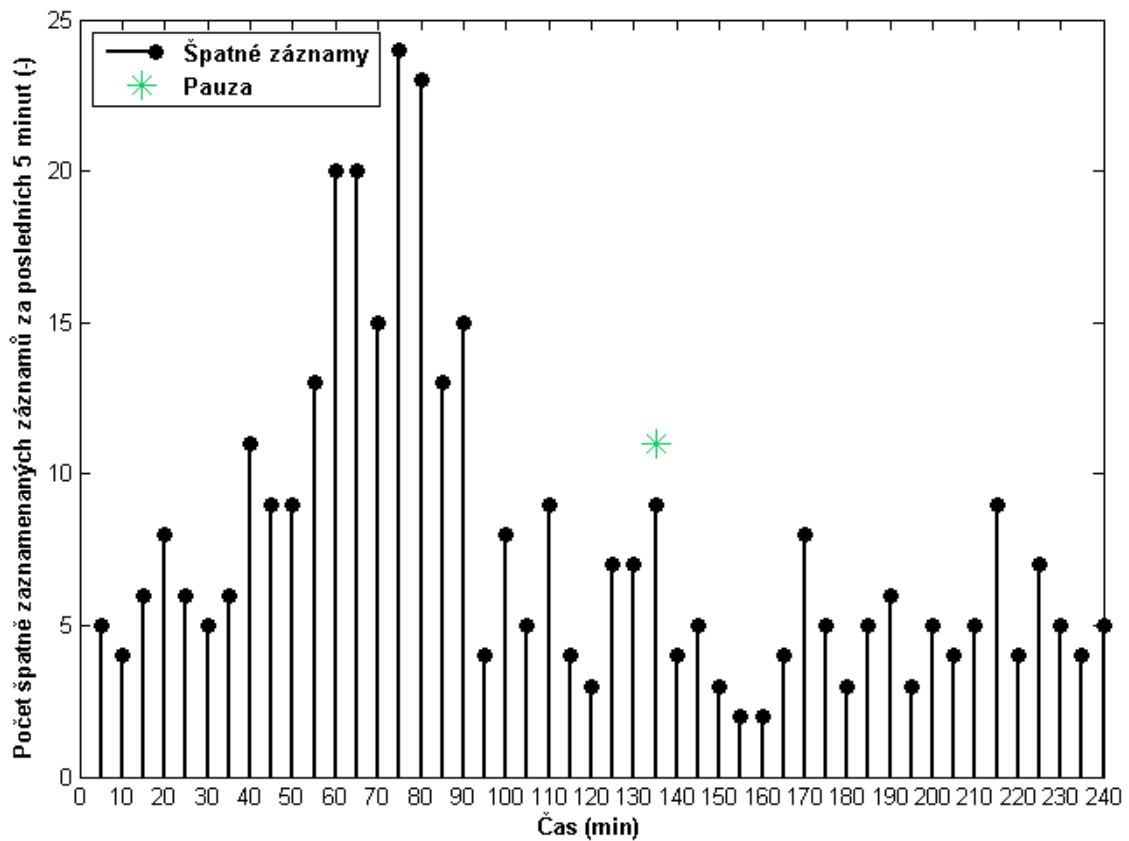


Obrázek 4.11: Reální počet letadel za posledních pět minut v čase [-]

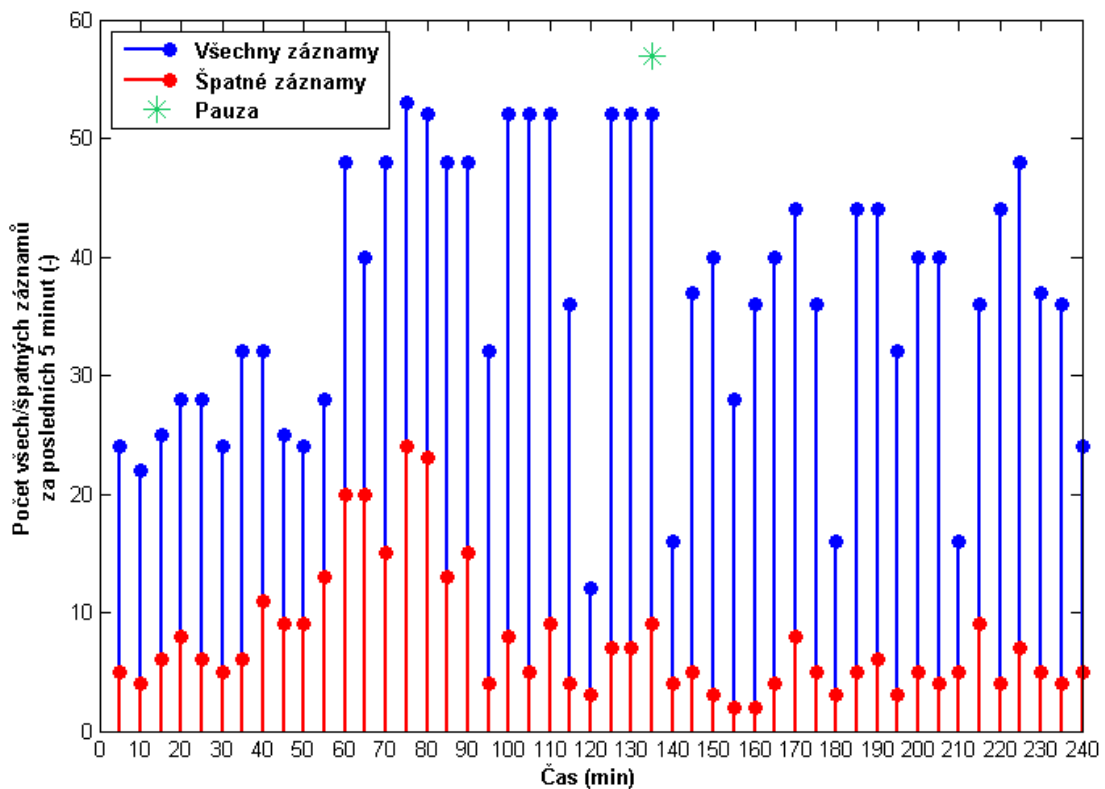
Výsledné grafy záznamů letadel probanda č. 2 a poměrové grafy probandů č. 3, 5 a 6. Výsledné grafy ostatních třech probandů jsou v přílohách (viz příloha E – Další výsledky).



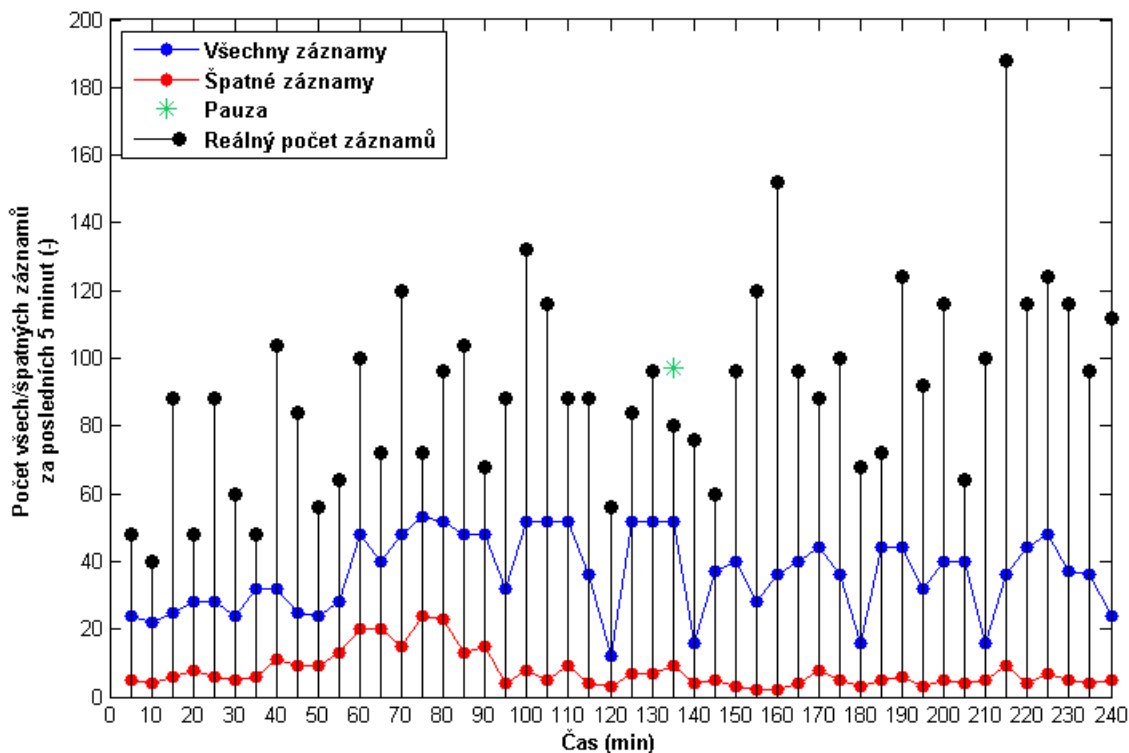
Obrázek 4.12: Počet správných záznamů letadel za posledních pět minut v čase probanda č. 2 [-]



Obrázek 4.13: Počet špatných záznamů letadel za posledních pět minut v čase probanda č. 2 [-]



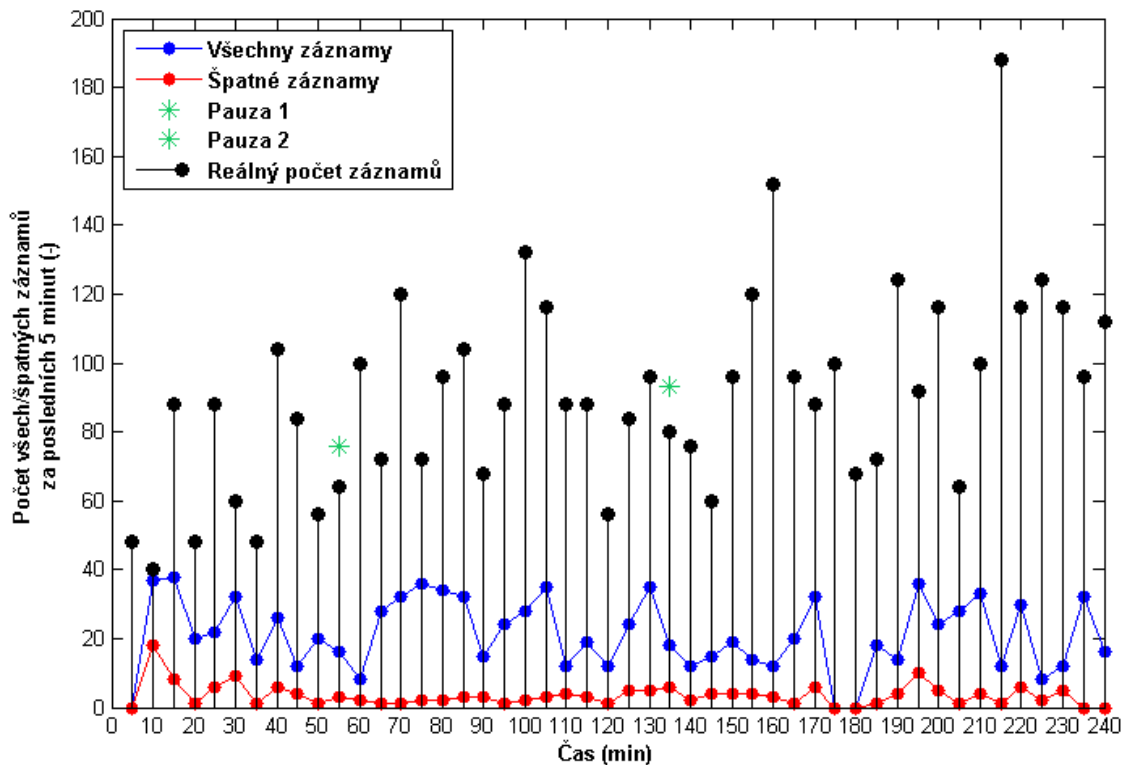
Obrázek 4.14: Poměr všech záznamů probanda č. 2 a špatných záznamů letadel za posledních pět minut v čase [-]



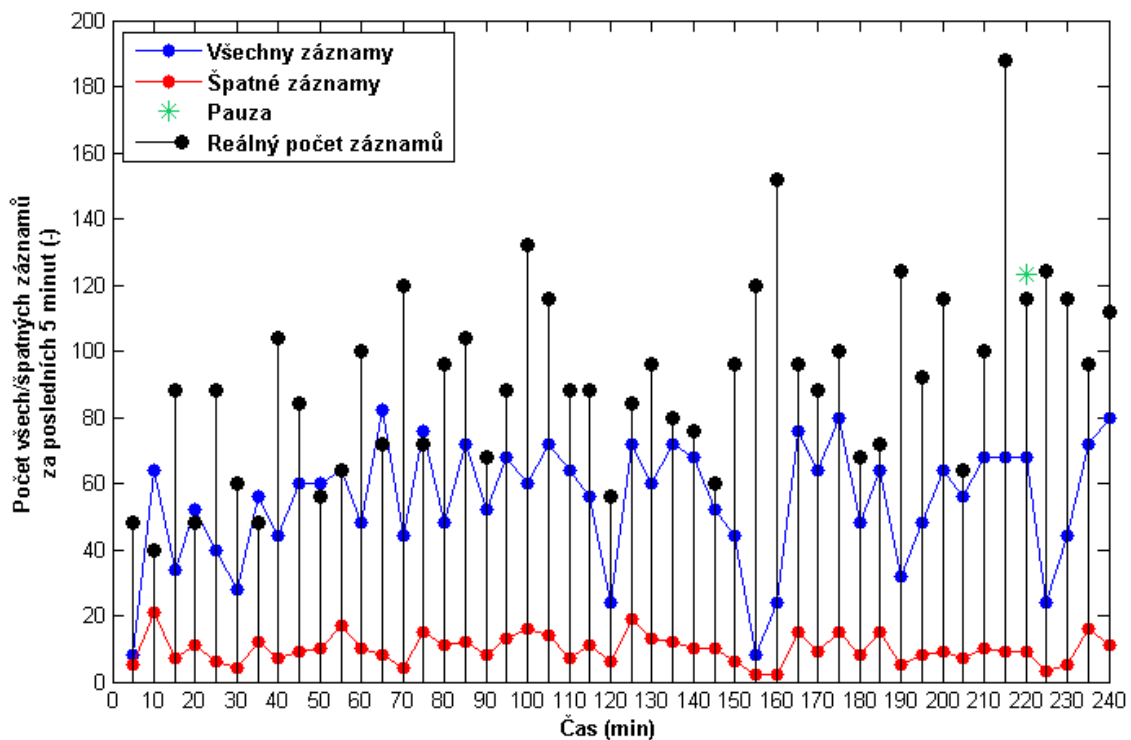
**Obrázek 4.15: Porovnání správného počtu záznamů letadel (černá barva) se zobrazením všech záznamů probanda č. 2 (modrá barva) a špatných záznamů (červená barva) za posledních pět minut v čase [-]**

Na obrázku 4.15 je zobrazen graf, který ukazuje správný počet záznamů letadel, které proband měl ideálně zapsat do archu (černá barva; reálný počet letadel z grafu na obrázku 4.11 násobený 4, protože ke každému letadlu náležely minimálně čtyři záznamy, které měly být probandem zapsány) a také poměrově zobrazuje všechny zapsané záznamy probandem (modrá barva) a jeho chybné záznamy (červená barva). Stejně grafy pro ostatní tři probandy viz níže na obrázcích 4.16, 4.17 a 4.18.

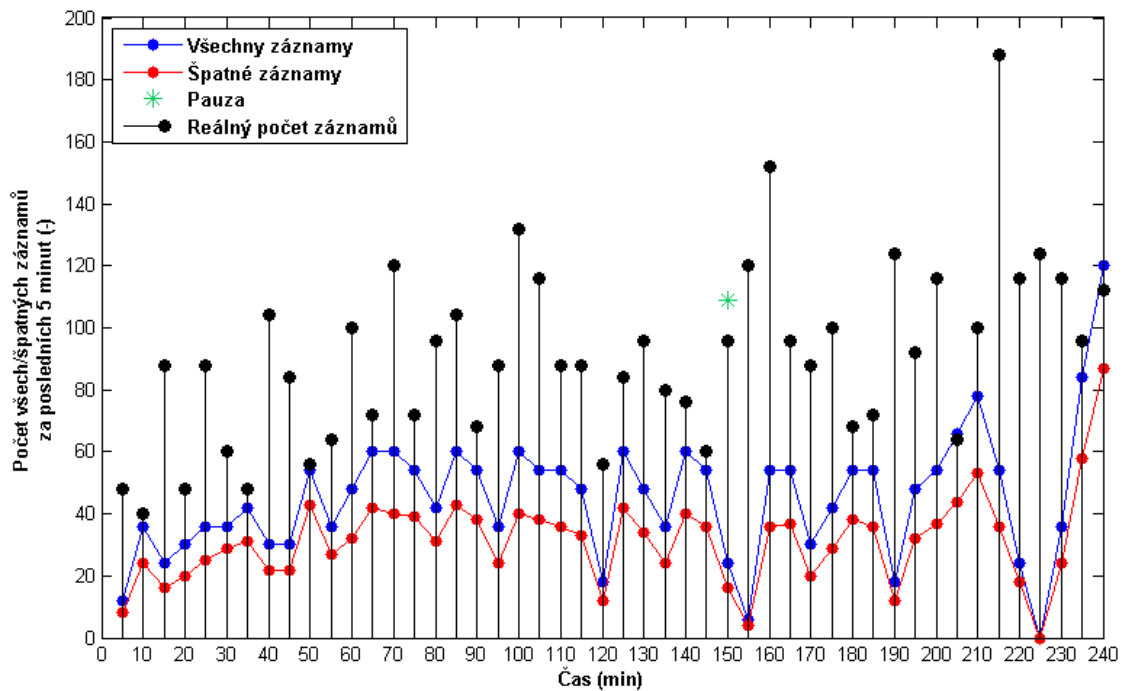




Obrázek 4.16: Porovnání správného počtu záznamů letadel (černá barva) se zobrazením všech záznamů probanda č. 3 (modrá barva) a špatných záznamů (červená barva) za posledních pět minut v čase [-]



Obrázek 4.17: Porovnání správného počtu záznamů letadel (černá barva) se zobrazením všech záznamů probanda č. 5 (modrá barva) a špatných záznamů (červená barva) za posledních pět minut v čase [-]



**Obrázek 4.18:** Porovnání správného počtu záznamů letadel (černá barva) se zobrazením všech záznamů probanda č. 6 (modrá barva) a špatných záznamů (červená barva) za posledních pět minut v čase [-]

#### 4.4 Výsledky statistického zpracování dat

Výsledky testování normality rozdělení dat Shapiro-Wilksovým testem normality pro všechny probandy (viz tabulka 4.1).

