

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Metody hodnocení zdravotního stavu vojenských specialistů

Praha 2018

Pavel Král

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne _____

podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval panu doc. Ing. Patriku Kutílkovi, Msc., Ph.D. za odborné vedení mé diplomové práce a za vstřícný a ochotný přístup.

Abstrakt

Cílem práce je návrh a implementace metod pro hodnocení zdravotního stavu vojenských specialistů, konkrétně psychický stav, například projevující se stresem. Nejprve byla provedena rešerše metod pro hodnocení fyzického a psychického stavu, následně byly navrženy metody pro hodnocení biomedicínských dat a dat ze simulátoru. Navržené metody zpracování dat jsou implementovány ve vývojovém prostředí Matlab. Práce je zaměřena na aplikaci metod lineárních i nelineárních. Metody byly aplikovány pro hodnocení dat měřených během výcviku směn protivzdušné obrany. Naměřená data jsou statisticky hodnocena a doporučeno jejich použití. Součástí práce je návod pro aplikaci navržené metodiky měření a metod zpracování dat.

Klíčová slova: hodnocení zdravotního stavu, klasifikace, nelineární metody

Abstract

The aim of this thesis is design of methods for evaluation of health state of military specialists, concretely psychical condition, for example signifying stress. At first recherche was done for evaluating of health state of military specialists, then methods was designed or evaluation biomedicine data and data from simulator. Designed methods utilizing data are implemented in development enviroment Matlab. The thesis is aimed to application linear and nonlinear methods. Methods was applicated for evaluation data measured during training shifts of anti-aircraft warfare. Measured data are statistically evaluated and recommended their application. Part of the thesis is manual for application designed methology of measurement and methods utlizing data.

Keywords: evaluation of health state, classification, nonlinear methods

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Král** Jméno: **Pavel** Osobní číslo: **420345**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra řídicí techniky**
Studijní program: **Kybernetika a robotika**
Studijní obor: **Kybernetika a robotika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Metody hodnocení zdravotního stavu vojenských specialistů

Název diplomové práce anglicky:

Methods for evaluation of health state of military specialists

Pokyny pro vypracování:

1. Proveďte rešerši metod pro hodnocení fyzického či psychického stavu operátorů v systému PVO.
2. Navrhněte metody a výpočtové algoritmy pro hodnocení dat z obrazového záznamu vzdušné situace, akcelerometrů, snímačů srdečního tepu, teploty a vlhkosti. Metody umožní kvantitativní hodnocení fyzického či psychického stavu osob.
3. Implementujte algoritmy metod ve vhodném vývojovém prostředí (doporučen MatLab).
4. Proveďte měření minimálně pěti subjektů a statistické zhodnocení měřených a vypočtených parametrů. Stanovte předběžné normy parametrů a vytvořte návod měření.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Daniel Matěj, Experimentální biomechanika, ČVUT, Praha, 2008
- [2] Jandačka Daniel, Kinetická analýza lidského pohybu, Ostravská univerzita, Ostrava, 2011
- [3] Jiří Lažanský, Vladimír Mařík, Olga Štěpánková, Umělá inteligence (4), Academia 2003

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Patrik Kutílek, MSc., Ph.D., katedra přírodovědných oborů FBMI

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **17.01.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **25.05.2018**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2019**

doc. Ing. Patrik Kutílek, MSc., Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Obsah

1 Úvod.....	13
2 Rozdělení snímačů pro hodnocení fyzického a psychického stavu.....	14
2.1 Snímače srdečního tepu a dechu.....	14
2.1.1 Fotopletysmografický senzor.....	14
2.1.2 Hrudní pás.....	14
2.2 Snímače teploty vlhkosti.....	15
2.2.1 Elektrické odporové.....	15
2.2.2 Termografie.....	15
2.3 Snímače akcelerace.....	16
2.3.1 Piezoelektrické akcelerometry.....	16
2.3.2 Piezorezistivní akcelerometry.....	16
2.3.3 Akcelerometry s proměnnou kapacitou.....	17
3 Rešerše současného stavu metod zpracování měřených dat.....	18
3.1 Rozdělení metod pro určení parametrů dat.....	18
3.1.1 Statistická analýza.....	18
3.1.2 Korelace.....	18
3.1.3 Výpočet zpoždění a dimenze.....	19
3.1.4 Poincarého mapa.....	21
3.1.5 Aproximační entropie.....	22
3.1.6 Detrended fluctuaction analysis.....	22
3.1.7 Rekurentní analýza.....	23
3.1.8 Lyapunovův exponent.....	25
3.2 Rozdělení metod klasifikace.....	26
3.2.1 K-means.....	26
3.2.2 Samoorganizující se mapy.....	27
3.3 Závěr kapitoly.....	29
3.3.1 Metody pro získání parametrů.....	29
3.3.2 Metody pro klasifikaci dat.....	29
4 Návrh metod.....	30
4.1 Návrh metody statistického hodnocení.....	31
4.2 Návrh metody nelineárního hodnocení.....	32
4.3 Návrh metody hodnocení korelace dat.....	32
4.4 Návrh metod klasifikátorů.....	32
5 Aplikace navržených metod.....	33
5.1 Záznam dat a detekce přeletů.....	33
5.2 Statistická analýza dat.....	36
5.3 Nelineární metody.....	36
5.3.1 Poincarého mapa.....	36
5.3.2 Aproximační entropie.....	36
5.3.3 Detrended fluctuaction analysis.....	36
5.3.4 Rekurentní analýza.....	36
5.3.5 Lyapunovův exponent.....	37
5.3.6 Spearmanova korelace.....	37