**Tabulka 4.1:** Shapiro-Wilksův test normality

| Proband č. 2 |  |
|--------------|--|
| HTD          | počet záznamů $n = 30$   |
|              | průměr $Mean = 28,7$   |
|              | směrodatná odchylka $SD = 24,1049$   |
|              | test $W = 0,7072$  |
|              | práh pro ( $p = 0,01$ ) = 0,9000 → hypotéza $H_0$ zamítnuta<br>práh pro ( $p = 0,05$ ) = 0,9270 → hypotéza $H_0$ zamítnuta<br>práh pro ( $p = 0,10$ ) = 0,9390 → hypotéza $H_0$ zamítnuta<br><b>=&gt; Data nemají normální rozdělení na hladině významnosti <math>p &lt; 0,01</math></b> |
| LTD          | počet záznamů $n = 30$   |
|              | průměr $Mean = 15,1$   |
|              | směrodatná odchylka $SD = 16,6761$   |
|              | test $W = 0,7605$  |
|              | práh pro ( $p = 0,01$ ) = 0,8999 → hypotéza $H_0$ zamítnuta<br>práh pro ( $p = 0,05$ ) = 0,9270 → hypotéza $H_0$ zamítnuta<br>práh pro ( $p = 0,10$ ) = 0,9390 → hypotéza $H_0$ zamítnuta<br><b>=&gt; Data nemají normální rozdělení na hladině významnosti <math>p &lt; 0,01</math></b> |

pokračování Tabulky 4.1

| <b>Proband č. 3</b> |  |
|---------------------|--|
| HTD                 | počet záznamů $n = 30$<br>průměr $Mean = 0$<br>směrodatná odchylka $SD = 0$<br>test $W$ nebylo možno spočítat<br>práh pro $(p = 0,01) = 0,8999 \rightarrow$ hypotéza $H_0$ zamítnuta<br>práh pro $(p = 0,05) = 0,9270 \rightarrow$ hypotéza $H_0$ zamítnuta<br>práh pro $(p = 0,10) = 0,9390 \rightarrow$ hypotéza $H_0$ zamítnuta<br>=> <b>Data nemají normální rozdělení na hladině významnosti <math>p &lt; 0,01</math></b> |
| LTD                 | počet záznamů $n = 30$<br>průměr $Mean = 20,7$<br>směrodatná odchylka $SD = 10,3135$<br>test $W = 0,9354$<br>práh pro $(p = 0,01) = 0,8999 \rightarrow$ hypotéza $H_0$ nezamítnuta<br>práh pro $(p = 0,05) = 0,9270 \rightarrow$ hypotéza $H_0$ nezamítnuta<br>práh pro $(p = 0,10) = 0,9390 \rightarrow$ hypotéza $H_0$ zamítnuta<br>=> <b>Data nemají normální rozdělení na hladině významnosti <math>p &lt; 0,10</math></b> |
| <b>Proband č. 5</b> |  |
| HTD                 | počet záznamů $n = 30$<br>průměr $Mean = 39,1$<br>směrodatná odchylka $SD = 35,1850$<br>test $W = 0,7234$<br>práh pro $(p = 0,01) = 0,8999 \rightarrow$ hypotéza $H_0$ zamítnuta<br>práh pro $(p = 0,05) = 0,9270 \rightarrow$ hypotéza $H_0$ zamítnuta<br>práh pro $(p = 0,10) = 0,9390 \rightarrow$ hypotéza $H_0$ zamítnuta<br>=> <b>Data nemají normální rozdělení na hladině významnosti <math>p &lt; 0,01</math></b>     |
| LTD                 | počet záznamů $n = 30$<br>průměr $Mean = 23,6$<br>směrodatná odchylka $SD = 24,8882$<br>test $W = 0,7674$<br>práh pro $(p = 0,01) = 0,8999 \rightarrow$ hypotéza $H_0$ zamítnuta<br>práh pro $(p = 0,05) = 0,9270 \rightarrow$ hypotéza $H_0$ zamítnuta<br>práh pro $(p = 0,10) = 0,9390 \rightarrow$ hypotéza $H_0$ zamítnuta<br>=> <b>Data nemají normální rozdělení na hladině významnosti <math>p &lt; 0,01</math></b>     |
| <b>Proband č. 6</b> |  |
| HTD                 | počet záznamů $n = 30$<br>průměr $Mean = 39,2$<br>směrodatná odchylka $SD = 24,4983$<br>test $W = 0,6902$<br>práh pro $(p = 0,01) = 0,8999 \rightarrow$ hypotéza $H_0$ zamítnuta<br>práh pro $(p = 0,05) = 0,9270 \rightarrow$ hypotéza $H_0$ zamítnuta<br>práh pro $(p = 0,10) = 0,9390 \rightarrow$ hypotéza $H_0$ zamítnuta<br>=> <b>Data nemají normální rozdělení na hladině významnosti <math>p &lt; 0,01</math></b>     |

**pokračování Tabulky 4.1 (proband č. 6)**

|   |   |
|---|---|
| LTD   | počet záznamů $n = 30$  |
|   | průměr $Mean = 6,8$   |
|   | směrodatná odchylka $SD = 12,6774$                                  |
|   | test $W = 0,5804$   |
|   | práh pro $(p = 0,01) = 0,8999 \rightarrow$ hypotéza $H_0$ zamítnuta |
|   | práh pro $(p = 0,05) = 0,9270 \rightarrow$ hypotéza $H_0$ zamítnuta |
| práh pro $(p = 0,10) = 0,9390 \rightarrow$ hypotéza $H_0$ zamítnuta                         |   |
| <b>=&gt; Data nemají normální rozdělení na hladině významnosti <math>p &lt; 0,01</math></b> |   |

Výsledky testování hypotézy pomocí Mann-Wilkeyova testu s hladinou významnosti  $p = 0,05$ , zda hustota provozu je ve vztahu k mentální únavě a stresu operátorů ŘLP (viz tabulka 4.2). Hypotéza  $H_0$ : počty záznamů probanda ve vysoké hustotě leteckého provozu za posledních 5 minut v čase odpovídají počtům záznamů probanda v nízké hustotě leteckého provozu za posledních 5 minut v čase.

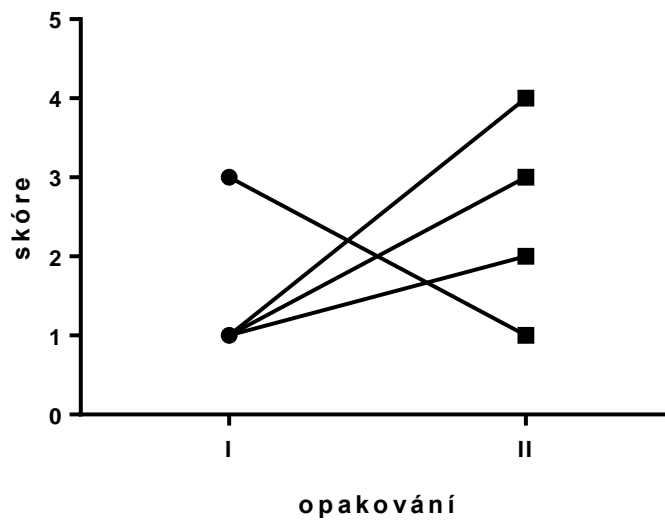
**Tabulka 4.2: Výsledky testování hypotézy  $H_0$**

| Proband č. 2  |   |                                       |
|---|---|---------------------------------------|
| HTD   | LTD   | HTD + LTD                             |
| test $U = 274,5$<br>(Očekávaný test $U = 450$ )                                       | test $U = 625,5$<br>(Očekávaný test $U = 450$ ) | směrodatná odchylka<br>$SD = 67,6387$ |
| Výsledná hodnota testovacího kritéria je $U = 274,5$ . Z-skóre je $Z = 2,5873$ .      |   |                                       |
| <b>Výsledek je významný na hladině významnosti 5 % (<math>p = 0,0048</math>).</b>     |   |                                       |
| Proband č. 3  |   |                                       |
| HTD   | LTD   | HTD + LTD                             |
| test $U = 870$<br>(Očekávaný test $U = 450$ )   | test $U = 30$<br>(Očekávaný test $U = 450$ )    | směrodatná odchylka<br>$SD = 67,6387$ |
| Výsledná hodnota testovacího kritéria je $U = 30$ . Z-skóre je $Z = -6,2021$ .        |   |                                       |
| <b>Výsledek je významný na hladině významnosti 5 % (<math>p &lt; 0,00001</math>).</b> |   |                                       |
| Proband č. 5  |   |                                       |
| HTD   | LTD   | HTD + LTD                             |
| test $U = 303,5$<br>(Očekávaný test $U = 450$ )                                       | test $U = 596,5$<br>(Očekávaný test $U = 450$ ) | směrodatná odchylka<br>$SD = 67,6387$ |
| Výsledná hodnota testovacího kritéria je $U = 303,5$ . Z-skóre je $Z = 2,1585$ .      |   |                                       |
| <b>Výsledek je významný na hladině významnosti 5 % (<math>p = 0,0154</math>).</b>     |   |                                       |
| Proband č. 6  |   |                                       |
| HTD   | LTD   | HTD + LTD                             |
| test $U = 152$<br>(Očekávaný test $U = 450$ )   | test $U = 748$<br>(Očekávaný test $U = 450$ )   | směrodatná odchylka<br>$SD = 67,6387$ |
| Výsledná hodnota testovacího kritéria je $U = 152$ . Z-skóre je $Z = 4,3984$ .        |   |                                       |
| <b>Výsledek je významný na hladině významnosti 5 % (<math>p &lt; 0,00001</math>).</b> |   |                                       |

## 4.5 Výsledky subjektivní metody

Zpracované výsledky vyhodnocené subjektivní metody byly dodány Mgr. et Mgr. Ivetou Fajnerovou, PhD. z NÚDZ. Z důvodu malého počtu probandů a nedostatečné vyplněnosti dotazníků nebylo možné provést statistickou analýzu. Pro ilustraci jsou níže uvedeny grafy jednotlivých probandů.

Hodnocení psychického stavu probandů před zahájením experimentu poukazuje na nepřítomné až mírné projevy úzkosti.



**Obrázek 4.19: Graf vyhodnocené zkrácené verze dotazníku BAI**

Graf ukazuje změny v hodnocení míry úzkosti u probandů před (opakování I) a po experimentu (opakování II). Před experimentem probandi hodnotili většinou míru úzkosti jako žádnou nebo velmi mírnou. Po experimentu probandi hodnotili míru úzkosti vyšším ohodnocením.

## 5 Diskuse

Hlavním cílem mé diplomové práce bylo realizovat a vyhodnotit fyziologická data operátorů systémů protivzdušné obrany. Ve vyhodnocení jsem se zaměřila na kvantitativní hodnocení chybovosti zápisů operátorů PVO v závislosti na psychickém stresu a mentální únavě. Data byla naměřena při simulovaném experimentu na Univerzitě obrany v Brně. Experimentu se zúčastnili čtyři probandi (3 muži a jedna žena ve věku 24 let). Více probandů nebylo možné naměřit, protože se jedná o vysoce specifickou profesi i v rámci Armády České republiky a experiment byl časově náročný.

Pro vyhodnocení tohoto problému jsem navrhla několik metod, ale nejvhodnější se jevila metoda vyhodnocení fyziologických parametrů, konkrétně srdečního tepu, který je nejvíce signifikantní při stresové reakci organismu dle [36] a [37], pomocí parametru HRV a statistického vyhodnocení počtů záznamů v závislosti na hustotě leteckého provozu. Dále jsem zpracovala naměřená fyziologická data v programu Matlab, konkrétně srdeční tep, dechovou frekvenci, pohybovou aktivitu a relativní vlhkost těla, a vynesla je do grafů (viz kapitola výsledky a příloha E). U dechové frekvence ale přes veškerou snahu data upravit a vyfiltrovat tak, aby ukazovala reálné hodnoty, se mi nepodařilo tento fyziologický parametr zobrazit. Ke zpracování dat dechové impedance, která byla naměřena systémem FlexiGuard, jsem použila Savitzky-Golayeho vyhlazovací filtr vhodný k filtrování fyziologických parametrů a následně se snažila detekovat peaky dechové frekvence, ale program peaky detekoval mnohdy náhodně a ani po četných úpravách parametrů filtru jsem nedosáhla požadovaných výsledků (viz obrázek 3.9). Kromě výše zmíněných parametrů byla naměřena data tělesné teploty, ale po zobrazení dat jsem zjistila, že snímací senzor pro teplotu se více než 50 minut ustaloval, proto data nebyla zohledněna v hodnocení fyziologických parametrů a byla pouze zahrnuta do výsledků jako ukázka naměřených hodnot.

Z naměřených hodnot srdečního tepu vynesných v grafech 12.1, 12.5, 12.12, celkový záznam 4.1 a pětiminutový výřez 4.2 lze vidět, že srdeční tep všech probandů se nijak výrazně neměnil v průběhu celého experimentu (kromě pauz, které jsou v grafech graficky vyznačeny). Lze usuzovat, že to je způsobeno tím, že probandi jsou profesionální vojáci a jsou trénovaní, protože jejich fyzická, ale i psychická odolnost je jednou z podmínek pro přijetí do Armády České republiky. Podobně lze zhodnotit i naměřené hodnoty pohybové aktivity (viz obrázky 4.6, 12.3, 12.7, 12.14 a ukázkový celkový

záznam 4.5), kdy nedocházelo u probandů k výraznějším pohybům. Taktéž to lze přisuzovat jejich výcviku. U naměřených hodnot relativní vlhkosti těla (viz obrázky 4.8, 12.4, 12.8, 12.15 a celkový záznam 4.7), která se fyziologicky dle [9] pohybuje v rozmezí 35–60 %, lze vidět, že u všech probandů se pohybuje v tomto rozmezí, konkrétně přibližně 37–40 %. U některých probandů dochází k mírnému kolísání, ale to lze přisoudit chybě snímacího senzoru nebo vlivu okolního prostředí. Pouze u probanda č. 2 (žena) byla naměřena vyšší hodnota (stále fyziologická), kolem 47 % (viz obrázek 12.4). Toto zvýšení nemusí být nutně způsobeno vyšším stresem, ale může to být ovlivněno několika faktory, např. menstruačním cyklem, užíváním antikoncepce a dalšími faktory.

Dále byl vyhodnocen parametr HRV (viz obrázky 4.9 a 4.10), ale pouze u dvou probandů, protože u zbylých dvou probandů byla špatně naměřena data srdeční činnosti a nedalo se tomu předejít ani měření opakovat. Z výsledných Poincarého grafů parametru HRV je vidět vyšší parametr SD1 a SD2 u probanda č. 2, což mohlo být způsobeno druhou pauzou probanda během třetí hodiny (pauza ve stejnou chvíli jako jiný proband). Probandi měli také dovoleno mluvit, což mohlo ovlivnit snímání srdeční činnosti, a tedy i následný výpočet. Ostatní tvary Poincarého grafů nejsou výrazně rozdílné a jejich tvar odpovídá normě.

Pro vyhodnocení chybovosti zápisů letadel probandy jsem jednak použila zobrazení do grafů (viz grafy 4.15, 4.16, 4.17 a 4.18) a jednak statistické vyhodnocení pro testování hypotézy (test normality dat na hladině významnosti 1 % nepotvrdil normální rozdělení, viz tabulka 4.1, proto použit neparametrický Mann-Wilkeyův test na hladině významnosti 5 %), zda se liší počty záznamů jednotlivých probandů při HTD a LTD. Z grafů lze vidět, že u probanda č. 2 byla malá chybovost záznamů a celkově byla zaznamenána v průměru asi třetina záznamů reálného počtu (viz obrázek 4.15). U probanda č. 3 lze v grafu vidět malou chybovost záznamů, ale také málo zaznamenaných letadel, proto jeho chybovost byla nízká (viz obrázek 4.16). Proband č. 5 vykazoval malou chybovost a velký počet záznamů (viz obrázek 4.17). V grafu je také vidět, že v některých úsecích je počet záznamů probanda vyšší než počet reálných záznamů ze systému Fliht radar24. Tato chyba může být způsobena tím, že mnou napsaný kód v programu Matlab započítával záznamy z předchozího pětiminutového úseku, což by i odpovídalo údajům v grafu. V grafu probanda č. 6 je vidět velká chybovost záznamů a velké množství zaznamenaných údajů. Nicméně mezi hodnotami celkového počtu záznamů probanda a špatnými záznamy je velmi malý rozdíl (viz obrázek 4.18). Taktéž se u tohoto probanda

projevuje v některých úsecích chyba většího počtu záznamů probanda než reálný počet záznamů ze systému Flightradar24.

Z provedeného statistického vyhodnocení vyplývá, že na hladině významnosti 5 % byla u všech probandů zamítnuta hypotéza  $H_0$ , tj. že počet záznamů při HTD a LTD se neliší (viz tabulka 4.2). Z tohoto testu tedy vyplývá, že hustota leteckého provozu má signifikantní vliv na chybovost a výkonnost při zápisu záznamů letadel probandy.

Ze subjektivních metod byla použita metoda Beckova inventáře úzkosti. Kvůli nedostatečnému vyplnění dotazníků a malému počtu probandů nebylo možné výsledky statisticky vyhodnotit. Z individuálního hodnocení vyplývá, že probandi měli vyšší očekávání náročnosti před experimentem, než jak jeho náročnost hodnotili po ukončení experimentu. Objektivně experiment hodnotili jako velkou zátěž, ale subjektivně jako zvládnutou situaci. V hodnocení probandi projevovali žádnou nebo mírnou úzkost. V potaz je nutné vzít fakt, že pokud experiment je prováděn ve skupině, může mít člověk jinou míru motivace. Probandi také mohli některé informace zatajovat, resp. hodnotit situaci lépe, než jaká reálně byla, aby nebyly později vedením Armády ČR dále přehodnocováni. V budoucnu by bylo vhodné do dotazníků subjektivního hodnocení zahrnout tzv. lži skóre, aby byl tento jev rozpoznán.

Vybrané metody hodnocení dlouhodobé pracovní zátěže mohou být v budoucnu použity k testování většího vzorku probandů a následně použity při optimalizaci směn operátorů řízení leteckého provozu. Vliv hustoty provozu na výkonnost a chybovost záznamů probandy byl prokázán, a tak je možné tento faktor zohlednit právě v optimalizaci směn. Například zkrátit pracovní úseky operátora ŘLP právě při vyšší hustotě leteckého provozu, aby se minimalizovala jeho chybovost a při malé hustotě leteckého provozu naopak možno pracovní úseky prodloužit.



## 6 Závěr

Výstupem této diplomové práce je realizace a vyhodnocení fyziologických dat operátorů systémů protivzdušné obrany. Vyhodnocení bylo zaměřeno na kvantitativní hodnocení chybovosti zápisů operátorů PVO v závislosti na psychickém stresu a mentální únavě. Data byla naměřena na čtyřech probandech, protože se jedná o vysoce specializovanou profesi i v rámci Armády ČR a také časově náročný experiment.

Pro vyhodnocení problému byly navrženy následující metody. Jako objektivní metoda hodnocení srdečního tepu byla zvolena metoda Poincarého grafu s parametrem HRV, která nabízí přesné hodnocení. Tento fyziologický parametr byl zvolen, protože dle odborné literatury je srdeční rytmus nejvíce signifikantním fyziologickým parametrem projevujícím se při reakci na stres a mentální únavu. Z výsledků není patrné, že by se parametr HRV u probandů výrazněji měnil. Tento fakt je přičítán jejich výcviku. Podobně lze i hodnotit naměřená data pohybové aktivity a relativní vlhkosti těla, která se pohybovala u všech probandů v mezích určených odbornou literaturou. Kromě srdečního tepu byla zpracovávána i naměřená dechová impedance, která měla soužit k získání dechové frekvence. Bohužel i přes veškerou snahu a vyladění filtru nebylo možné dechovou frekvenci ze záznamu získat. Možným důvodem je špatně naměřená dechová impedance nebo nevhodně zvolený filtr.

Statistické vyhodnocení chybovosti zápisů letadel bylo provedeno na hladině významnosti 5 % a byl prokázán signifikantní vliv hustoty provozu na výkonnost a chybovost zápisů letadel probandy. Tento zjištěný fakt lze v dalších studiích využít k optimalizaci směn operátorů ŘLP.

Ze subjektivního hodnocení Beckovým inventářem úzkosti nelze vyvodit žádné významné závěry kvůli nedostatku dat. V individuálním hodnocení měli probandi žádné nebo mírné projevy úzkosti. Opět to lze přičítat jejich fyzické a psychické odolnosti a výcviku.

Následné využití závěrů této diplomové práce může být přínosem v dalších fázích projektu optimalizace směn operátů ŘLP Armády ČR.

## Seznam použité literatury

- [1] Severoatlantická aliance. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Severoatlantick%C3%A1\\_aliance](https://cs.wikipedia.org/wiki/Severoatlantick%C3%A1_aliance)
- [2] THE BUREAU OF EUROPEAN AND CANADIAN AFFAIRS, . Minimum Requirements for NATO Membership. In: *U.S Department of State: Archive* [online]. United states of America, 1997 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: [https://1997-2001.state.gov/regions/eur/fs\\_members.html](https://1997-2001.state.gov/regions/eur/fs_members.html)
- [3] ŠUSTR, Ladislav. Výdaje na obranu se zvyšují. Podíl 2 % HDP však zdaleka neplníme. In: *Echo24.cz* [online]. Praha: ECHO MEDIA a.s., 2018 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://echo24.cz/a/Sf2fC/vydaje-na-obranu-se-zvysuji-podil-2--hdp-vsak-zdaleka-neplnime>
- [4] TSYGANKOV, Andrei. NATO, Russia, and regional security in Europe and Eurasia. Introduction to the issue. *Communist and Post-Communist Studies* [online]. 2018, 51(2), 89-90 [cit. 2019-05-10]. DOI: 10.1016/j.postcomstud.2018.03.002. ISSN 0967067X. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0967067X18300187>
- [5] Velitelství Vzdušných sil AČR. *Armáda České republiky* [online]. Praha, 2019 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <http://www.acr.army.cz/struktura/generalni-stab/velitelstvi-vzdusnych-sil-86864/>
- [6] HÁČIK, Lubomír. *Lidská výkonnost a omezení (040 00): dočasná učebnice : [učební texty dle předpisu JAR-FCL 1]*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1. ISBN 80-720-4471-0.
- [7] BROOKINGS, Jeffrey, Glenn WILSON a Carlyne SWAIN. Psychophysiological responses to changes in workload during simulated air traffic control. *Biological Psychology* [online]. 1996, 42(3), 361-377 [cit. 2019-05-16]. DOI: 10.1016/0301-0511(95)05167-8. ISSN 03010511. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0301051195051678>

- [8] PEREIRA, Tânia, Pedro ALMEIDA, João CUNHA a Ana AGUIAR. Heart rate variability metrics for fine-grained stress level assessment. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* [online]. 2017, **148**, 71-80 [cit. 2019-05-16]. DOI: 10.1016/j.cmpb.2017.06.018. ISSN 01692607. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169260716308021>
- [9] DELL', Roza a Zoja ČUBAROVA. *Hygiena odívání*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1984.
- [10] KITTNAR, Otomar. *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada, 2011. ISBN ISBN978-80-247-3068-4.
- [11] MAĎA, Patrik a Josef FONTANA. 8. Stres: Obecný adaptační syndrom. *Funkce buněk a lidského těla: Multimediální skripta* [online]. Praha, b.r. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <http://fb.lt.cz/skripta/xi-regulacni-mechanismy-1-endokrinni-regulace/9-stres/>
- [12] JAVORKA, Michal, Zuzana TRUNKVALTEROVA, Ingrid TONHAJZEROVA, Zuzana LAZAROVA, Jana JAVORKOVA a Kamil JAVORKA. Recurrences in heart rate dynamics are changed in patients with diabetes mellitus. *Clinical Physiology and Functional Imaging* [online]. 2008, **28**(5), 326-331 [cit. 2018-11-03]. DOI: 10.1111/j.1475-097X.2008.00813.x. ISSN 14750961. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1475-097X.2008.00813.x>
- [13] NASCHITZ, J, R ITZHAK, N SHAVIV et al. Assessment of cardiovascular reactivity by fractal and recurrence quantification analysis of heart rate and pulse transit time. *Journal of Human Hypertension* [online]. 2003, **17**(2), 111-118 [cit. 2018-11-03]. DOI: 10.1038/sj.jhh.1001517. ISSN 0950-9240. Dostupné z: <http://www.nature.com/articles/1001517>
- [14] SHARMA, Vijay. Deterministic Chaos and Fractal Complexity in the Dynamics of Cardiovascular Behavior: Perspectives on a New Frontier. *The Open Cardiovascular Medicine Journal* [online]. 2009, **3**(1), 110-123 [cit. 2018-11-03]. DOI: 10.2174/1874192400903010110. ISSN 18741924. Dostupné z: <http://benthamopen.com/ABSTRACT/TOCMJ-3-110>
- [15] MOHEBBI, Maryam a Hassan GHASSEMIAN. Prediction of paroxysmal atrial fibrillation using recurrence plot-based features of the RR-interval signal. *Physiological Measurement* [online]. 2011, **32**(8), 1147-1162 [cit. 2018-11-03]. DOI: 10.1088/0967-3334/32/8/010. ISSN 0967-3334. Dostupné z: <http://stacks.iop.org/0967-3334/32/i=8/a=010?key=crossref.1e859c7a7d6c464e10f9b969aee8d907>

- [16] NEDĚLKA, Tomáš, Jan SCHLENKER, L. RIEDLBAUCHOVÁ a R. MAZANEC. Rekurentní analýza variability srdeční frekvence v časné diagnostice diabetické autonomní neuropatie. *Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie* [online]. 2012, **75**(6), 721-728 [cit. 2018-11-03]. ISSN 1802-4041. Dostupné z: <http://www.csnn.eu/pdf?id=38956>
- [17] HIRATA, Yoshito, Shunsuke HORAI a Kazuyuki AIHARA. Reproduction of distance matrices and original time series from recurrence plots and their applications. *The European Physical Journal Special Topics* [online]. 2008, **164**(1), 13-22 [cit. 2018-11-03]. DOI: 10.1140/epjst/e2008-00830-8. ISSN 1951-6355. Dostupné z: <http://www.springerlink.com/index/10.1140/epjst/e2008-00830-8>
- [18] DABIRÉ, Hubert, Denis MESTIVIER, Jacqueline JARNET, Michel SAFAR a Nguyen CHAU. Quantification of sympathetic and parasympathetic tones by nonlinear indexes in normotensive rats. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* [online]. 1998, **275**(4), 1290-1297 [cit. 2018-11-03]. DOI: 10.1152/ajpheart.1998.275.4.H1290. ISSN 0363-6135. Dostupné z: <http://www.physiology.org/doi/10.1152/ajpheart.1998.275.4.H1290>
- [19] MESTIVIER, Denis, Hubert DABIRÉ a Nguyen CHAU. Effects of autonomic blockers on linear and nonlinear indexes of blood pressure and heart rate in SHR. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* [online]. 2001, **281**(3), 1113-1121 [cit. 2018-11-03]. DOI: 10.1152/ajpheart.2001.281.3.H1113. ISSN 0363-6135. Dostupné z: <http://www.physiology.org/doi/10.1152/ajpheart.2001.281.3.H1113>
- [20] HOYER, D., K. SCHMIDT, U. ZWIENER a R. BAUER. Characterization of complex heart rate dynamics and their pharmacological disorders by non-linear prediction and special data transformations. *Cardiovascular Research* [online]. 1996, **1996**(31), 434-440 [cit. 2018-11-03]. Dostupné z: <https://watermark.silverchair.com/>
- [21] HAGERMAN, I. Chaos-related deterministic regulation of heart rate variability in time- and frequency domains: effects of autonomic blockade and exercise. *Cardiovascular Research* [online]. 1996, **31**(3), 410-418 [cit. 2018-11-03]. DOI: 10.1016/0008-6363(95)00084-4. ISSN 00086363. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0008636395000844>

- [22] NAYAK, Suraj, Arindam BIT, Anilesh DEY, Biswajit MOHAPATRA a Kunal PAL. A Review on the Nonlinear Dynamical System Analysis of Electrocardiogram Signal. *Journal of Healthcare Engineering* [online]. 2018, **2018**, 1-19 [cit. 2018-11-03]. DOI: 10.1155/2018/6920420. ISSN 2040-2295. Dostupné z: <https://www.hindawi.com/journals/jhe/2018/6920420/>
- [23] ZBILUT, Joseph, Nitza THOMASSON a Charles WEBBER. *Recurrence quantification analysis as a tool for nonlinear exploration of nonstationary cardiac signals* [online]. 2002, **24**(1), 53-60 [cit. 2018-11-05]. DOI: 10.1016/S1350-4533(01)00112-6. ISSN 13504533. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1350453301001126>
- [24] MARWAN, Norbert, Niels WESSEL, Udo MEYERFELDT, Alexander SCHIRDEWAN a Jürgen KURTHS. Recurrence-plot-based measures of complexity and their application to heart-rate-variability data. *Physical Review E* [online]. 2002, **66**(2) [cit. 2018-11-05]. DOI: 10.1103/PhysRevE.66.026702. ISSN 1063-651X. Dostupné z: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.66.026702>
- [25] TRULLA, L.L., A. GIULIANI, J.P. ZBILUT a C.L. WEBBER. Recurrence quantification analysis of the logistic equation with transients. *Physics Letters A* [online]. 1996, **223**(4), 255-260 [cit. 2018-11-05]. DOI: 10.1016/S0375-9601(96)00741-4. ISSN 03759601. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0375960196007414>
- [26] ÜBEYLI, Elif. Adaptive neuro-fuzzy inference system for classification of ECG signals using Lyapunov exponents. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* [online]. 2009, **93**(3), 313-321 [cit. 2018-11-25]. DOI: 10.1016/j.cmpb.2008.10.012. ISSN 01692607. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169260708002599>
- [27] HAYKIN, S. a XIAO BO LI. Detection of signals in chaos. *Proceedings of the IEEE* [online]. 1995, **83**(1), 95-122 [cit. 2018-11-25]. DOI: 10.1109/5.362751. ISSN 00189219. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/362751/>
- [28] OWIS, M.I., A.H. ABOU-ZIED, A.-B.M. YOUSSEF a Y.M. KADAH. Study of features based on nonlinear dynamical modeling in ECG arrhythmia detection and classification. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* [online]. 2002, **49**(7), 733-736 [cit. 2018-11-25]. DOI: 10.1109/TBME.2002.1010858. ISSN 0018-9294. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1010858/>

- [29] VALENZA, Gaetano, Paolo ALLEGRINI, Antonio LANATà a Enzo SCILINGO. Dominant Lyapunov exponent and approximate entropy in heart rate variability during emotional visual elicitation. *Frontiers in Neuroengineering* [online]. 2012, **5** [cit. 2018-11-25]. DOI: 10.3389/fneng.2012.00003. ISSN 1662-6443. Dostupné z: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fneng.2012.00003/abstract>
- [30] AKAY, Metin. *Nonlinear biomedical signal processing* [online]. New York: IEEE Press, 2001 [cit. 2018-11-25]. IEEE Press series in biomedical engineering. ISBN 978-0-780-36012-9. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.119.6605&rep=rep1&type=pdf>
- [31] MUDR. HLÁVKOVÁ, Jana. Kurs 5 - Hodnocení ergonomických rizik, fyziologické a psychologické faktory práce: Kapitola 4 - Hodnocení psychické pracovní zátěže. In: *Krajská hygienická stanice Hradec Králové: E-learningový kurz* [online]. Hradec Králové, b.r. [cit. 2018-11-26]. Dostupné z: [http://www.khshk.cz/e-learning/kurs5/kapitola\\_4\\_hodnocen\\_psychick\\_pracovn\\_zte.html](http://www.khshk.cz/e-learning/kurs5/kapitola_4_hodnocen_psychick_pracovn_zte.html)
- [32] HPZ (Meister): Meisterův dotazník. In: *Fakulta bezpečnostního inženýrství: Výuka* [online]. Ostrava, b.r. [cit. 2018-11-26]. Dostupné z: <https://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/040/.content/systems/resource/PDF/AplikovanaErgonomie/MeisteruvDotaznik.pdf>
- [33] Neurastenický syndrom. In: *Wikiskripta* [online]. Praha, b.r. [cit. 2018-11-26]. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Neurastenick%C3%BD\\_syndrom](https://www.wikiskripta.eu/w/Neurastenick%C3%BD_syndrom)
- [34] NASA-TLX. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2018-10-29]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/NASA-TLX>
- [35] MIRESCU, Ş.-C. a S.W. HARDEN. NONLINEAR DYNAMICS METHODS FOR ASSESSING HEART RATE VARIABILITY IN PATIENTS WITH RECENT MYOCARDIAL INFARCTION. *Romanian Journal of Biophysics* [online]. 2012, **4**(22), 117-124 [cit. 2019-05-15]. ISSN 1843-424X. Dostupné z: <https://www.rjb.ro/nonlinear-dynamics-methods-for-assessing-heart-rate-variability-in-patients-with-recent-myocardial-infarction/>
- [36] DIMITRIEV, D., A. DIMITRIEV, Yu. KARPENKO a E. SAPEROVA. Influence of examination stress and psychoemotional characteristics on the blood pressure and heart rate regulation in female students. *Human Physiology* [online]. 2008, **34**(5), 617-624 [cit. 2019-05-16]. DOI: 10.1134/S0362119708050101. ISSN 0362-1197. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1134/S0362119708050101>

- [37] TAELEMAN, Joachim, S. VANDEPUT, A. SPAEPEN a S. VAN HUFFEL. Influence of Mental Stress on Heart Rate and Heart Rate Variability. *4th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009, , 1366-1369 [cit. 2019-05-16]. IFMBE Proceedings. DOI: 10.1007/978-3-540-89208-3\_324. ISBN 978-3-540-89207-6. Dostupné z: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-89208-3\\_324](http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-89208-3_324)
- [38] EKG (pediatrie). In: *Wikiskripta* [online]. Praha, b.r. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/EKG\\_\(pediatrie\)](https://www.wikiskripta.eu/w/EKG_(pediatrie))
- [39] JULIAN, Laura. *Measures of anxiety: State-Trait Anxiety Inventory (STAI), Beck Anxiety Inventory (BAI), and Hospital Anxiety and Depression Scale-Anxiety (HADS-A)* [online]. 2011, **63**(11), 467-472 [cit. 2019-05-15]. DOI: 10.1002/acr.20561. ISSN 2151464X. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/acr.20561>
- [40] Beck Anxiety Inventory. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Beck\\_Anxiety\\_Inventory](https://en.wikipedia.org/wiki/Beck_Anxiety_Inventory)
- [41] Flightradar24: How it works. *Flightradar24* [online]. 2019 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.flightradar24.com/how-it-works>
- [42] VOLF, Petr, Pavel SMRČKA, Michaela KLIKOVÁ et al. *Heart rate variability during long-term air traffic control in cadets*. Kladno, 2018.
- [43] SCHLENKER, Jakub, Vladimír SOCHA, Pavel SMRČKA et al. FlexiGuard: Modular biotelemetry system for military applications. *International Conference on Military Technologies (ICMT) 2015* [online]. IEEE, 2015, , 1-6 [cit. 2019-05-11]. DOI: 10.1109/MILTECHS.2015.7153712. ISBN 978-8-0723-1977-0. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7153712/>
- [44] BECK, Aaron, Norman EPSTEIN, Gary BROWN a Robert STEER. An inventory for measuring clinical anxiety: Psychometric properties. *Journal of Consulting and Clinical Psychology* [online]. 1988, **56**(6), 893-897 [cit. 2019-05-11]. DOI: 10.1037/0022-006X.56.6.893. ISSN 1939-2117. Dostupné z: <http://doi.apa.org/getdoi.cfm?doi=10.1037/0022-006X.56.6.893>
- [45] Sgolayfilt: Savitzky-Golay filtering. In: *MathWorks* [online]. United States, 2019 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: [https://www.mathworks.com/help/signal/ref/sgolayfilt.html?fbclid=IwAR3qWLCwrj8y-V\\_zpONqhzgoYpv2f1T-LNGlgC0NNDYQ972kDlyQiP8M6nU](https://www.mathworks.com/help/signal/ref/sgolayfilt.html?fbclid=IwAR3qWLCwrj8y-V_zpONqhzgoYpv2f1T-LNGlgC0NNDYQ972kDlyQiP8M6nU)

- [46] SCHAFER, Ronald a A. CETIN. What Is a Savitzky-Golay Filter? [Lecture Notes]. *IEEE Signal Processing Magazine* [online]. 2011, **28**(4), 111-117 [cit. 2019-05-14]. DOI: 10.1109/MSP.2011.941097. ISSN 1053-5888. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5888646/>
- [47] BOŘIL, Tomáš. Testování rozdělení: Testování normality. *Filozofická fakulta UK* [online]. Praha, 2015 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: [https://fu.ff.cuni.cz/STAT/14\\_testy\\_rozdeleni.html](https://fu.ff.cuni.cz/STAT/14_testy_rozdeleni.html)
- [48] Neparametrické testování: Mann-Whitneyův pořadový test. *Veterinární a farmaceutická univerzita Brno: CIT* [online]. Brno, b.r. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn4/MannWhit.htm>
- [49] MAŠATOVÁ, Irena. *Resilience pracovníků v hospici* [online]. Praha, 2012 [cit. 2018-11-27]. Dostupné z: [https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/42997/BPTX\\_2011\\_1\\_\\_0\\_273718\\_0\\_119784.pdf?sequence=1](https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/42997/BPTX_2011_1__0_273718_0_119784.pdf?sequence=1). Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze, Husitská teologická fakulta. Vedoucí práce MUDr. Jirina Ondrušová.



# Příloha A: Informovaný souhlas

## INFORMOVANÝ SOUHLAS

### Hodnocení fyziologických dat obsluhy systémů PVO

Měření probíhá za účelem výzkumu “Hodnocení fyziologických dat obsluhy systémů PVO“.

Cílem tohoto výzkumu je vývoj systému a metod pro měření a kvantitativního hodnocení fyziologických data obsluh systémů protivzdušné obrany, jakými jsou piloti, řídicí letového provozu a technici pozemního zabezpečení. V rámci výzkumu probíhá měření zdravých subjektů a stanovení norem a pilotních výsledků měřených fyziologických dat (tělesná teplota, tepová frekvence, pohybová aktivita, intenzita pocení) s předpokladem vědecké prezentace. Účast osob ve výzkumu je dobrovolná a nehonorovaná. Měření probíhá neinvazivně, bez medikace, jakéhokoliv vlivu na subjekt a bez jakýchkoliv důsledků na zdraví subjektu. Výzkum probíhá bez jakékoliv odpovědnosti měřených osob. Výzkumu se účastní do 50 zdravých osob.

V rámci měření subjekt vykonává standardní výcvik na výcvikovém simulátoru – trenažeru systému PVO pod dozerem lektora. Komerční systém FlexiGuard pro monitorování fyziologických dat je připevněn na hrudníku měřeného subjektu elastickým snímatelným pásem se suchým zipem. Systém FlexiGuard ani metodika měření nemá žádný vliv na subjekt po ukončení měření. Subjekt může na svou žádost přerušit měření a ukončit měření své osoby bez jakýchkoliv pozdějších důsledků.

Pro účely práce jsou zjišťovány pouze údaje: věk, výška těla a tělesná hmotnost, jiné osobní údaje nejsou zjišťovány. Naměřená data budou ihned po jejich pořízení anonymizována. Anonymizované záznamy budou uchovány jako důvěrné, v míře zaručené právními předpisy, a veřejně zpřístupněny. Všechny veřejně přístupné výstupy z výzkumu a jeho analýzy budou citovány anonymně a bude s nimi nakládáno bez vazby na Vaši osobu.

Souhlasím účastí na měření pro účely výše popsaného výzkumného projektu.

V .....

Dne .....

Podpis účastníka:

Pracoviště výzkumníka: FBMI ČVUT v Praze

Podpis výzkumníka: doc. Ing. Patrik Kutílek, Ph.D.

Bc. Barbora Adamová

Bc. Michaela Hourová

Bc. Veronika Kotolová

Bc. Pavel Král

# Příloha B: Schválení Etickou komisí



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta biomedicínského inženýrství

nám. Sítná 3105, 272 01 Kladrno

## Žádost o projednání výzkumného projektu v etické komisi FBMI ČVUT

*Application for approval of a research project by FBMI CTU Institutional Ethical Review Board*

Název projektu: Hodnocení fyziologických dat obsluhy systémů PVO

Name of the project: Evaluation of physiological data of AD system operators

Hlavní řešitel projektu (Jméno, pracoviště, e-mail):

doc. Ing. Patrik Kutilek, Ph.D.,

Katedra přírodovědných oborů, FBMI ČVUT

kutilek@fbmi.cvut.cz

**Stručný popis projektu (do 100 slov):** V rámci spolupráce FBMI ČVUT a Katedry systémů PVO a Katedry letectva a letecké techniky FV UO v Brně probíhá výzkum, vývoj a testování systému a metod pro hodnocení fyziologických dat operátorů systémů PVO, přičemž jsou metody optimalizovány na základě měření zdravotních subjektů-dobrovolníků na simulátorech-trenažérech systémů PVO, v souladu s požadavky a ve spolupráci s UO v Brně a NUDZ. V rámci výzkumu probíhá na FBMI ČVUT v Praze a UO v Brně, prostřednictvím měření zdravotních subjektů, také stanovení norm a pilotních výsledků měřených fyziologických dat s požadavkem jejich vědeckého publikování. V rámci výzkumu se na projektu participuje celkem do 50 měřených studentů FBMI ČVUT a UO v Brně. Měřené subjekty nejsou před, po a ani během měření nikterak zatíženy, pouze vykonávají požadovanou aktivitu v souladu s vývojem na systému-trenažeru PVO. Metodika měření nemá žádný vliv na subjekt po realizaci měření.

**Charakter projektu:**

Grantová úloha (název agentury): Financováno interním projektem UO v Brně

Výzkum výzkumného týmu (specifikace): Výzkum a vývoj systémů a metod měření a hodnocení

fyziologických dat obsluhy systémů PVO

Kvalifikační práce (specifikace): bakalářské práce, magisterské práce, doktorské práce

Jiné:

**Seznam příkládaných dokumentů:**

- informovaný souhlas vč. informace pro subjekt hodnocení
- plán experimentu

V Kladrno dne 14.10.17

podpis hlavního řešitele

## Vyjádření souhlasu etické komise FBMI ČVUT

*FBMI CTU Institutional Ethical Review Board approval*

Projekt byl schválen etickou komisí FBMI ČVUT dne: 23.10.2017  
pod číslem: A 003/017

platný do: 1.11.2019

Etická komise FBMI ČVUT v Praze, ve složení Mgr. Martina Dingová Štípková (předsedkyně), RNDr. Táňa Jarušková, CSc., MUDr. Radek Matlach, prof. Ing. Karel Roubík, Ph.D., a Ing. Lucie Sedláčková, zhodnotila předložený projekt a rozhodla žádné rozpor s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směrnici pro provádění biomedicínského výzkumu zahrnujícího lidské účastníky nebo laboratorní zvířata.

Řešitel projektu splnil podmínky nutné k získání souhlasu etické komise.