6	Výsledky implementací.....	38
6.1	Statistické vyhodnocení.....	38
6.2	Nelineární metody.....	39
6.2.1	Výsledky Poincarého mapy.....	39
6.2.2	Výsledky Aproximační entropie.....	41
6.2.3	Výsledky Detrended fluctuaction analysis.....	42
6.2.4	Výsledky rekurentní analýzy.....	43
6.3	Spearmanova korelace.....	48
6.3.1	Korelace parametrů nelineárních metod a výkonnostních ukazatelů.....	48
6.3.2	Korelace statistických ukazatelů a výkonnostních ukazatelů.....	49
6.4	Metody klasifikace.....	50
6.4.1	K-means.....	50
6.5	Samoorganizující se mapy.....	52
6.6	Návod měření.....	54
6.6.1	Návod k detekci přeletů.....	54
6.6.2	Návod k výpočtu parametrů a statistických hodnot.....	54
6.6.3	Návod ke klasifikaci dat.....	54
7	Diskuze.....	55
7.1	Naplnění cílů práce.....	55
8	Závěr.....	56
9	Seznam použité literatury.....	57
10	Přílohy.....	60
10.1	Korelace parametrů a ukazatelů.....	60
10.2	Korelace statistických hodnot a ukazatelů.....	83

1 Úvod

Cílem této diplomové práce je návrh metod a implementace algoritmů pro hodnocení fyzického či psychického stavu vojenských specialistů plnících úkoly během směn. Účelem hodnocení fyzického či psychického stavu je identifikovat připravenost subjektu plnit zadání mise, konkrétně monitorovat vzdušnou situaci na území České republiky, případně může sloužit jako nástroj pro výběr vhodných uchazečů pro misi,

Nejprve byla provedena rešerše metod pro hodnocení fyzického a psychického stavu, následně byly navrženy metody pro hodnocení biomedicínských dat a dat ze simulátoru. Navržené metody zpracování dat jsou implementovány ve vývojovém prostředí Matlab. Práce je zaměřena na aplikaci metod lineárních i nelineárních. Metody byly aplikovány pro hodnocení dat měřených během výcviku směn protivzdušné obrany. Naměřená data jsou statisticky hodnocena a doporučeno jejich použití. Součástí práce je návod pro aplikaci navržené metodiky měření a metod zpracování dat.

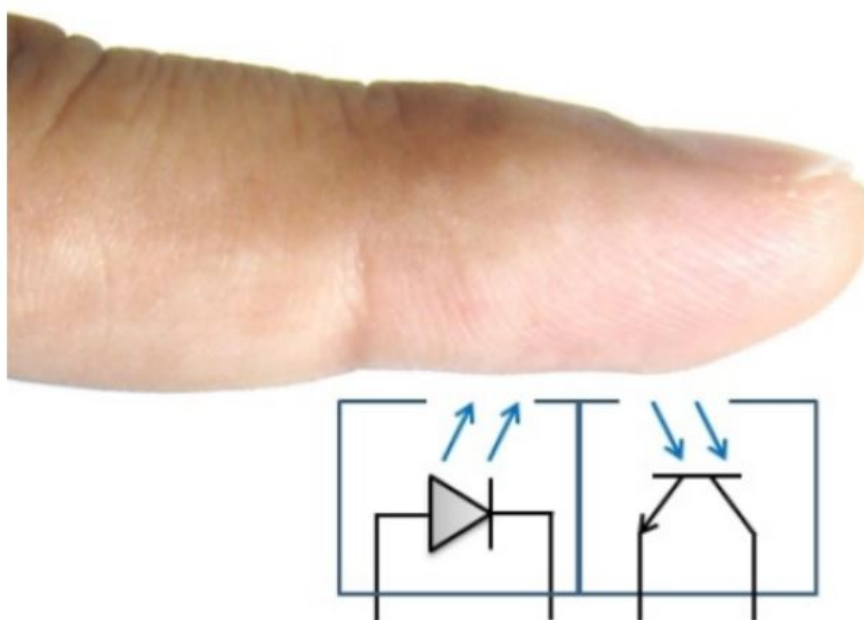
V druhé kapitole je popsáno rozdělení snímačů, ve třetí kapitole rešerše vybraných metod vhodných pro výpočet potřebných parametrů a následně hodnocení fyzického či psychického stavu. Čtvrtá kapitola se pak zabývá návrhem metod. Pátá kapitola jejich aplikací ve vývojové prostředí Matlab a použití metod na reálných datech. Šestá kapitola se zabývá výsledky naimplementovaných metod. Sedmá kapitola diskutuje vypočtené výsledky.