V Kladrno dne 23.10.2017

ETICKÁ KOMISE  
České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta biomedicínského inženýrství  
nám. Sítná 3105  
272 01 Kladrno

Mgr. Martina Štípková  
podpis předsedy

ČVUT v Praze  
Fakulta biomedicínského inženýrství  
nám. Sítná 3105  
272 01 Kladrno

tel.: (1420) 224 338 419  
fax: (1420) 312 608 204  
www.fbmi.cvut.cz

IČ: 68467903  
DIČ: CZ68467903  
Bankovní spojení: KTS Praha 6  
č.ú. 27-73803102870000

# Příloha C: Dotazníky pro subjektivní hodnocení pracovní zátěže

## HODNOCENÍ PRACOVNÍ ZÁTĚŽE - MEISTERŮV DOTAZNÍK

|                   |                 |
|-------------------|-----------------|
| Jméno a příjmení: | Datum narození: |
| Profese:          | Datum vyplnění: |

Vaším úkolem je u každé otázky označit odpověď, která nejvíce vystihuje Vaše pocity při práci.

|          |                                   |
|----------|-----------------------------------|
| <b>1</b> | <b>Ano, plně souhlasí</b>         |
| <b>2</b> | <b>Spíše ano</b>                  |
| <b>3</b> | <b>Nevím, někdy ano, někdy ne</b> |
| <b>4</b> | <b>Spíše souhlasí</b>             |
| <b>5</b> | <b>Ne, vůbec nesouhlasí</b>       |

|            |  |   |   |   |   |   |
|------------|--|---|---|---|---|---|
| <b>1.</b>  | Při práci se často dostávám do časové tísně.   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <b>2.</b>  | Práce mě neuspokojuje, chodím do ní nerad/a.   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <b>3.</b>  | Práce mě velmi psychicky zatěžuje pro vysokou zodpovědnost, spojenou se závažnými důsledky.        | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <b>4.</b>  | Práce je málo zajímavá, duševně je spíše otupující.  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <b>5.</b>  | V práci mám časté konflikty a problémy, od nichž se nemohu odpoutat ani po skončení pracovní doby. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <b>6.</b>  | Při práci udržuji jen s námahou pozornost, protože se po dlouhou dobu nic nového neděje.           | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <b>7.</b>  | Práce je psychicky tak náročná, že po několika hodinách cítím nervozitu a rozechvělost.            | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <b>8.</b>  | Po několika hodinách mám práce natolik dost, že bych chtěl/a dělat něco jiného.                    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <b>9.</b>  | Práce je psychicky tak náročná, že po několika hodinách cítím únavu a ochablost.                   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <b>10.</b> | Práce je psychicky tak náročná, že ji nelze dělat po léta se stejnou výkonností.                   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

## DOTAZNÍK N-5

|                   |                 |
|-------------------|-----------------|
| Jméno a příjmení: | Datum narození: |
| Profese:          | Datum vyplnění: |

Vaším úkolem je označit podle stupnice, do jaké míry Vás v posledních dnech obtěžovaly následující potíže.

| Potíže |                                 | Stupeň |           |           |                 |
|--------|---------------------------------|--------|-----------|-----------|-----------------|
|        |                                 | 0 (Ne) | 1 (Mírně) | 2 (Silně) | 3 (Velmi silně) |
| 1.     | Poruchy spánku                  | 1      | 2         | 3         | 4               |
| 2.     | Ospalost ve dne                 | 1      | 2         | 3         | 4               |
| 3.     | Únava a vyčerpanost             | 1      | 2         | 3         | 4               |
| 4.     | Špatná výkonnost                | 1      | 2         | 3         | 4               |
| 5.     | Bolesti hlavy                   | 1      | 2         | 3         | 4               |
| 6.     | Potivost                        | 1      | 2         | 3         | 4               |
| 7.     | Závratě                         | 1      | 2         | 3         | 4               |
| 8.     | Pocity na omdlení               | 1      | 2         | 3         | 4               |
| 9.     | Pocity na zvracení, zvracení    | 1      | 2         | 3         | 4               |
| 10.    | Pocity horka nebo chladu        | 1      | 2         | 3         | 4               |
| 11.    | Třesavka, vnitřní chvění        | 1      | 2         | 3         | 4               |
| 12.    | Roztěkanost a nesoustředěnost   | 1      | 2         | 3         | 4               |
| 13.    | Podrážděnost a vznětlivost      | 1      | 2         | 3         | 4               |
| 14.    | Špatná paměť                    | 1      | 2         | 3         | 4               |
| 15.    | Mravenčení a stěhovavé bolesti  | 1      | 2         | 3         | 4               |
| 16.    | Bušení srdce, bolesti u srdce   | 1      | 2         | 3         | 4               |
| 17.    | Dechové obtíže                  | 1      | 2         | 3         | 4               |
| 18.    | Nechutenství                    | 1      | 2         | 3         | 4               |
| 19.    | Průjem nebo zácpa               | 1      | 2         | 3         | 4               |
| 20.    | Červenání nebo blednutí         | 1      | 2         | 3         | 4               |
| 21.    | Pesimismus                      | 1      | 2         | 3         | 4               |
| 22.    | Lítostivost nebo přecitlivělost | 1      | 2         | 3         | 4               |

**pokračování Dotazníku N-5**

|            |  |   |   |   |   |
|------------|--|---|---|---|---|
| <b>23.</b> | Smutná nebo špatná nálada                              | 1 | 2 | 3 | 4 |
| <b>24.</b> | Do ničeho se mi nechce                                 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| <b>25.</b> | Neurčitá úzkost nebo pocity napětí                     | 1 | 2 | 3 | 4 |
| <b>26.</b> | Strach o zdraví nebo o svůj život                      | 1 | 2 | 3 | 4 |
| <b>27.</b> | Neodůvodněný strach vázaný na určitou situaci          | 1 | 2 | 3 | 4 |
| <b>28.</b> | Nepřiměřený strach z budoucnosti                       | 1 | 2 | 3 | 4 |
| <b>29.</b> | Pochyby o sobě samém                                   | 1 | 2 | 3 | 4 |
| <b>30.</b> | Pocity nejistoty před lidmi                            | 1 | 2 | 3 | 4 |
| <b>31.</b> | Nepříjemné pocity „fyzické nepřítomnosti, jako ve snu“ | 1 | 2 | 3 | 4 |
| <b>32.</b> | Vtíravé myšlenky nebo nutkání k jednání                | 1 | 2 | 3 | 4 |
| <b>33.</b> | Nepříjemný pocit omámenosti                            | 1 | 2 | 3 | 4 |

## DOTAZNÍK SUBJEKTIVNÍ PŘÍZNAKY ÚNAVY (SPÚ)

|                   |                 |                  |
|-------------------|-----------------|------------------|
| Jméno a příjmení: | Datum narození: |                  |
| Profese:          | Směna (od-do):  | Hodina vyplnění: |

Označte křížkem sílu příznaků únavy podle stupně.

| Příznak únavy |   | Stupeň             |                    |                    |
|---------------|---|--------------------|--------------------|--------------------|
|               |   | 0<br>(Žádný pocit) | 1<br>(Mírný pocit) | 2<br>(Silný pocit) |
| 1.            | Mám pocit těžké hlavy                           | 0                  | 1                  | 2                  |
| 2.            | Cítím únavu v celém těle                        | 0                  | 1                  | 2                  |
| 3.            | Mám pocit těžkých nohou                         | 0                  | 1                  | 2                  |
| 4.            | Chce se mi zívát                                | 0                  | 1                  | 2                  |
| 5.            | Mám pocit otupělosti                            | 0                  | 1                  | 2                  |
| 6.            | Cítím ospalost                                  | 0                  | 1                  | 2                  |
| 7.            | Bolí mě oči                                     | 0                  | 1                  | 2                  |
| 8.            | Mé pohyby se mi zdají ztuhlejší a neohrabanější | 0                  | 1                  | 2                  |
| 9.            | Když si stoupnu, mám pocit, že se trochu motám  | 0                  | 1                  | 2                  |
| 10.           | Nejraději bych se trochu natáhl/a na pohovku    | 0                  | 1                  | 2                  |
| 11.           | Nemohu soustředit své myšlenky                  | 0                  | 1                  | 2                  |
| 12.           | Není mi do řeči                                 | 0                  | 1                  | 2                  |
| 13.           | Mám pocit nervozity                             | 0                  | 1                  | 2                  |
| 14.           | Obtížně soustřeďuji pozornost                   | 0                  | 1                  | 2                  |
| 15.           | Nic mě nebaví                                   | 0                  | 1                  | 2                  |
| 16.           | Jsem náchylnější k zapomínání                   | 0                  | 1                  | 2                  |
| 17.           | Dělám více chyb                                 | 0                  | 1                  | 2                  |
| 18.           | Cítím neklid a ustaranost                       | 0                  | 1                  | 2                  |
| 19.           | Ztrácím sebejistotu a sebedůvěru                | 0                  | 1                  | 2                  |
| 20.           | Ztrácím trpělivost                              | 0                  | 1                  | 2                  |
| 21.           | Bolí mě hlava                                   | 0                  | 1                  | 2                  |
| 22.           | Mám pocit tíhy (ztuhlosti v ramenou)            | 0                  | 1                  | 2                  |
| 23.           | Bolí mě v kříži                                 | 0                  | 1                  | 2                  |
| 24.           | Těžko se mi dýchá                               | 0                  | 1                  | 2                  |
| 25.           | Mám pocit sucha v ústech                        | 0                  | 1                  | 2                  |
| 26.           | Mám pocit ochraptělosti                         | 0                  | 1                  | 2                  |
| 27.           | Trochu se mi točí hlava                         | 0                  | 1                  | 2                  |
| 28.           | Škube mi v očním víčku                          | 0                  | 1                  | 2                  |

**pokračování Dotazníku subjektivních příznaků únavy**

|            |  |   |   |   |
|------------|--|---|---|---|
| <b>29.</b> | Cítím třes v rukou či<br>nohou, celkovou<br>rozechvělost | 0 | 1 | 2 |
| <b>30.</b> | Necítím se dobře   | 0 | 1 | 2 |
| <b>31.</b> | Píchá mě v boku  | 0 | 1 | 2 |
| <b>32.</b> | Zdá se mi, že více kýčám                                 | 0 | 1 | 2 |

### DOTAZNÍK PVS [49]

1. Často se ráno probouzím a pln nedočkavosti se těším, že budu moci v práci pokračovat tam, kde jsem včera došel/a.
2. Mám rád/a rozmanitost a změnu v práci.
3. Moji nadřízení jsou dost často ochotni naslouchat tomu, co jim chci říct.
4. Plánování dává možnost vyhnout se většině problémů, které by se v budoucnu mohly objevit.
5. Mám obvykle pocit, že tím, co dnes dělám, mohu změnit to, co by se jinak zítra mohlo stát.
6. Mám nepříjemný pocit, mám-li udělat nějaké změny v mém denním řádu.
7. Ať se snažím, jak se snažím, domnívám se, že tím stejně ničeho nedosáhnu.
8. Těžko si dokážu představit, že někdo může být vzrušen a nadšen tím, co dělá.
9. Ať děláte, co děláte, vždy se ukáže, že jen vyzkoušené a zkušeností prověřené způsoby, jak dělat to či ono, jsou vždy těmi nejlepšími.
10. Došel/a jsem k poznání, že je téměř zcela nemožné změnit to, co si o něčem myslí moje manželka (manžel, přítel, přítelkyně).
11. Většina lidí nedělá nic jiného nežli to, co je jim nařizováno.
12. Nová nařízení, opatření, zákony atp. by se neměly dělat, kdyby se tím měl snížit něčí výdělek.
13. Když se člověk ožení či vdá, ztratí tím veškerou svobodu volby.
14. Nezdá se, že by se člověku někdy podařilo dosáhnout cílů, které si vytkl, ať se snaží, jak chce.
15. Věřit se dá jen tomu člověku, který téměř nikdy nezmění své názory – jen ten má spolehlivý úsudek.
16. Domnívám se, že to, co se ve světě děje, se tak prostě musí dít, že je to předurčeno.
17. Nezáleží na tom, jak moc se snažíte co nejlépe dělat svou práci, o tom, co vy z toho budete mít, rozhodují jiné okolnosti.
18. Nemá rád/a rozhovory, v nichž se účastníci nevyjadřují zcela přesně a jednoznačně.
19. Většinou se nevyplácí o něco se moc snažit, neboť vždy to končí jinak, nežli bychom si přáli.
20. Jestli mne opravdu něco vzrušuje, pak jen to, co se odehrává v mé fantazii.
21. Nechci odpovídat někomu na otázku, dokud mi není zcela jasné, na co se mne ptá.
22. Když si něco naplánuji, pak jsem si jist/a, že se to splní.
23. Já se opravdu těším na svoji práci.
24. Když mne někdo požádá, abych dělal/a něco jiného nežli to, co právě dělám, pak mne to moc nevyvede z míry.
25. Když dělám něco, co je pro mne značně obtížné, pak vím, kdy mám někoho požádat o pomoc.
26. Vzrušuje mne, když se o sobě něco nového dozvím.
27. Rád jsem s lidmi, kteří občas udělají něco neočekávaného.
28. Zjistěte, je obvykle nesmírně obtížné změnit mínění mého přítele (mé přítelkyně).
29. Když myslíte sami na sebe jako na člověka, který má svobodnou vůli, pak jste z toho smutní, frustrovaní (neuspokojení) a nešťastní.
30. Zlobí mne, když něco neočekávaného naruší můj zaběhaný denní řád (režim dne).
31. Když se dopustím nějaké chyby, pak mohu udělat jen velmi málo, abych vše napravil/a.



### **pokračování Dotazníku PVS**

- 
32. Veškerá má snaha stejně nic nezmění, a proto se nedomnívám, že bych se měl/a příliš moc snažit dělat co nejlépe to, co dělám.
- 
33. Respektuji „pravidla hry“, předpisy, řády, nařízení, protože jsou mi vodítkem při mém rozhodování.
- 
34. Jeden z nejlepších způsobů, jak řešit většinu problémů je jednoduchý: prostě na ně nemyslet.
- 
35. Domnívám se, že většina sportovců se jimi prostě již narodila – jako tělesně zdatní jedinci.
- 
36. Nemám rád/a, když je něco nejisté a nepředvídatelné.
- 
37. Lidem, kteří pracují podle svého nejlepšího vědomí a svědomí, by se mělo dostat co největší finanční podpory od společnosti.
- 
38. Značná část mého života je promarněna z toho důvodu, že dělám věci, které nemají žádný smysl.
- 
39. Často ani sám/sama dost dobře nevím, co si o tom či onom (člověk, situace atp.) myslím.
- 
40. Nezajímají mne teorie, které nemají bezprostřední vztah k faktům.
- 
41. Běžná práce se mi zdá příliš nudná, než aby stálo za to, dělat ji.
- 
42. Když se na mne někdo zlobí, pak k tomu obvykle nemá žádný vážný důvod.
- 
43. Změny v zaběhnutém způsobu života a práce mne dráždí, obtěžují nebo trápí.
- 
44. Je mi zatěžko věřit lidem, kteří říkají, že práce, kterou oni dělají, má nějakou společenskou hodnotu.
- 
45. Mám pocit, že když se někdo snaží napadnout mne a uškodit mi, pak obvykle nemohu moc toho udělat, abych tomu zabránil/a.
- 
46. Život pro mne většinou není příliš velkým vzrušením.
- 
47. Myslím si, že lidé říkají, že věří v individualitu (svéráznost, osobitost, vyhraněnost) jen proto, aby tím udělali dojem na druhé lidi.
- 
48. Když jsem v zaměstnání pokárán/a, zdá se mi, že to je vždy nespravedlivé.
- 
49. Chci mít jistotu, že se o mne někdo bude starat, až zestárnu.
- 
50. Nejsme to my sami, ale jiné síly, co řídí naše životy.
-

## BORTNERŮV DOTAZNÍK

|                   |                 |
|-------------------|-----------------|
| Jméno a příjmení: | Datum narození: |
| Profese:          | Datum vyplnění: |

V následujícím dotazníku je uvedena řada možností, jak se člověk cítí a jedná za různých okolností. Každý z nás patří někam mezi obě krajní možnosti napsané vždy vedle sebe v tabulce a spojené stupnicí. Většina lidí například ani není úplně dochvilných, ani nechodí vždy pozdě na schůzky. Patří tedy na stupnici blíže k jednomu nebo druhému konci.

**Udělejte svislou čárku na stupnici každé otázky, a to tím blíže k jednomu nebo druhému konci, čím Vás příslušná možnost lépe vystihuje.**

*Příklad:*

*Zásadně nikdy se neopozdíte*



*Dost se snažíte neopozdit se*



*O přesné dodržení doby se příliš nestaráte*



|            |   |       |  |
|------------|---|-------|--|
| <b>1.</b>  | Nikdy se neopozdíte.  | _____ | Neděláte si starosti s dochvilností.                                   |
| <b>2.</b>  | Vyhýbáte se soutěži s jinými.   | _____ | Máte soutěživého ducha.  |
| <b>3.</b>  | Urychlujete rozhovor (např. dokončujete za druhého větu) a odpovídáte, jakmile uhodnete smysl otázky. | _____ | Jste trpělivým posluchačem, necháte vždy druhého domluvit až do konce. |
| <b>4.</b>  | Žijete stále ve spěchu.   | _____ | Nenecháte se honit, zásadně se vyhýbáte spěchu.                        |
| <b>5.</b>  | Dovedete trpělivě čekat.  | _____ | Při čekání jste velmi netrpělivý/á.                                    |
| <b>6.</b>  | Do každé své činnosti vkládáte velké úsilí.   | _____ | Berete vše lehce.  |
| <b>7.</b>  | Snažíte se dělat více věcí najednou.  | _____ | Děláte zásadně jen jednu věc.  |
| <b>8.</b>  | Děláte vše rychle (např. jíte nebo chodíte).  | _____ | Jste spíše pomalý/á (při jídle, při chůzi).                            |
| <b>9.</b>  | Své pocity spíše skrýváte.  | _____ | Své pocity dáváte volně najevo.  |
| <b>10.</b> | Máte mnoho různých zálib a zájmů.   | _____ | Máte jen málo zájmů mimo práci.  |
| <b>11.</b> | Rád/a se ujmete vedení a prosazujete svůj názor.  | _____ | Podrobujete se ochotně vedení jiných.                                  |

**pokračování Bortnerova dotazníku**

|     |  |       |  |
|-----|--|-------|--|
| 12. | Ve společnosti, zvláště mezi cizími lidmi, se cítíte nesvůj/á, nejistý/á.                                  | _____ | Cítíte se dobře skoro v každé společnosti.   |
| 13. | Snadno se rozčílíte.   | _____ | Nic Vás nevyvede z míry.   |
| 14. | Při odpočinku se dovedete plně uvolnit a věnovat se svým zálibám.  | _____ | Nedovedete se dobře odpoutat od svých starostí a od myšlenek na úkoly, které Vás čekají. |
| 15. | Lidé jsou podle Vašich zkušeností většinou sobečtí a špatní. Je nutno mít se stále na pozoru.              | _____ | Lidé jsou v podstatě dobří a po dobrém lze s každým vyjít.                               |
| 16. | Při zklamání nebo neúspěchu jste velmi podrážděný/á a máte zlost na lidi kolem sebe.                       | _____ | Zklamání a neúspěch snášíte bez zlosti.  |
| 17. | Při rozčilení se rychle uklidníte.   | _____ | Po rozčilení se dlouho nemůžete uklidnit.  |
| 18. | Snášíte těžko, když Vám někdo něco vytkne nebo Vás kritizuje.  | _____ | Z kritiky si neděláte těžkou hlavu.  |
| 19. | Svou činnost si rozvrhujete a plánujete soustavně i mimo práci i o dovolené, abyste nejlépe využil/a času. | _____ | Dáváte přednost tomu prožít svůj volný čas skutečně volně.                               |
| 20. | Lidé Vám vždy spíše uškodili, než pomohli.   | _____ | Lidé ve Vašem okolí Vám byli vždy spíše oporou a pomáhali Vám, když jste to potřebovali. |
| 21. | Poslední roky jste prožil/a klidně, bez větších nepříjemných zážitků.                                      | _____ | V poslední době Vás postihlo mnoho těžkých událostí.                                     |
| 22. | Se svým životem jste v poslední době úplně spokojený/á.  | _____ | Jste v poslední době velmi nespokojen/a se svým životem.                                 |

## DOTAZNÍK ZRAKOVÝCH POTÍŽÍ

|   |                       |                      |    |
|---|-----------------------|----------------------|----|
| Jméno a příjmení:                           |                       | Datum narození:      |    |
| Profese:                                    |                       | Datum vyšetření:     |    |
| Délka praxe s obrazovkou:                   |                       |                      |    |
| Soudíte, že máte dobrý zrak?                |                       | ANO                  | NE |
| Jestliže nikoliv, uveďte příznaky a potíže: |                       |                      |    |
| Vady a onemocnění zraku:                    | Prodělaná onemocnění: | Současná onemocnění: |    |
| Nosíte brýle? Jestliže ano, uveďte jaké:    |                       |                      |    |
| Kdy jste byl naposledy u očního lékaře?     |                       |                      |    |
| Uveďte prosím výsledek vyšetření:           |                       |                      |    |

U následujících položek prosím vyznačte stupeň, intenzitu uvedených zrakových potíží.

**Stupnice A)** hodnotí zrakové potíže při práci, tj. v průběhu pracovní směny.

**Stupnice B)** hodnotí zrakové potíže po práci.

| <b>A: V PRŮBĚHU SMĚNY (při práci)</b> |   | <b>B: PŘETRVÁVÁNÍ PO PRÁCI</b> |   |
|---------------------------------------|---|--------------------------------|---|
| Nikdy                                 | 0 | Vůbec se neobjevuje            | 0 |
| Velmi zřídka                          | 1 | Zmizí do 2 hodin po směně      | 1 |
| Občas                                 | 2 | Zmizí do večera                | 2 |
| Často                                 | 3 | Zmizí so rána                  | 3 |
| Velmi často                           | 4 | Zmizí po delším volna          | 4 |
| Téměř trvale                          | 5 | Trvá téměř stále               | 5 |

| Zrakové obtíže |   | Při práci |   |   |   |   | Přetrvávání po práci |   |   |   |   |   |   |
|----------------|---|-----------|---|---|---|---|----------------------|---|---|---|---|---|---|
|                |   | 0         | 1 | 2 | 3 | 4 | 5                    | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1.             | Pálení v očích  | 0         | 1 | 2 | 3 | 4 | 5                    | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 2.             | Zarudnutí očí   | 0         | 1 | 2 | 3 | 4 | 5                    | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 3.             | Slzení očí  | 0         | 1 | 2 | 3 | 4 | 5                    | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4.             | Záškuby v očích   | 0         | 1 | 2 | 3 | 4 | 5                    | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 5.             | Tlak v očích (nebo očníkové dutině)                     | 0         | 1 | 2 | 3 | 4 | 5                    | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 6.             | Mžítka před očima                                       | 0         | 1 | 2 | 3 | 4 | 5                    | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 7.             | Pocit snížené citlivosti zraku                          | 0         | 1 | 2 | 3 | 4 | 5                    | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 8.             | Rozmazané (neostré) vidění                              | 0         | 1 | 2 | 3 | 4 | 5                    | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 9.             | Dvojité vidění  | 0         | 1 | 2 | 3 | 4 | 5                    | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 10.            | Bolest hlavy jako důsledek zrakové námahy               | 0         | 1 | 2 | 3 | 4 | 5                    | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 11.            | Pocit nepohody z práce při umělém osvětlení             | 0         | 1 | 2 | 3 | 4 | 5                    |   |   |   |   |   |   |
| 12.            | Potřeba přerušit práci a podívat se do volného prostoru | 0         | 1 | 2 | 3 | 4 | 5                    |   |   |   |   |   |   |
| 13.            | Pocit únavy (malátnosti)                                | 0         | 1 | 2 | 3 | 4 | 5                    | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

## NASA Task Load Index

Hart and Staveland's NASA Task Load Index (TLX) method assesses work load on five 7-point scales. Increments of high, medium and low estimates for each point result in 21 gradations on the scales.

---

| Name | Task | Date |
|------|------|------|
|      |      |      |

**Mental Demand**                      How mentally demanding was the task?

**Physical Demand**                      How physically demanding was the task?

**Temporal Demand**                      How hurried or rushed was the pace of the task?

**Performance**                      How successful were you in accomplishing what you were asked to do?

**Effort**                      How hard did you have to work to accomplish your level of performance?

**Frustration**                      How insecure, discouraged, irritated, stressed, and annoyed were you?

---

Obrázek: Dotazník NASA-TLX [34]

# Příloha D: Vzorový zdrojový kód pro zpracování dat programu Matlab

## Vzorový zdrojový kód programu Matlab – zpracování fyziologických dat a počtu letadel

```
clc
close all
clear all

%DATA ZÁZNAMŮ LETADEL
load('PlanesNEWBEST.mat'); %načtení dat - reálný počet letadel ze
                           systémů Flightradar24
data = load('6_data_letadla.txt'); %načtení dat - záznamy letadel
                                   probanda
suma_output = zeros(1, (data(end,7)/5)+1); %matice pro výsledky
bad_output = zeros(1, (data(end,7)/5)+1); %matice pro výsledky
celk_output = zeros(1, (data(end,7)/5)+1); %matice pro výsledky
pomer_output = zeros(1, (data(end,7)/5)+1); %matice pro výsledky
b = 0;
time = 0:5:240;
timePlanes = 5:5:240;
data(data(:,1:6)>1) = 10; %obecně špatné hodnoty přepsány na 10 (0 je
                          nevyplněno)

for a = 1:((data(end,7)/5)+1) %for cyklus pro výpočet jednotlivých
                             matic
    suma = ismember(data(:,7),b); %fce hledá v souboru dat počet záznamů
                                  za posledních pět minut a následně
                                  %je sčítá do příslušných matic
    nasobeni_s1 = data(suma,1);
    nasobeni_s2 = data(suma,2);
    nasobeni_s3 = data(suma,3);
    nasobeni_s4 = data(suma,4);
    nasobeni_s5 = data(suma,5);
    nasobeni_s6 = data(suma,6);
    suma_output(a) = sum(ismember(nasobeni_s1,1)+ ismember(nasobeni_s2,1)
    +ismember(nasobeni_s3,1)+ismember(nasobeni_s4,1)+ismember(nasobeni_s5,
    1)+ismember(nasobeni_s6,1));
    bad_output(a) = sum(ismember(nasobeni_s1,10) +ismember(nasobeni_s2,10)
    +ismember(nasobeni_s3,10)+ismember(nasobeni_s4,10)+ismember(nasobeni_s
    5,10)+ismember(nasobeni_s6,10));
    celk_output(a) = suma_output(a) + bad_output(a);
    b = b+5;
end

suma_output = [0 suma_output]; %nastavení nulového počátečního počtu
bad_output = [0 bad_output];
celk_output = [0 celk_output];

PriletlyOdlety = Planes.Odlety + Planes.Priletly; %součet reálných
                                                  odletů a příletů ze
                                                  systému Flightradar24
for i = 1:5:length(PriletlyOdlety)- 4 %plovoucí okno počítající počet
                                     letadel, okno 5 min, overlap 4 min
    sumaPO(i) = sum(PriletlyOdlety(i:i+4));
end
sumaPO(sumaPO(1,:)==0) = [];
```

```

%graf správných záznamů probanda za posledních 5 min v čase
figure(1)
stem(time(1,2:length(time)),suma_output(1,2:length(suma_output)),
      'filled','ko','LineWidth',1.5);
hold on
plot(time(31),suma_output(31)+1,'*','MarkerSize',12,'MarkerEdgeColor',
      [.1 .8 .4]); %označení pauzy probanda v grafu
axis([0 240 0 35]); %nastavení os grafu
xbounds = xlim;
set(gca,'XTick',xbounds(1):10:xbounds(2));
xlabel('Čas (min)', 'FontWeight','bold');
ylabel({'Počet správně zaznamenaných záznamů za posledních 5 minut (-)',
        'FontWeight','bold'});
title({'\fontsize{12}Počet správně zaznamenaných záznamů za posledních
        5 minut v čase - senzor 6'}, 'FontWeight','bold');
leg = legend({'Správné záznamy','Pauza'}, 'FontWeight','bold',
             'Location','NorthWest');

%graf špatných záznamů probanda za posledních 5 min v čase
figure(2)
stem(time(1,2:length(time)),bad_output(1,2:length(bad_output)),'filled',
      'k','LineWidth',1.5);
hold on
plot(time(31),bad_output(31)+5,'*','MarkerSize',12,'MarkerEdgeColor',
      [.1 .8 .4]); %označení pauzy probanda v grafu
axis([0 240 0 90]); %nastavení os grafu
xbounds = xlim;
set(gca,'XTick',xbounds(1):10:xbounds(2));
xlabel('Čas (min)', 'FontWeight','bold');
ylabel({'Počet špatně zaznamenaných záznamů za posledních 5 minut (-)',
        'FontWeight','bold'});
title({'\fontsize{12}Počet špatně zaznamenaných záznamů za posledních
        5 minut v čase - senzor 6'}, 'FontWeight','bold');
leg = legend({'Špatné záznamy','Pauza'}, 'FontWeight','bold',
             'Location','NorthWest');

%graf poměru všech a špatných záznamů probanda za posledních 5 min
v čase
figure(3)
stem(time(1,2:length(time)),celk_output(1,2:length(celk_output)),
      'filled','b','LineWidth',1.5);
axis([0 240 0 125]); %nastavení os grafu
xbounds = xlim;
set(gca,'XTick',xbounds(1):10:xbounds(2));
hold on
stem(time(1,2:length(time)),bad_output(1,2:length(bad_output)),
      'filled','r','LineWidth',1.5);
hold on
plot(time(31),celk_output(31)+5,'*','MarkerSize',12,'MarkerEdgeColor',
      [.1 .8 .4]); %označení pauzy probanda v grafu
xlim([0 240]);
xbounds = xlim;
set(gca,'XTick',xbounds(1):10:xbounds(2));
xlabel('Čas (min)', 'FontWeight','bold');
ylabel({'Počet všech/špatných záznamů';'za posledních 5 minut (-)'},
        'FontWeight','bold');
title({'\fontsize{12}Poměr všech a špatných záznamů za posledních 5
        min v čase - senzor 6'}, 'FontWeight','bold');
leg = legend({'Všechny záznamy', 'Špatné záznamy', 'Pauza'},
             'FontWeight','bold','Location','NorthWest');

```



```

%graf poměru všech a špatných záznamů probanda v porovnání s reálným
počtem záznamů za posledních 5 min v čase
figure(4)
plot(time(1,2:length(time)),celk_output(1,2:length(celk_output)),
      '-b.','MarkerSize',20);
axis([0 240 0 200]); %nastavení os grafu
xbounds = xlim;
set(gca,'XTick',xbounds(1):10:xbounds(2));
hold on
plot(time(1,2:length(time)),bad_output(1,2:length(bad_output)),'-r.',
      'MarkerSize',20);
hold on
plot(time(31),celk_output(31)+85,'*', 'MarkerSize',10, 'MarkerEdgeColor'
      , [.1 .8 .4]); %označení pauzy probanda v grafu
xlim([0 240]); %nastavení os grafu
xbounds = xlim;
set(gca,'XTick',xbounds(1):10:xbounds(2));
hold on
stem(timePlanes(1,:),sumaPO.*4,'-ko','filled','LineWidth',1); %počet
                                letadel je násoben 4, protože
                                ke každému letadlu náleží min 4
                                záznamy

xlim([0 240]); %nastavení os grafu
xbounds = xlim;
set(gca,'XTick',xbounds(1):10:xbounds(2));
xlabel('Čas (min)', 'FontWeight','bold');
ylabel({'Počet všech/špatných záznamů';'za posledních 5 minut (-)'},
       'FontWeight','bold');
title({'\fontsize{12}Poměr všech a špatných záznamů za posledních 5
min v čase';'v porovnání s reálným počtem záznamů - senzor 6'},
      'FontWeight','bold');
leg = legend({'Všechny záznamy', 'Špatné záznamy', 'Pauza', 'Reálný
počet záznamů'}, 'FontWeight','bold','Location','NorthWest');

%graf reálného počtu letadel ze systému Flightradar24
figure(5)
stem(timePlanes(1,:),sumaPO,'filled','ko','LineWidth',1.5);
xlim([0 240]); %nastavení os grafu
xbounds = xlim;
set(gca,'XTick',xbounds(1):10:xbounds(2));
xlabel('Čas (min)', 'FontWeight','bold');
ylabel({'reálný počet letadel za posledních 5 minut (-)'},
       'FontWeight','bold');
title({'\fontsize{12}Reálný počet letadel za posledních 5 minut
v čase'}, 'FontWeight','bold');

%% FYZIOLOGICKÁ DATA
biodata = load('biodata_upr_6.txt'); %načtení fyziologických dat
                                získaných ze systému FlexiGuard

time2 = 0:143963; %celkový záznam
time4 = 72000:75000; %5 min záznam

HR = biodata(:,1); %načtení dat srdečního tepu
HR(HR<40) = 50; %eliminace chyb
HR(HR>125) = 125; %eliminace chyb a pohybových artefaktů - předpoklad
zdravého jedince

```

```

temp = biodata(:,2)/10; %načtení dat tělesné teploty
%eliminace chyb v jednotlivých úsecích
for c = 81000:143964 %čas 135.min-konec
    if temp(c) < 35.2
        temp(c) = 35.2;
    end
end

breath = biodata(:,6); %načtení dat dechové frekvence
%eliminace chyb v jednotlivých úsecích
for s = 1:143964
    if breath(s) > 8.76e6
        breath(s) = 8.74e6;
    end
    if breath(s) < 8.5e6
        breath(s) = 8.63e6;
    end
end

acc = biodata(:,3:5); %načtení dat pohybové aktivity
%výpočet výsledného vektoru akcelerace
for h = 1:length(acc)/3
    nas(h) = abs(sqrt(acc(h,1).^2 + acc(h,2).^2 + acc(h,3).^2));
end

hum = biodata(:,7); %načtení dat relativní vlhkosti těla
%eliminace chyb
for z = 1:143964
    if hum(z) < 29
        hum(z) = 29;
    end
end

%graf srdečního tepu
figure(1)
plot(time2(1,:),HR(:,1),'k');
ylim([49 130]); %nastavení os
xlim([0 143963]);
xbounds = xlim;
set(gca,'XTick',xbounds(1):8990:xbounds(2));
set(gca,'XTickLabel',[0 15 30 45 60 75 90 105 120 135 150 165 180 195
    210 225 240]);
hold on
plot(time2(88200),HR(88200)+25,'*', 'MarkerSize',12, 'MarkerEdgeColor',
    [.1 .8 .4]); %označení pauzy probanda v grafu
xlabel('Čas (min)', 'FontWeight','bold');
ylabel({'Srdeční tep HR (bpm)'}, 'FontWeight','bold');
%title({'\fontsize{12}Srdeční tep - senzor 6'}, 'FontWeight','bold');
hold on
for d = 1:length(HR) %označení eliminovaných chyb v grafu
    if HR(d) == 50
        plot(time2(d),HR(d)+75,'r.', 'MarkerSize',14, 'MarkerEdgeColor',
            [1 0 0]);
    end
    if HR(d) == 125
        plot(time2(d),HR(d)+2,'r.', 'MarkerSize',14, 'MarkerEdgeColor',
            [1 0 0]);
    end
end
leg = legend({'Srdeční tep', 'Pauza', 'Chyba'}, 'FontWeight', 'bold',
    'Location', 'NorthWest');

```

```

%graf srdečního tepu - 5 min
figure(2)
HRs = sgolayfilt(HR(72000:75000,1),5,251); %použití Savitzky-Golayeho
                                         vyhlazovacího filtru

plot(time4(1,:),HRs(:,1),'k','LineWidth',1.5);
ylim([60 110]); %nastavení os
xlim([72000 75000]);
xbounds = xlim;
set(gca,'XTick',xbounds(1):600:xbounds(2));
set(gca,'XTickLabel',[0 1 2 3 4 5]);
xlabel('Čas (min)', 'FontWeight','bold');
ylabel({'Srdeční tep HR (bpm)', 'FontWeight','bold'};grid
%title({'\fontsize{12}Srdeční tep 5 min - senzor 6'}, 'FontWeight'
      , 'bold');grid
leg = legend({'Srdeční tep'}, 'FontWeight' , 'bold' , 'Location'
      , 'NorthEast');

%graf tělesné teploty
temps = sgolayfilt(temp(:,1),2,501); %použití Savitzky-Golayeho
                                       vyhlazovacího filtru

figure(3)
plot(time2(1,:),temps(:,1),'b');
ylim([33.0 36]); %nastavení os
xlim([0 143963]);
xbounds = xlim;
set(gca,'XTick',xbounds(1):8990:xbounds(2));
set(gca,'XTickLabel',[0 15 30 45 60 75 90 105 120 135 150 165 180 195
      210 225 240]);
hold on
plot(time2(89500),temp(89500)+0.3,'*','MarkerSize',12,'MarkerEdgeColor'
      , [.1 .8 .4]); %označení pauzy probanda v grafu
xlabel('Čas (min)', 'FontWeight','bold');
ylabel({'Tělesná teplota T (stupně Celsia)', 'FontWeight','bold'};
%title({'\fontsize{12}Tělesná teplota - senzor 6'},
      'FontWeight','bold');
hold on
% for d = 81000:143963 %označení eliminovaných chyb v grafu v případě
                    nepoužití filtru
%   if temp(d) == 35.2
%   plot(time2(d),temp(d)+1,'r.','MarkerSize' ,14,'MarkerEdgeColor'
%       , [1 0 0]);
%   end
% end
leg = legend({'Tělesná teplota','Pauza'}, 'FontWeight','bold'
      , 'Location','SouthEast'); %legenda - error

%graf tělesné teploty - 5 min
tempss = sgolayfilt(temp(72000:75000,1),2,501); %použití Savitzky-
                                                Golayeho vyhlazovacího
                                                filtru

figure(4)
plot(time4(1,:),tempss(:,1),'b','LineWidth',2);
ylim([35 36]); %nastavení os
xlim([72000 75000]);
xbounds = xlim;
set(gca,'XTick',xbounds(1):600:xbounds(2));
set(gca,'XTickLabel',[0 1 2 3 4 5]);
hold on
xlabel('Čas (min)', 'FontWeight','bold');

```

```

ylabel({'Tělesná teplota T (stupně Celsia)'}, 'FontWeight','bold');
grid
%title({'\fontsize{12}Tělesná teplota 5 min - senzor 6'}, 'FontWeight'
,'bold');grid
leg = legend({'Tělesná teplota', 'Pauza', 'Chyba'}, 'FontWeight','bold'
,'Location','SouthEast');

%graf dechové frekvence - filtrování
breathss = sgolayfilt(breath(:,1),5,61); %použití Savitzky-Golayeho
vyhlazovacího filtru
breathss = diff(breathss); %hledání diferencí v datech
breathssNorm = breathss-min(breathss); %normalizace dat
breathssNorm = breathssNorm/max(breathssNorm);
breathssNorm = smooth(breathssNorm,15); %vyhlazení funkce
[pk,locs] = findpeaks(breathssNorm, 'THRESHOLD',0.000002); %hledání
peaků v datech

plot(breathssNorm(:,1), 'k', 'LineWidth',1.5);
xlim([2.62e4 2.72e4]);
ylim([0.5185 0.5210]);
hold on
stem(locs,pk, 'filled', 'ro', 'LineWidth',1); %zobrazení peaků v grafu

%graf pohybové aktivity
figure(7)
plot(time2(1,1:length(nas)),nas(1,:), 'xr', 'MarkerSize',10);
ylim([600 1300]); %nastavení os
xlim([0 length(nas)]);
xbounds = xlim;
set(gca, 'XTick', xbounds(1):2998:xbounds(2));
set(gca, 'XTickLabel', [0 15 30 45 60 75 90 105 120 135 150 165 180 195
210 225 240]);
hold on
plot(time2(33000),nas(33000)+280, '*', 'MarkerSize',12, 'MarkerEdgeColor'
,[.1 .8 .4]); %označení pauzy probanda v grafu
xlabel('Čas (min)', 'FontWeight','bold');
ylabel({'Akcelerace a (m·s^-2)'}, 'FontWeight','bold');
%title({'\fontsize{12}Akcelerometr - senzor 6'}, 'FontWeight','bold');
hold on
leg = legend({'Akcelerace', 'Pauza'}, 'FontWeight','bold', 'Location',
'NorthWest');

%graf pohybové aktivity - 5 min
time5 = 23994:24994;
figure(8)
plot(time5(1,:),nas(1,23994:24994), 'xr', 'MarkerSize',10);
ylim([900 1060]); %nastavení os
xlim([23994 24994]);
xbounds = xlim;
set(gca, 'XTick', xbounds(1):200:xbounds(2));
set(gca, 'XTickLabel', [0 1 2 3 4 5]);
hold on
xlabel('Čas (min)', 'FontWeight','bold');
ylabel({'Akcelerace a (m·s^-2)'}, 'FontWeight','bold');grid
%title({'\fontsize{12}Akcelerometr 5 min - senzor 6'}, 'FontWeight',
'bold');grid
hold on
leg = legend({'Akcelerace'}, 'FontWeight','bold', 'Location',
'NorthWest');

%graf relativní vlhkosti těla

```

```

hums = sgolayfilt(hum(:,1),3,501); %použití Savitzky-Golayeho
                                vyhlazovacího filtru

figure(9)
plot(time2(1,:),hums(:,1),'Color',[1,0.68,0.2],'LineWidth',1.5);
ylim([28 44]); %nastavení os
xlim([0 143963]);
xbounds = xlim;
set(gca,'XTick',xbounds(1):8990:xbounds(2));
set(gca,'XTickLabel',[0 15 30 45 60 75 90 105 120 135 150 165 180 195
210 225 240]);
hold on
plot(time2(88200),hum(88200)+5,'*', 'MarkerSize',12, 'MarkerEdgeColor',
[.1 .8 .4]); %označení pauzy probanda v grafu
xlabel('Čas (min)', 'FontWeight','bold');
ylabel({'Relativní vlhkost (%)'}, 'FontWeight','bold');
%title({'\fontsize{12}Relativní vlhkost těla - senzor 6'},
'FontWeight','bold');
hold on
for s = 1:143963 %označení eliminovaných chyb v grafu
    if hum(s) == 29
        plot(time2(s),hum(s)+8,'r.', 'MarkerSize',14, 'MarkerEdgeColor',
[1 0 0]);
    end
end
hold on
leg = legend({'Relativní vlhkost těla','Pauza','Chyba'}, 'FontWeight',
'bold','Location','NorthEast');

%graf relativní vlhkosti těla - 5 min
humss = sgolayfilt(hum(72000:75000,1),2,401); %použití Savitzky-
                                                Golayeho vyhlazovacího
                                                filtru

figure(10)
plot(time4(1,:),humss(:,1),'Color',[1,0.68,0.2],'LineWidth',1.5);
ylim([30 40]); %nastavení os
xlim([72000 75000]);
xbounds = xlim;
set(gca,'XTick',xbounds(1):600:xbounds(2));
set(gca,'XTickLabel',[0 1 2 3 4 5]);
xlabel('Čas (min)', 'FontWeight','bold');
ylabel({'Relativní vlhkost (%)'}, 'FontWeight','bold');grid
%title({'\fontsize{12}Relativní vlhkost těla 5 min - senzor 6'},
'FontWeight','bold');grid
hold on
leg = legend({'Relativní vlhkost těla'}, 'FontWeight','bold',
'Location','NorthWest');

```

## Zdrojový kód programu Matlab – zpracování záznamu srdeční aktivity (parametr HRV)

```

clc
close all
clear all

load('Heart06.mat'); %načtení dat - záznam srdeční činnosti
load('Planes.mat'); %načtení dat - záznam letadel

heartAgreg = 600; %počet vzorků srdeční činnosti na jednu položku
                v Planes

```

```

windowSize = 1; %velikost okna v položkách v Planes

RRsamples = find(diff(Heart.RRcounter)); %fce hledá difference v RR
                                           intervalech
RR = Heart.LastRR(RRsamples);

for i=1:3 %for cyklus počítající RR intervaly
    sumace = 0;
    rrcount = 0;
    j = 1;
    if i==2;
        j = rrcouter(1);
    end
    if i==3;
        j = rrcouter(1)+rrcouter(2);
    end
    if i==4;
        j = rrcouter(1)+rrcouter(2)+rrcouter(3);
    end
    while(sumace <= 3600000)
        sumace = sumace+RR(j);
        rrcount = rrcount+1;
        j = j+1;
    end
    rrcouter(i) = rrcount;
end

rrcouter(4) = length(RR)-sum(rrcouter);

for ii = 1:4 %for cyklus zobrazující vypočítaný parametr Poincareho
             metodou HRV
    dstnce = [];
    if ii == 1
        dstnce = RR(1:4548);
    end
    if ii == 2
        dstnce = RR(4548:4548+4411);
    end
    if ii == 3
        dstnce = RR(4548+4411:4548+4411+4547);
    end
    if ii == 4
        dstnce = RR(4548+4411+4547:length(RR));
    end

    subplot(2,2,ii)
    for d=1:length(dstnce)-1
        plot(dstnce(d),dstnce(d+1),'.');
        hold on
    end
    axis([500 1100 500 1100]);
    xlabel('RR[n]', 'FontWeight','bold');
    ylabel('RR[n+1]', 'FontWeight','bold');
    if ii == 1
        title({'\fontsize{12}První hodina měření'}, 'FontWeight',
              'bold')
    end
    if ii == 2
        title({'\fontsize{12}Druhá hodina měření'}, 'FontWeight',
              'bold')
    end
end

```

```

end
if ii == 3
    title({'\fontsize{12}Třetí hodina měření'}, 'FontWeight',
        'bold')
end
if ii == 4
    title({'\fontsize{12}Čtvrtá hodina měření'}, 'FontWeight',
        'bold')
end
hold on;
dscatter(dstnce(1:end-1),dstnce(2:end));
colorbar
set(gca, 'CLim', [0, 1])
end
%suptitle({'\fontsize{14}Parametr HRV - proband 6'})

```

## Zdrojový kód programu Matlab – zpracování záznamů letadel

```

clc
close all
clear all

%DATA ZÁZNAMŮ LETADEL
load('PlanesNEWBEST.mat'); %načtení dat - reálný počet letadel
                             ze systému Flightradar24
data = load('6_data_letadla.txt'); %načtení dat - záznamy letadel
                                   probanda
suma_output = zeros(1, (data(end,7)/5)+1); %matice pro výsledky
bad_output = zeros(1, (data(end,7)/5)+1); %matice pro výsledky
celk_output = zeros(1, (data(end,7)/5)+1); %matice pro výsledky
b = 0;
time = 0:5:240;
timePlanes = 5:5:240;
data(data(:,1:6)>1) = 10; %obecně špatné hodnoty přepsány na 10 (0 je
                           nevyplněno)

for a = 1:((data(end,7)/5)+1) %for cyklus pro výpočet jednotlivých
                             matic
    suma = ismember(data(:,7),b); %fce hledá v souboru dat počet záznamů
                                   za posledních pět minut a následně
                                   %je sčítá do příslušných matic
    nasobeni_s1 = data(suma,1);
    nasobeni_s2 = data(suma,2);
    nasobeni_s3 = data(suma,3);
    nasobeni_s4 = data(suma,4);
    nasobeni_s5 = data(suma,5);
    nasobeni_s6 = data(suma,6);
    suma_output(a) = sum(ismember(nasobeni_s1,1)+ismember(nasobeni_s2,1)+
                        +ismember(nasobeni_s3,1)+ismember(nasobeni_s4,1)+
                        +ismember(nasobeni_s5,1)+ismember(nasobeni_s6,1));
    bad_output(a) = sum(ismember(nasobeni_s1,10)+ismember(nasobeni_s2,10)+
                       +ismember(nasobeni_s3,10)+ismember(nasobeni_s4,10)+
                       +ismember(nasobeni_s5,10)+ismember(nasobeni_s6,10));
    celk_output(a) = suma_output(a) + bad_output(a);
    b = b+5;
end

suma_output = [0 suma_output]; %nastavení nulového počátečního počtu
bad_output = [0 bad_output];
celk_output = [0 celk_output];

```

```

PriletlyOdletly = Planes.Odletly + Planes.Priletly; %matice reálných
                                                odletů a příletů
                                                ze systému
                                                Flightradar24
for i = 1:5:length(PriletlyOdletly)- 4 %plovoucí okno počítající počet
                                        letadel, okno 5 min, overlap
                                        4 min
    sumaPO(i) = sum(PriletlyOdletly(i:i+4));
end
sumaPO(sumaPO(1,')==0) = [];

%graf správných záznamů probanda za posledních 5 min v čase
figure(1)
stem(time(1,2:length(time)),suma_output(1,2:length(suma_output)),
      'filled','ko','LineWidth',1.5);
hold on
plot(time(31),suma_output(31)+1,'*','MarkerSize',12,'MarkerEdgeColor',
      [.1 .8 .4]); %označení pauzy probanda v grafu
axis([0 240 0 35]); %nastavení os grafu
xbounds = xlim;
set(gca,'XTick',xbounds(1):10:xbounds(2));
xlabel('Čas (min)', 'FontWeight','bold');
ylabel({'Počet správně zaznamenaných záznamů za posledních 5 minut
        (-)'}, 'FontWeight','bold');
%title({'\fontsize{12}Počet správně zaznamenaných záznamů
        za posledních 5 minut v čase - senzor 6'}, 'FontWeight',
        'bold');
leg = legend({'Správné záznamy','Pauza'}, 'FontWeight','bold',
            'Location','NorthWest');

%graf špatných záznamů probanda za posledních 5 min v čase
figure(2)
stem(time(1,2:length(time)),bad_output(1,2:length(bad_output)),
      'filled','k','LineWidth',1.5);
hold on
plot(time(31),bad_output(31)+5,'*','MarkerSize',12,'MarkerEdgeColor',
      [.1 .8 .4]); %označení pauzy probanda v grafu
axis([0 240 0 90]); %nastavení os grafu
xbounds = xlim;
set(gca,'XTick',xbounds(1):10:xbounds(2));
xlabel('Čas (min)', 'FontWeight','bold');
ylabel({'Počet špatně zaznamenaných záznamů za posledních 5 minut
        (-)'}, 'FontWeight','bold');
%title({'\fontsize{12}Počet špatně zaznamenaných záznamů za posledních
        5 minut v čase - senzor 6'}, 'FontWeight','bold');
leg = legend({'Špatné záznamy','Pauza'}, 'FontWeight','bold',
            'Location','NorthWest');

%graf poměru všech a špatných záznamů probanda za posledních 5 min
v čase
figure(3)
stem(time(1,2:length(time)),celk_output(1,2:length(celk_output)),
      'filled','b','LineWidth',1.5);
axis([0 240 0 125]); %nastavení os grafu
xbounds = xlim;
set(gca,'XTick',xbounds(1):10:xbounds(2));
hold on
stem(time(1,2:length(time)),bad_output(1,2:length(bad_output)),
      'filled','r','LineWidth',1.5);
hold on

```



```

plot(time(31), celk_output(31)+5, '*', 'MarkerSize', 12, 'MarkerEdgeColor',
      [.1 .8 .4]); %označení pauzy probanda v grafu
xlim([0 240]);
xbounds = xlim;
set(gca, 'XTick', xbounds(1):10:xbounds(2));
xlabel('Čas (min)', 'FontWeight', 'bold');
ylabel({'Počet všech/špatných záznamů'; 'za posledních 5 minut (-)'},
       'FontWeight', 'bold');
%title({'\fontsize{12}Poměr všech a špatných záznamů za posledních
        5 min v čase - senzor 6'}, 'FontWeight', 'bold');
leg = legend({'Všechny záznamy', 'Špatné záznamy', 'Pauza'},
            'FontWeight', 'bold', 'Location', 'NorthWest');

%graf poměru všech a špatných záznamů probanda v porovnání s reálným
počtem záznamů za posledních 5 min v čase
figure(4)
plot(time(1, 2:length(time)), celk_output(1, 2:length(celk_output)), '-b.',
      'MarkerSize', 20);
axis([0 240 0 200]); %nastavení os grafu
xbounds = xlim;
set(gca, 'XTick', xbounds(1):10:xbounds(2));
hold on
plot(time(1, 2:length(time)), bad_output(1, 2:length(bad_output)), '-r.',
      'MarkerSize', 20);
hold on
plot(time(31), celk_output(31)+85, '*', 'MarkerSize', 10, 'MarkerEdgeColor',
      [.1 .8 .4]); %označení pauzy probanda v grafu
xlim([0 240]); %nastavení os grafu
xbounds = xlim;
set(gca, 'XTick', xbounds(1):10:xbounds(2));
hold on
stem(timePlanes(1, :), sumaPO.*4, '-ko', 'filled', 'LineWidth', 1); %počet
                                                                    letadel je násoben 4, protože
                                                                    ke každému letadlu náleží
                                                                    minimálně 4 záznamy

xlim([0 240]); %nastavení os grafu
xbounds = xlim;
set(gca, 'XTick', xbounds(1):10:xbounds(2));
xlabel('Čas (min)', 'FontWeight', 'bold');
ylabel({'Počet všech/špatných záznamů'; 'za posledních 5 minut (-)'},
       'FontWeight', 'bold');
%title({'\fontsize{12}Poměr všech a špatných záznamů za posledních
        5 min v čase'; 'v porovnání s reálným počtem záznamů - senzor
        6'}, 'FontWeight', 'bold');
leg = legend({'Všechny záznamy', 'Špatné záznamy', 'Pauza', 'Reálný
počet záznamů'}, 'FontWeight', 'bold', 'Location', 'NorthWest');

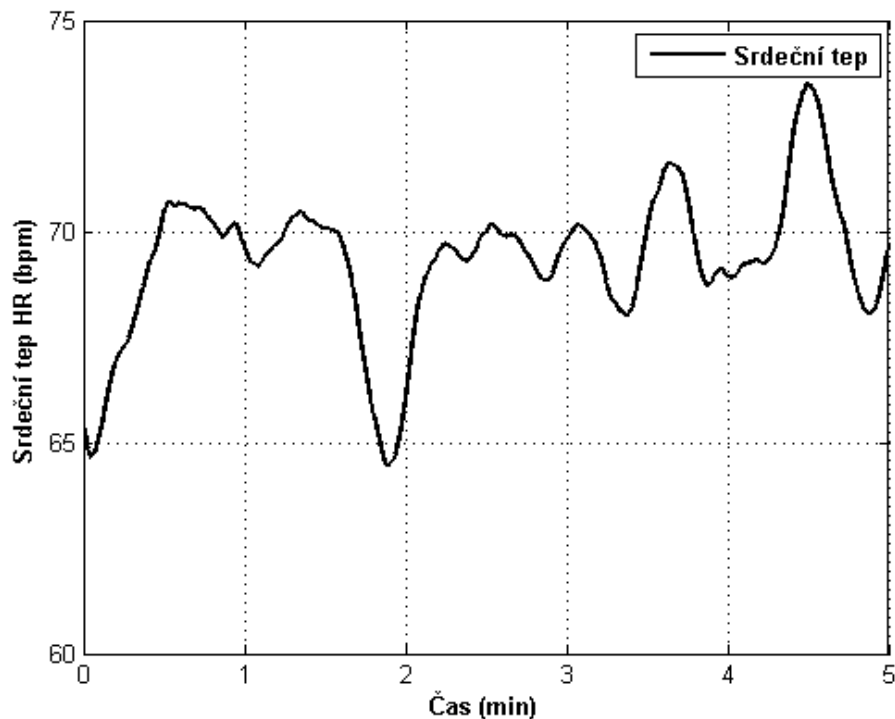
%graf reálného počtu letadel ze systému Flightradar24
figure(5)
stem(timePlanes(1, :), sumaPO, 'filled', 'ko', 'LineWidth', 1.5);
xlim([0 240]); %nastavení os grafu
xbounds = xlim;
set(gca, 'XTick', xbounds(1):10:xbounds(2));
xlabel('Čas (min)', 'FontWeight', 'bold');
ylabel({'Reálný počet letadel za posledních 5 minut (-)'},
       'FontWeight', 'bold');
%title({'\fontsize{12}Reálný počet letadel za posledních 5 minut
        v čase'}, 'FontWeight', 'bold');

```

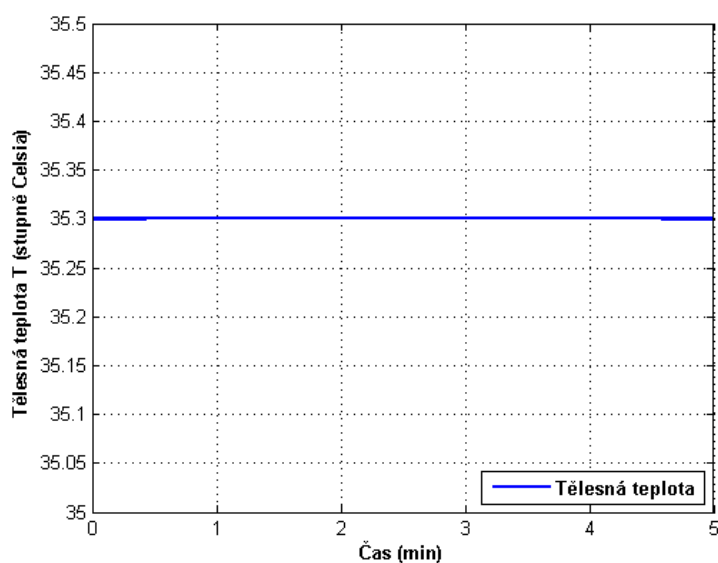
## Příloha E: Další výsledky

Pro velký objem výsledků jsou všechny grafy na přiloženém CD. Zde jsou pouze pětiminutové výřezy jednotlivých fyziologických parametrů a grafy správných a špatných záznamů letadel a poměr všech a špatných záznamů letadel probandů.

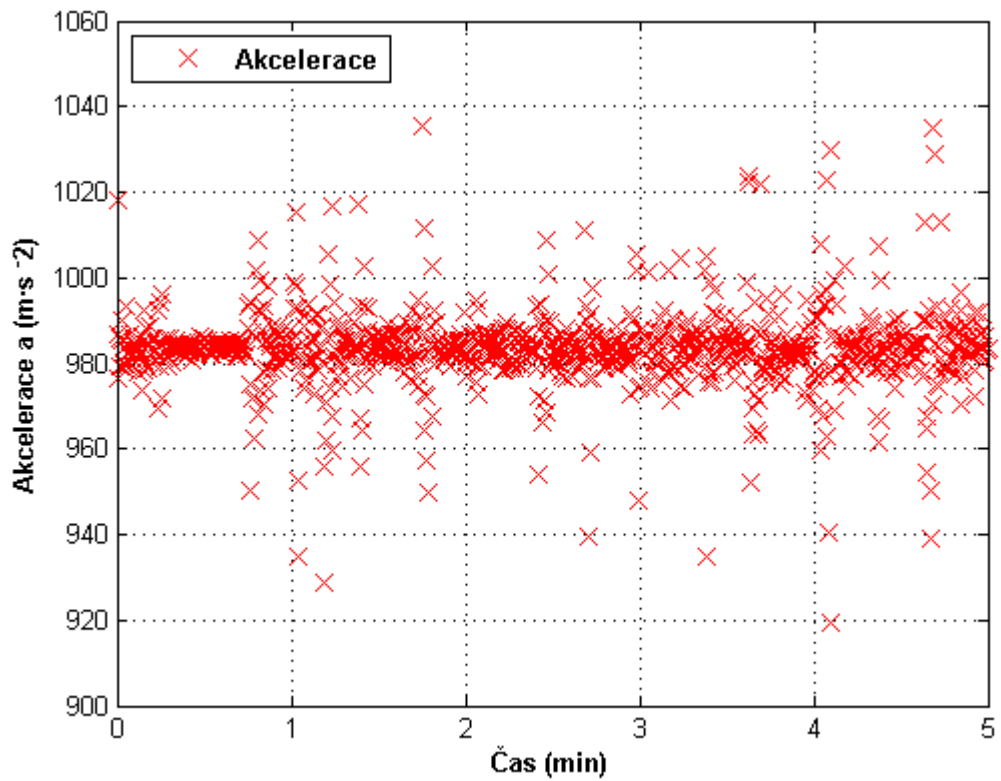
### Výsledky probanda č. 2



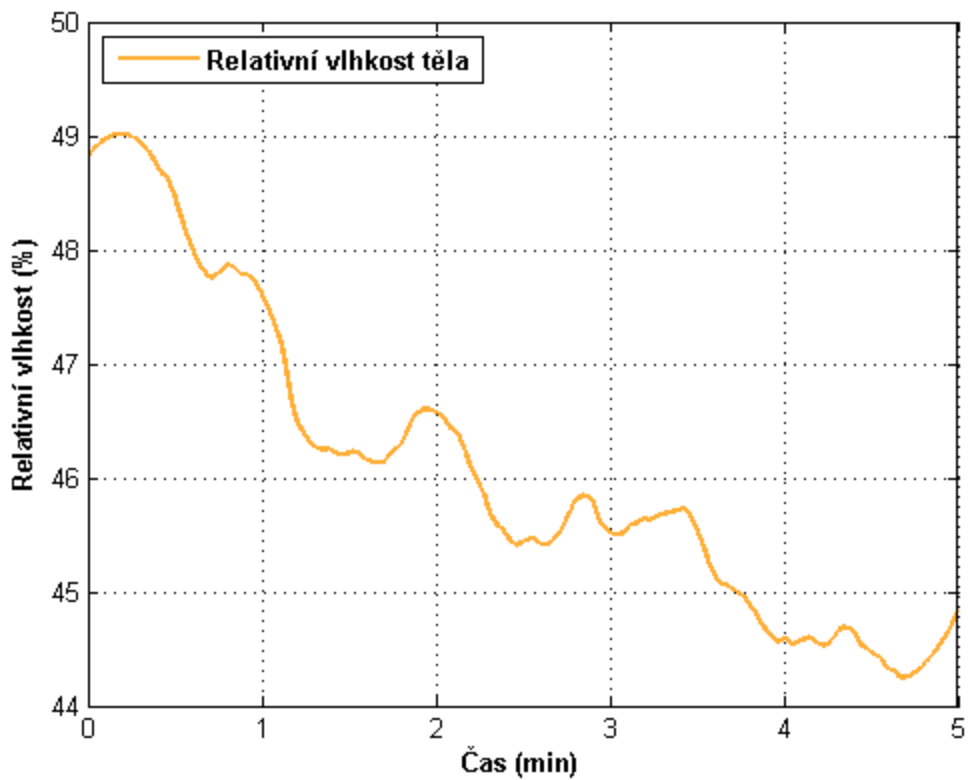
Obrázek 12.1: Graf 5minutového výřezu záznamu srdečního tepu probanda č. 2 v polovině experimentu [-]



Obrázek 12.2: Graf 5minutového výřezu záznamu tělesné teploty probanda č. 2 v polovině experimentu [-]

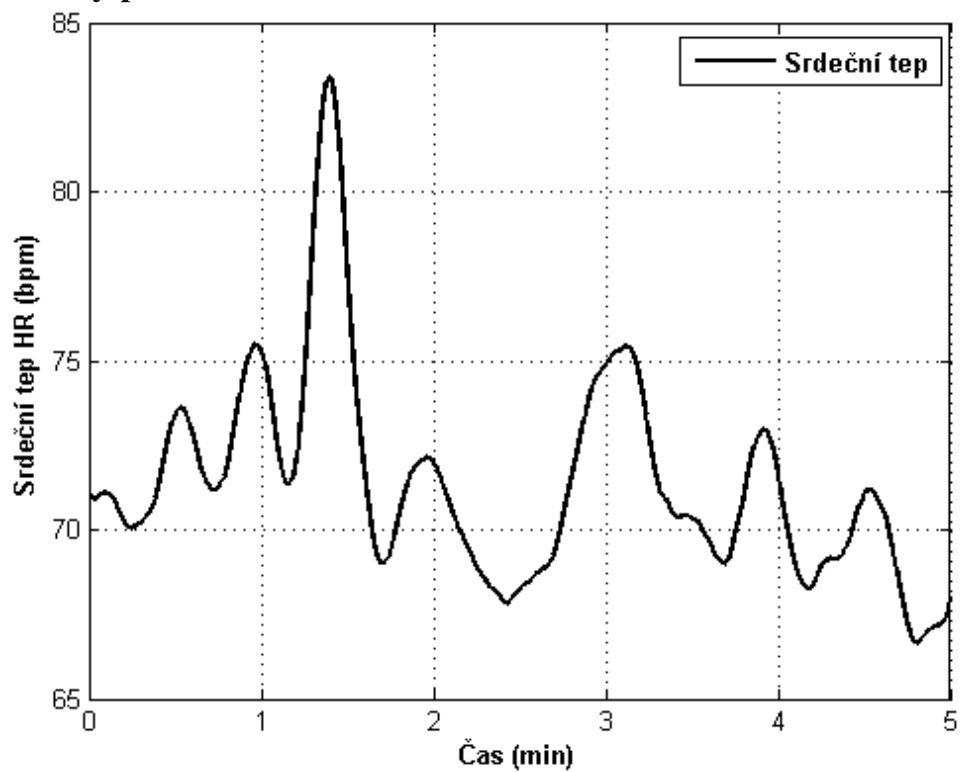


Obrázek 12.3: Graf 5minutového výřezu záznamu pohybové aktivity probanda č. 2 v polovině experimentu [-]

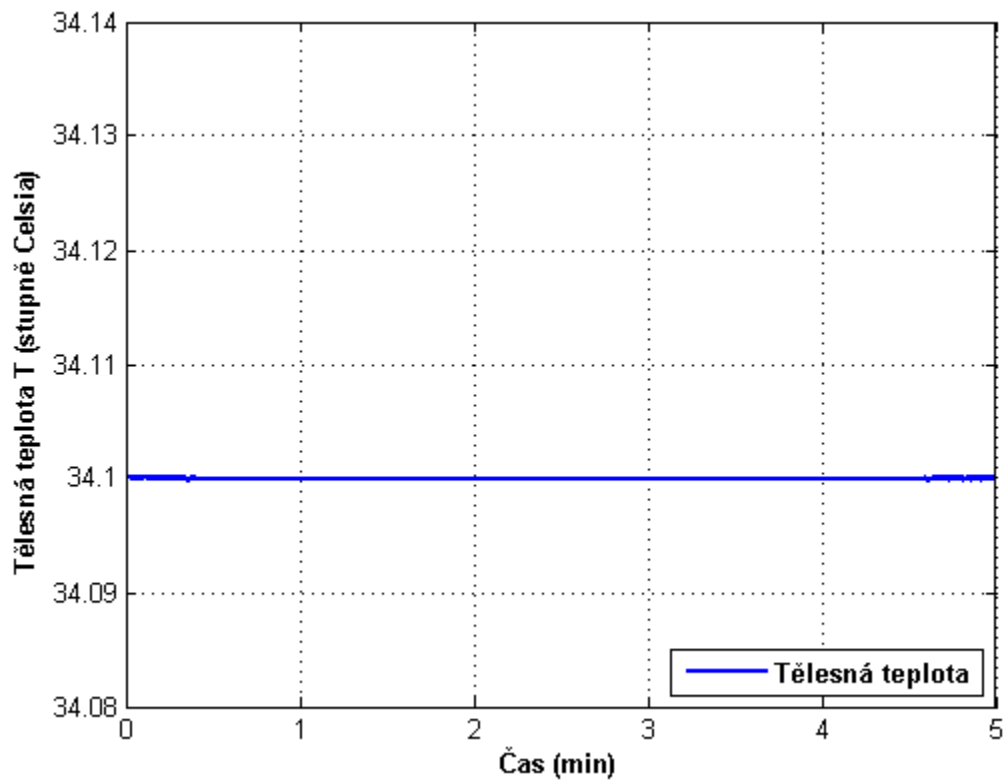


Obrázek 12.4: Graf 5minutového výřezu záznamu relativní vlhkosti těla probanda č. 2 v polovině experimentu [-]

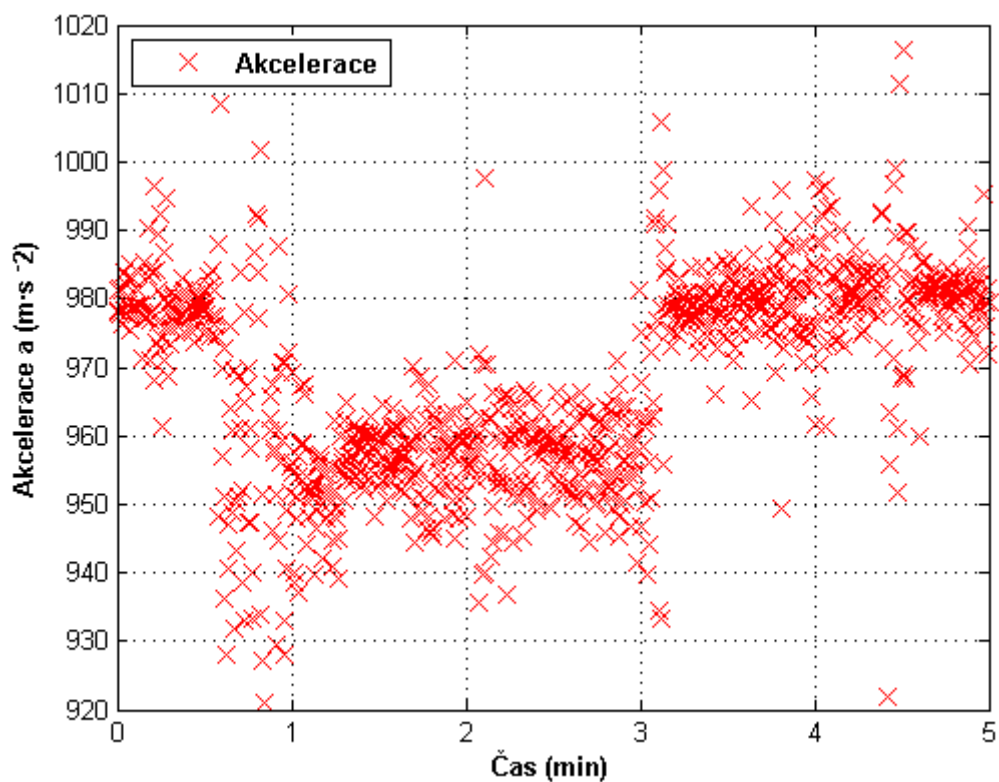
### Výsledky probanda č. 3



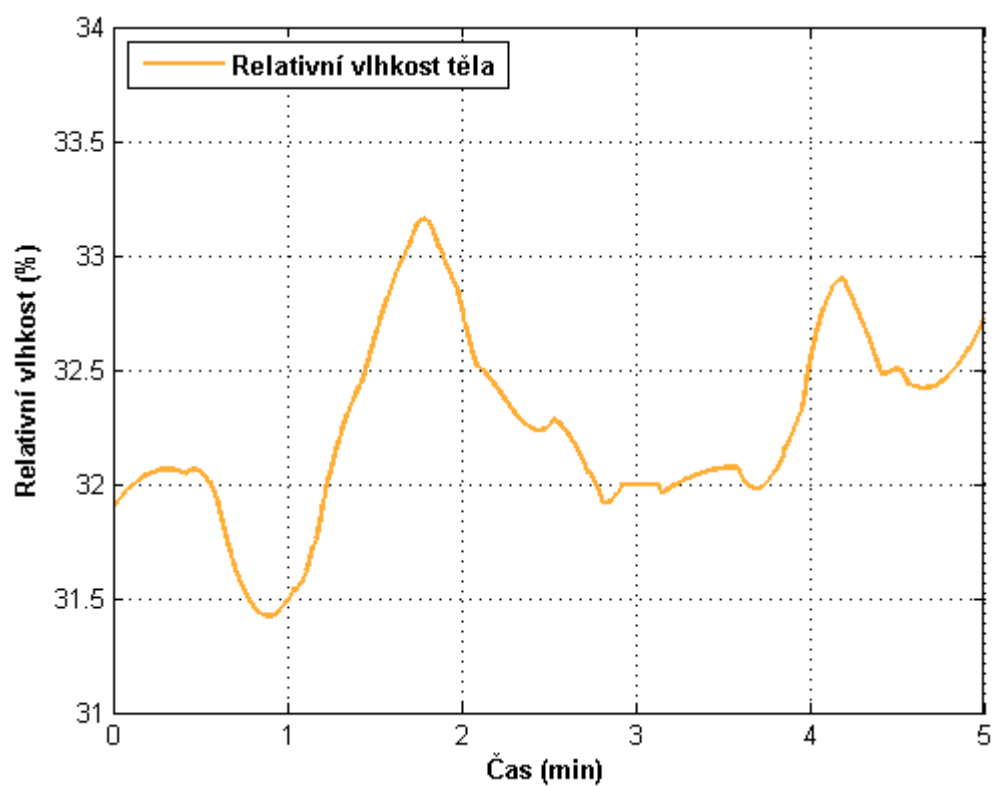
Obrázek 12.5: Graf 5minutového výřezu záznamu srdečního tepu probanda č. 3 v polovině experimentu [-]



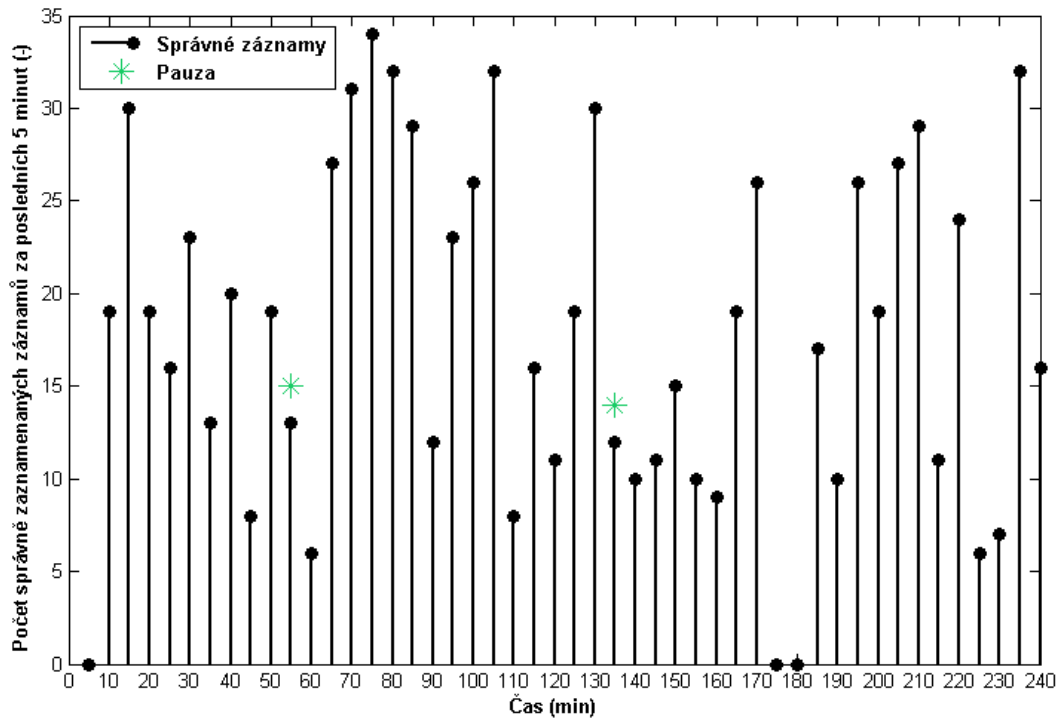
Obrázek 12.6: Graf 5minutového výřezu záznamu tělesné teploty probanda č. 3 v polovině experimentu [-]



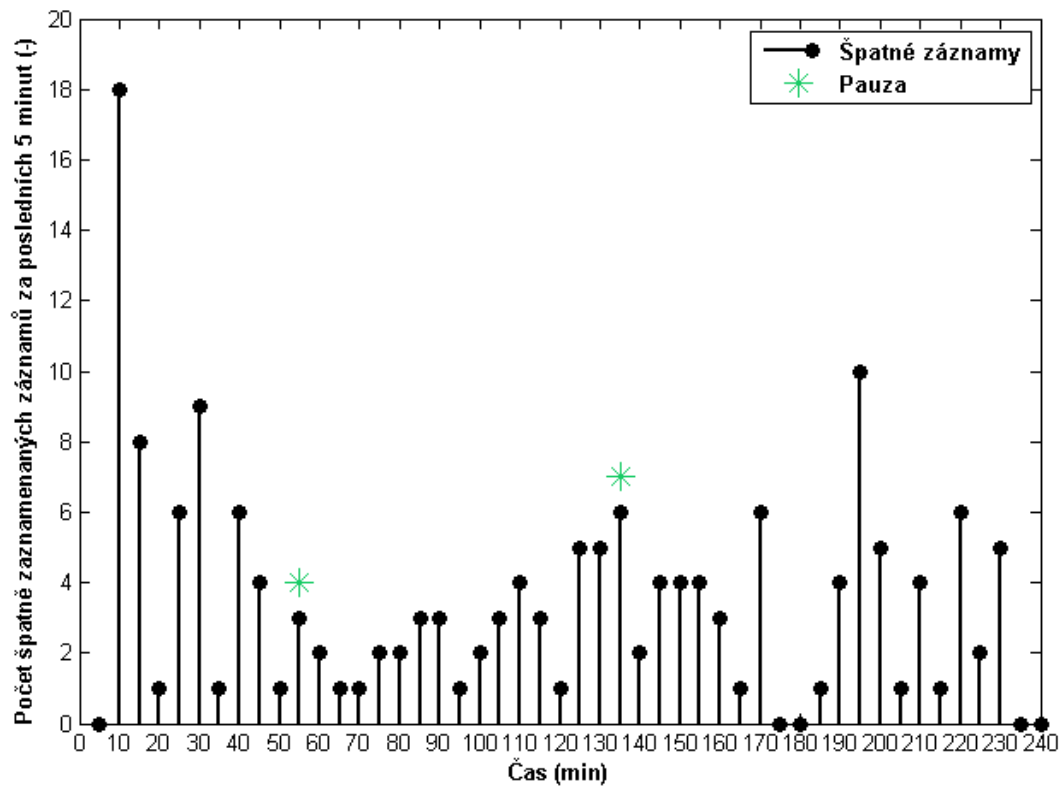
Obrázek 12.7: Graf 5minutového výřezu záznamu pohybové aktivity probanda č. 3 v polovině experimentu [-]



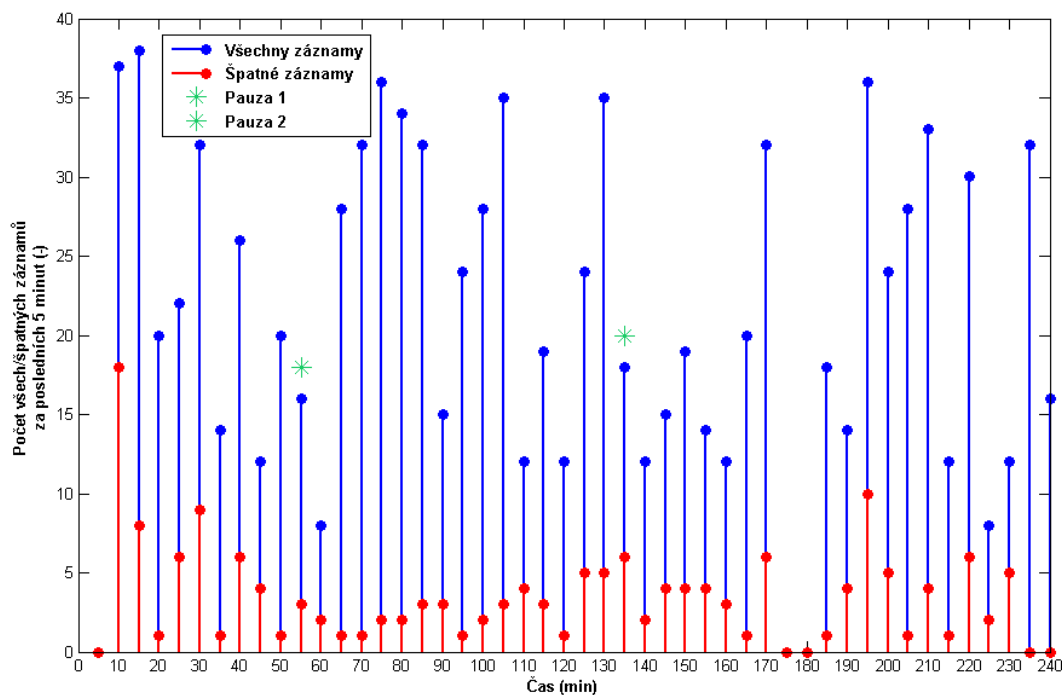
Obrázek 12.8: Graf 5minutového výřezu záznamu relativní vlhkosti těla probanda č. 3 v polovině experimentu [-]



Obrázek 12.9: Počet správných záznamů letadel za posledních pět minut v čase probanda č. 3 [-]

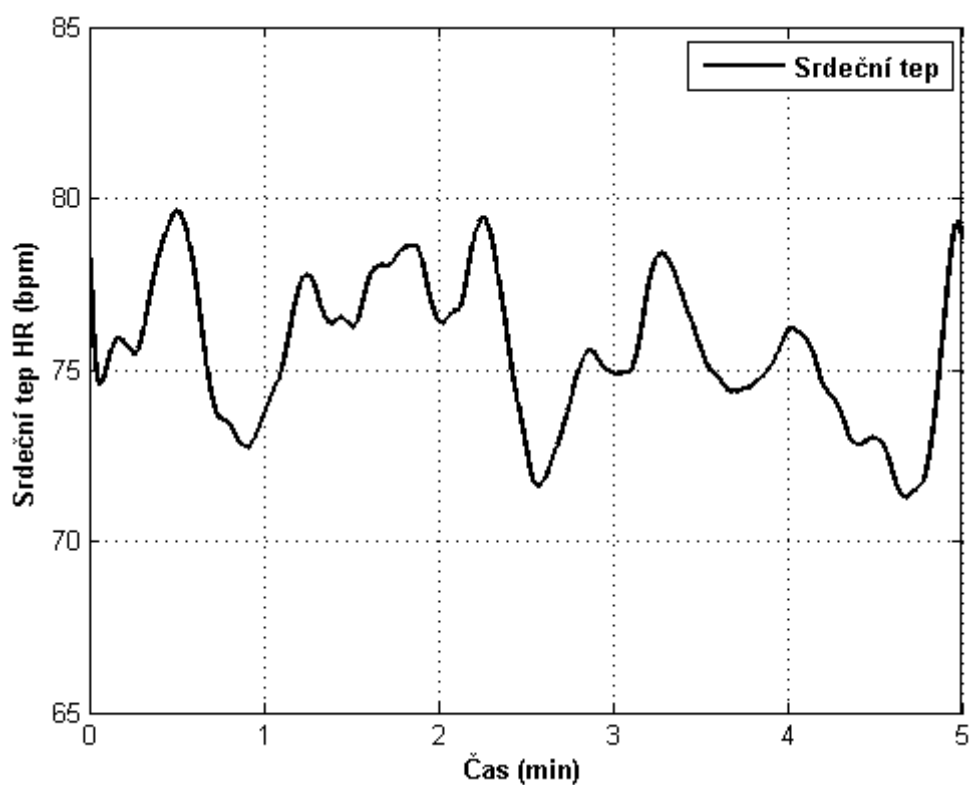


Obrázek 12.10: Počet špatných záznamů letadel za posledních pět minut v čase probanda č. 3 [-]

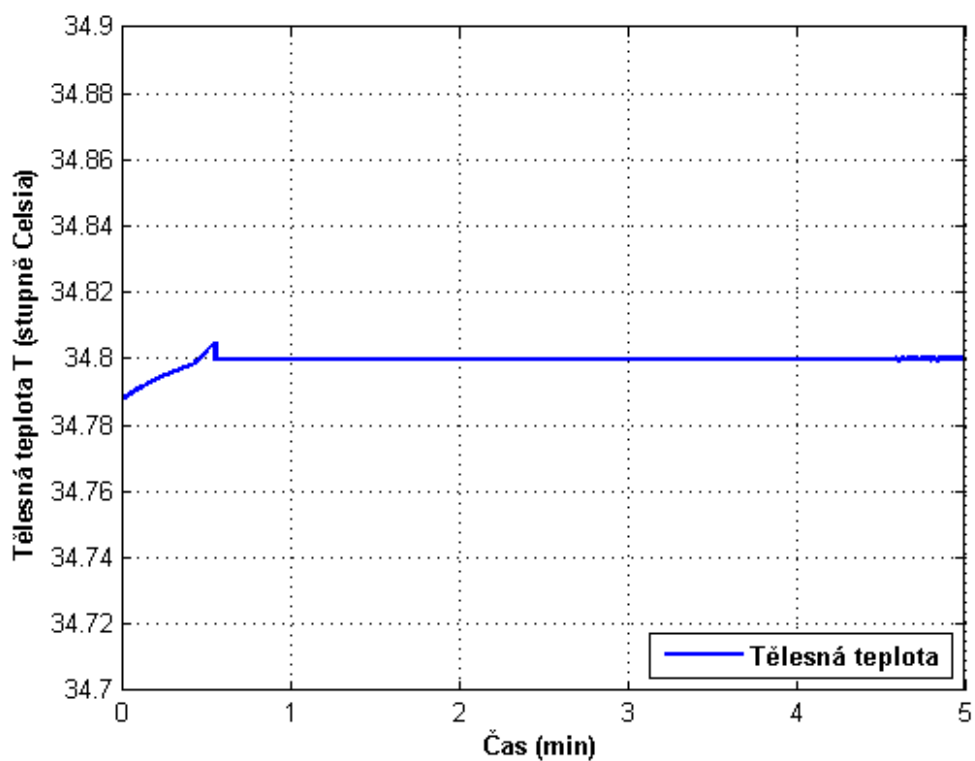


Obrázek 12.11: Poměr všech záznamů probanda č. 3 a špatných záznamů letadel za posledních pět minut v čase [-]

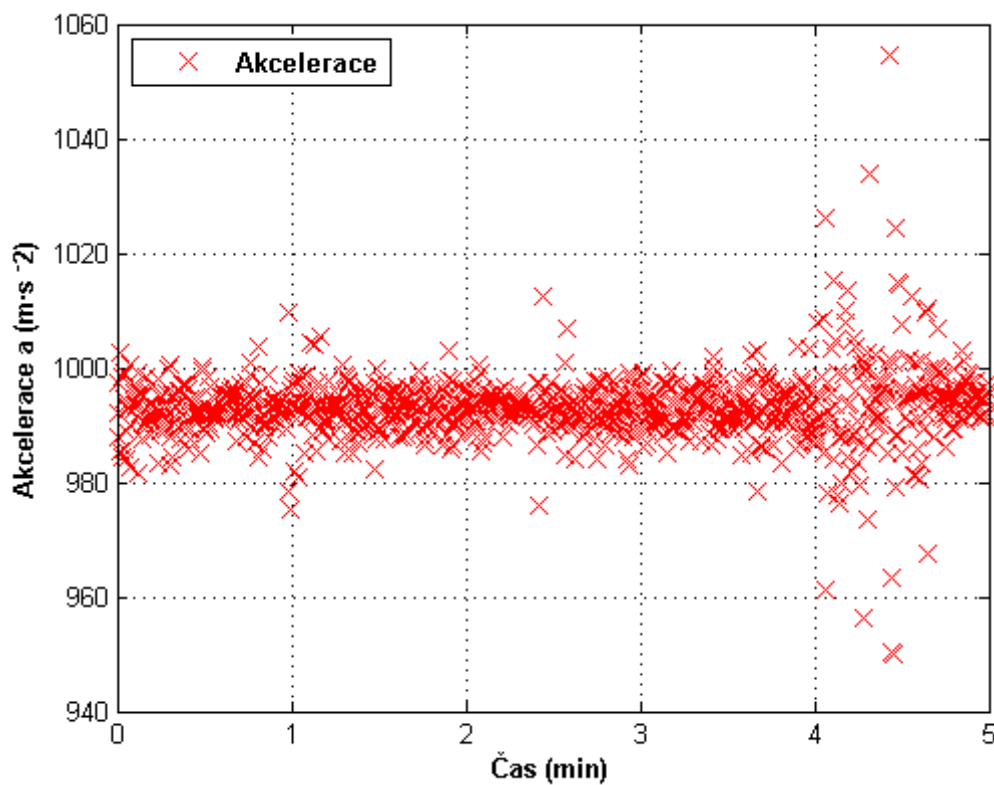
### Výsledky probanda č. 5



Obrázek 12.12: Graf 5minutového výřezu záznamu srdečního tepu probanda č. 5 v polovině experimentu [-]

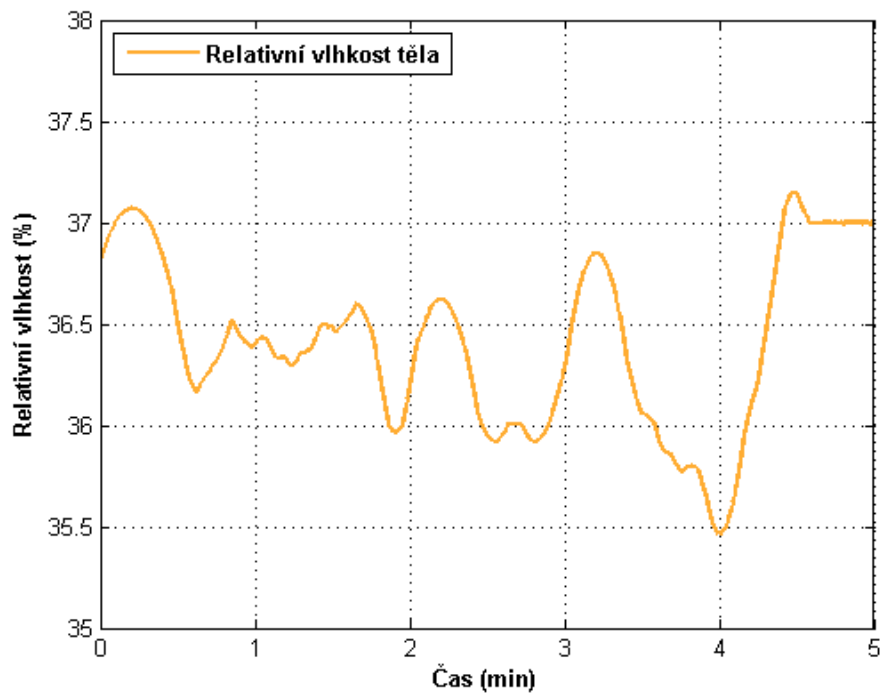


Obrázek 12.13: Graf 5minutového výřezu záznamu tělesné teploty probanda č. 5 v polovině experimentu [-]

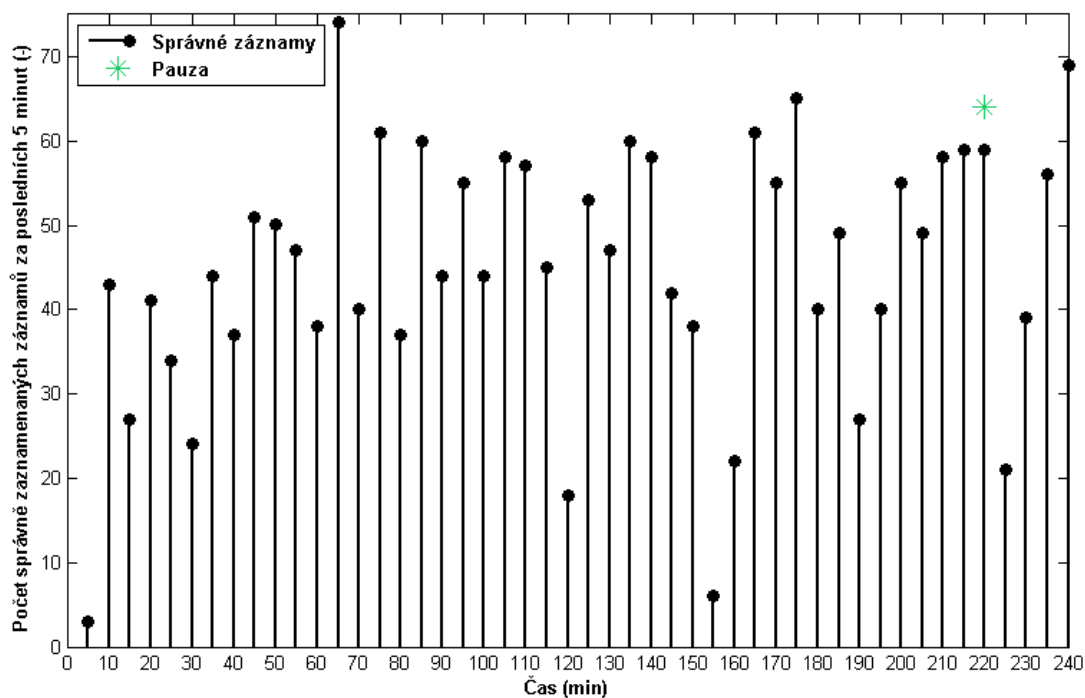


Obrázek 12.14: Graf 5minutového výřezu záznamu pohybové aktivity probanda č. 5 v polovině experimentu [-]

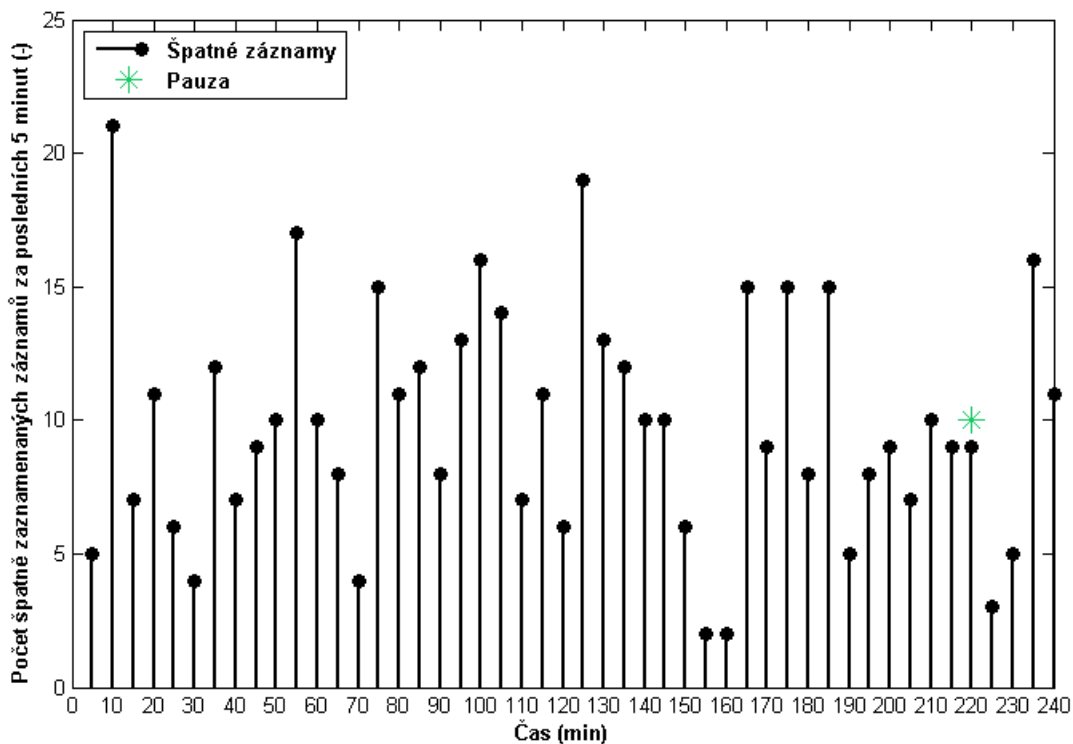




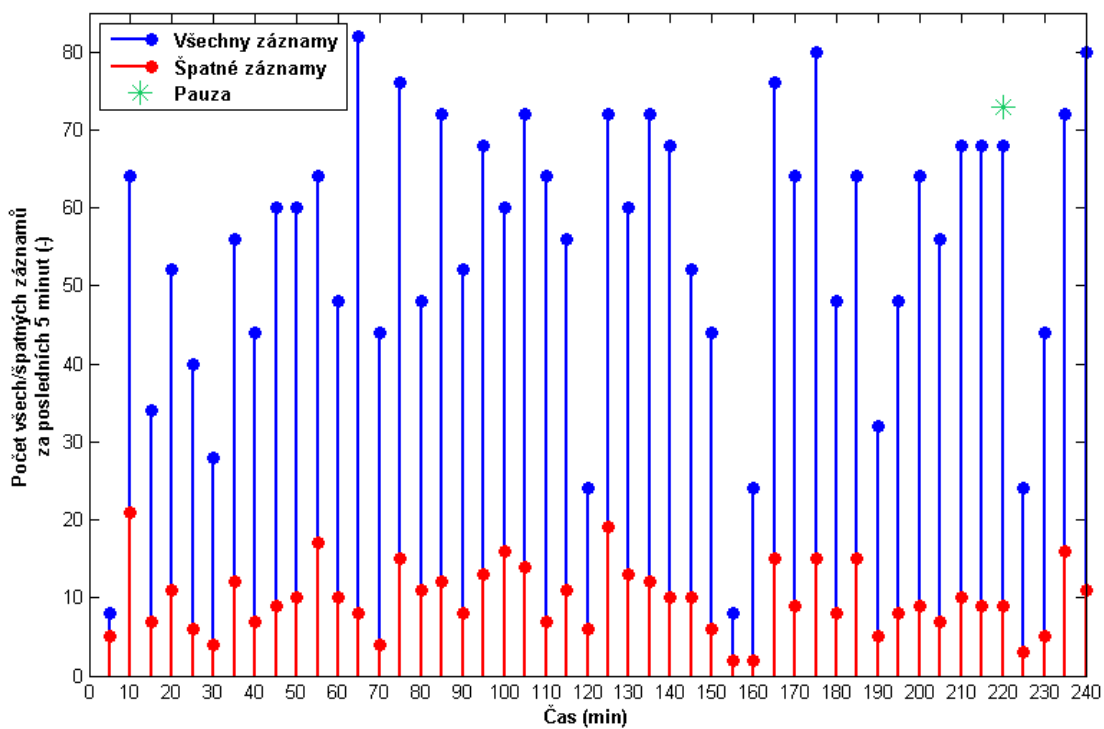
Obrázek 12.15: Graf 5minutového výřezu záznamu relativní vlhkosti těla probanda č. 5 v polovině experimentu [-]



Obrázek 12.16: Počet správných záznamů letadel za posledních pět minut v čase probanda č. 5 [-]

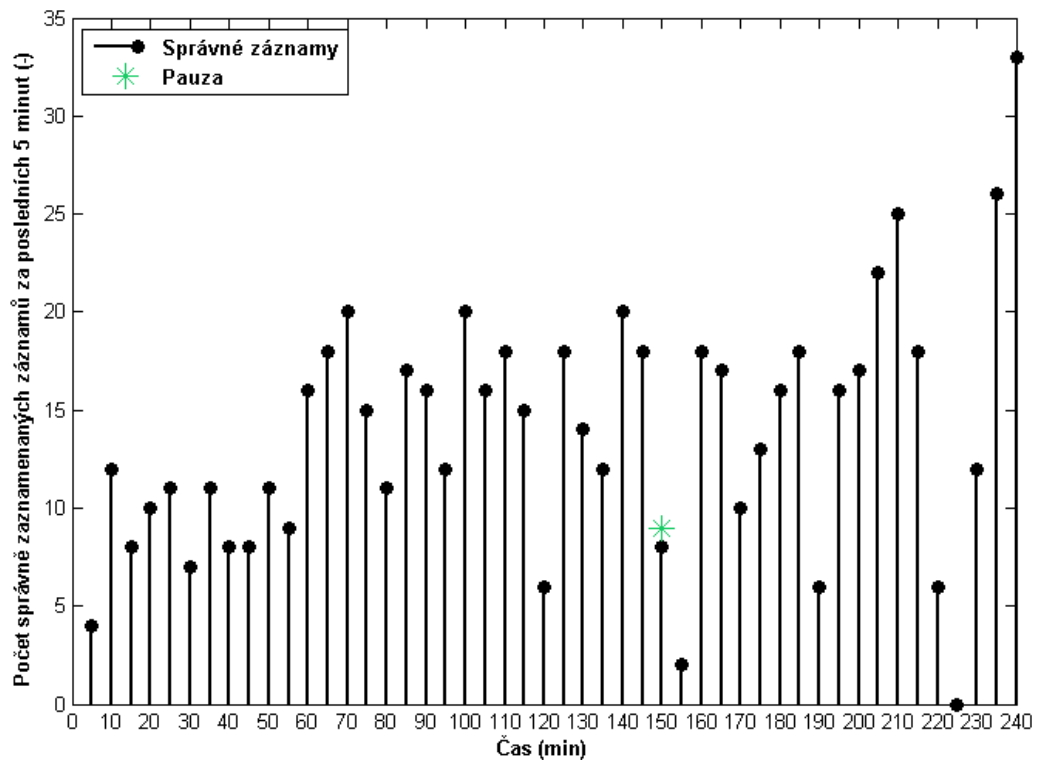


Obrázek 12.17: Počet špatných záznamů letadel za posledních pět minut v čase probanda č. 5 [-]

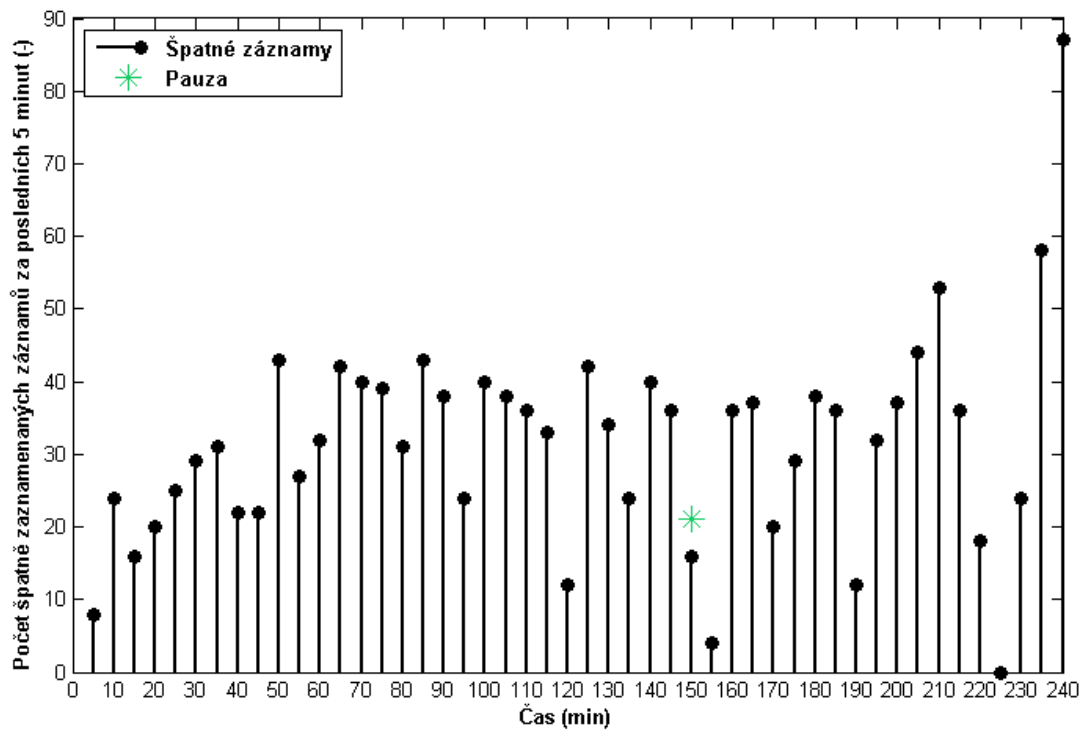


Obrázek 12.18: Poměr všech záznamů probanda č. 5 a špatných záznamů letadel za posledních pět minut v čase [-]

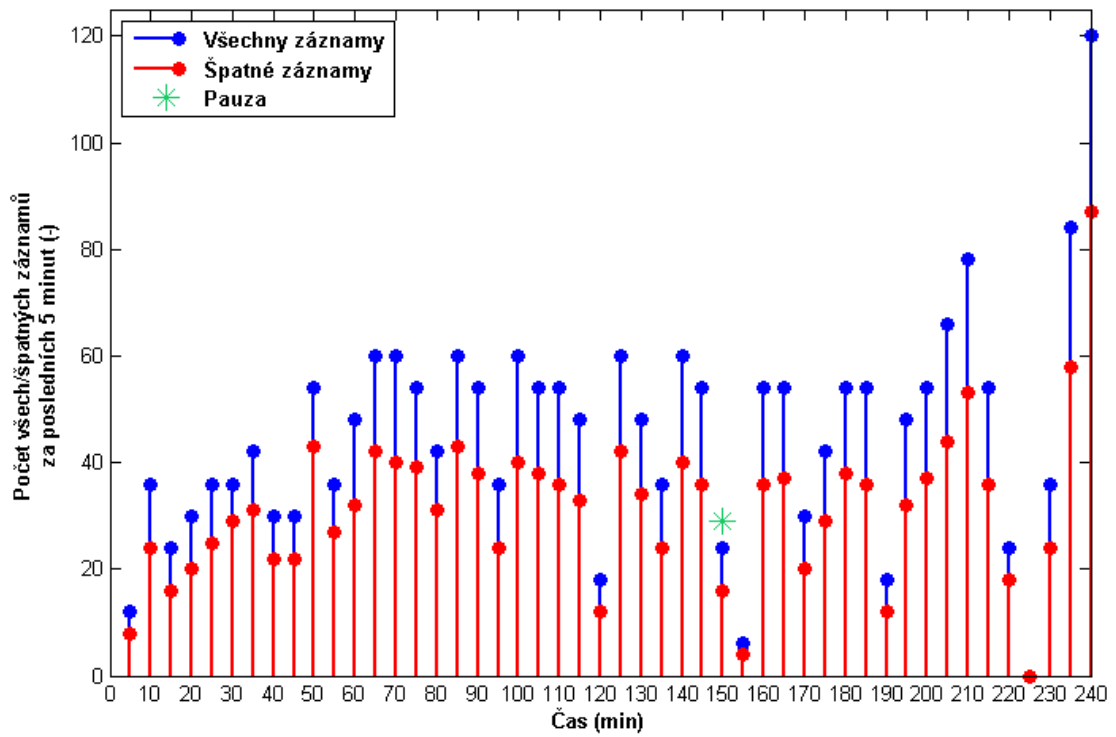
## Výsledky probanda č. 6



Obrázek 12.19: Počet správných záznamů letadel za posledních pět minut v čase probanda č. 6 [-]



Obrázek 12.20: Počet špatných záznamů letadel za posledních pět minut v čase probanda č. 6 [-]



Obrázek 12.21: Poměr všech záznamů probanda č. 6 a špatných záznamů letadel za posledních pět minut v čase [-]

## **Příloha F: Obsah přiloženého CD**

- 1 Naskenované zadání diplomové práce
- 2 Diplomová práce
- 3 Klíčová slova (ČJ a AJ)
- 4 Abstrakt (ČJ)
- 5 Abstrakt (AJ)
- 6 Zdrojové kód programu Matlab
- 7 Zdrojová naměřená data
- 8 Výsledky