Navržené a implementované metody mohou být základem pro optimalizaci délky a výměny personálu během plnění úkolů v rámci směny, například pro operátory raketových systému, radarových systému i operátoru řídicí letecký provoz.

2 Rozdělení snímačů pro hodnocení fyzického a psychického stavu

2.1 Snímače srdečního tepu a dechu

2.1.1 Fotopletysmografický senzor



Obrázek 1: Odrazová fotopletysmografie, převzato z [1]

Jedna z nejdůležitějších veličin je srdeční tep. Jedním ze způsobu, jak měřit srdeční tep, je fotopletysmografický senzor, který je tvořen svítivou diodou a fotosnímačem. Jedná se o neinvazivní metodu měření, která zaznamenává změny objemu nebo průtoku krve, ke kterému dochází v každém pulsu [1]. Tento způsob měření srdečního tepu je hojně využíván u sportovců, kteří si náramek s fotopletysmografickým senzorem upevní za zápěstí.

2.1.2 Hrudní pás

Pokročilejší a přímější způsob měření srdečního tepu je měření pomocí hrudního pásu. Hrudní pás, vybaven elektrodami, je schopen snímat srdeční elektrickou aktivitu a z ní poté vypočítat srdeční tep [2]. Pro zpřesnění výsledku se používají gely, které zvyšují vodivost.

2.2 Snímače teploty vlhkosti

2.2.1 Elektrické odporové

Tyto snímače využívají závislosti elektrického odporu na teplotě.[3] Vztah popisující závislost je

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \quad , \text{ kde}$$

t je teplota [$^{\circ}\text{C}$]

R_t je odpor při teplotě t [Ω]

R_0 je odpor při teplotě 0°C [Ω]

α je teplotní součinitel odporu [$^{\circ}\text{C}^{-1}$]

Měření teploty odporovými teploměry je kontaktní.

2.2.2 Termografie

Termografie je bezkontaktní metoda měření teploty, která využívá faktu, že všechny objekty o teplotě nad absolutní nulou vyzařují infračervené záření, které je pak možné zobrazit ve viditelném spektru. [4]



Obrázek 2: Termografická metoda, převzato z [5]

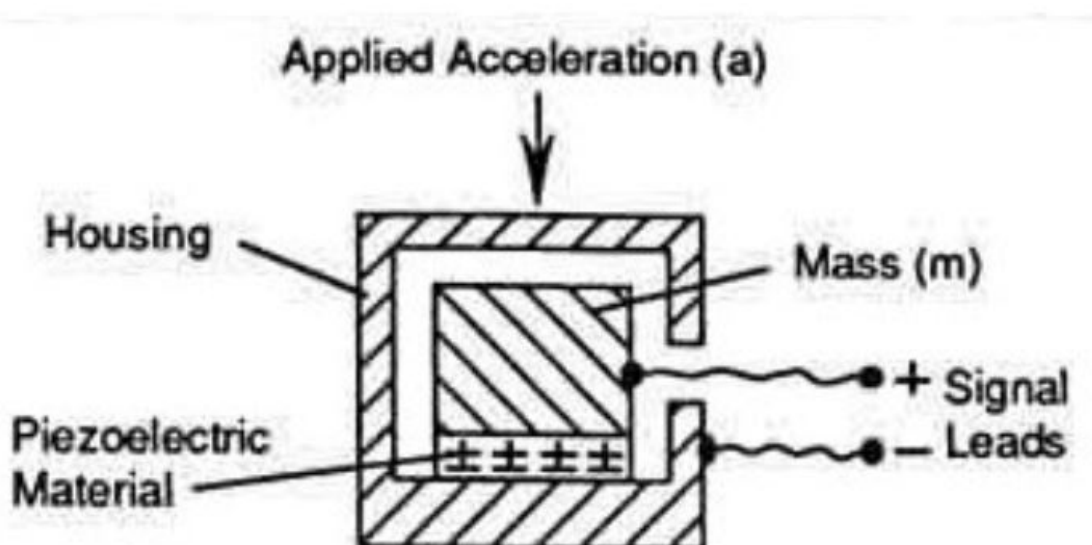
2.3 Snímače akcelerace

Snímače akcelerace se podle [6] dají rozdělit do tří skupin:

- piezoelektrické akcelerometry
- piezoresistivní akcelerometry
- akcelerometry s proměnnou kapacitou

2.3.1 Piezoelektrické akcelerometry

Piezoelektrické akcelerometry využívají piezoelektrický jev. To znamená, že při deformování a mechanickém namáhání materiálu s piezoelektrickými vlastnostmi vzniká náboj. Zde je mechanické namáhání způsobeno akcelerací. Nevýhodou piezoelektrických akcelerometrů je nemožnost měřit konstantní akceleraci. [6]



Obrázek 3: Blokové schéma piezoelektrického akcelerometru, převzato z [6]

2.3.2 Piezoresistivní akcelerometry

Piezoresistivní akcelerometr využívá piezoresistivního jevu, vlivem síly se mění elektrický odpor. Výhodou oproti piezoelektrickým akcelerometrům je schopnost měřit i konstantní akceleraci [7]

2.3.3 Akcelerometry s proměnnou kapacitou

Tyto akcelerometry jsou založeny na proměnné kapacitě, kdy jedna deska (elektroda) je volně pohyblivá a její pohyb závisí na zrychlení. Vzdálenost desek se pak vypočítá podle vztahu [8]

$$C = \varepsilon \frac{S}{l}, \text{ kde}$$

C je kapacita senzoru

S je plocha desek

l je vzdálenost mezi deskami

3 Rešerše současného stavu metod zpracování měřených dat

V této rešerši byly použity odborné články vyhledané službou Google Scholar a internetové stránky, jejichž zdroje byly odborné články.

3.1 Rozdělení metod pro určení parametrů dat

3.1.1 Statistická analýza

Statistická analýza vypočítává základní statistické veličiny, které charakterizují vstupní data, která jsou takto vyhodnocena. Mezi tyto veličiny patří aritmetický průměr, medián, směrodatná odchylka, absolutní odchylka, kvantil, atd.

Aritmetický průměr

Aritmetický průměr je součet vzorku vydělený jejich počtem:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Směrodatná odchylka

Směrodatná odchylka, značena σ , vyjadřuje proměnlivost dat, druhá mocnina směrodatné odchylky je rozptyl, značen σ^2 , který se vypočítá podle následujícího vztahu

$$\sigma^2 = E(X^2) - E(X)^2$$

3.1.2 Korelace

Spearmanův korelační koeficient je hodnota, která udává závislost statistických dat. Oproti Pearsonu korelačním koeficientu je Spearmanův korelační koeficient vhodný k hodnocení nelineární závislosti.

$$r_{sp} = 1 - \frac{6 \sum_i (x_i - y_i)^2}{n(n^2 - 1)}$$

3.1.3 Výpočet zpoždění a dimenze

Mnoho nelineárních metod analýzy vyžaduje, aby data byla vyjádřena ve fázovém prostoru. Z toho důvodu je nutné časovou řadu před analyzováním převést do fázového prostoru a vhodnými algoritmy vypočítat zpoždění τ a dimenzi fázového prostoru m . Podle [Klikové] se nejprve vytvoří vektory, což jsou body fázového prostoru:

$$\begin{aligned} X(1) &= [x(1), x(1+\tau), x(1+2\tau), \dots, x(1+(m-1)\tau)] \\ X(2) &= [x(2), x(2+\tau), x(2+2\tau), \dots, x(2+(m-1)\tau)] \\ X(3) &= [x(3), x(3+\tau), x(3+2\tau), \dots, x(3+(m-1)\tau)] \\ &\vdots \\ X(i) &= [x(i), x(i+\tau), x(i+2\tau), \dots, x(i+(m-1)\tau)] \end{aligned}$$

kde i označuje číslo prvku časové řady/číslo bodu a nabývá hodnot od 1 do $N-(m-1)\tau$, N = počet prvků časové řady. [9]

Časové zpoždění

Časové zpoždění se dle [9] vypočte ze vzájemné informace I , kde časové zpoždění je první lokální minimum:

$$I(\tau) = \sum P(x(i), x(i+\tau)) \log_2 \left(\frac{P(x(i), x(i+\tau))}{P(x(i))P(x(i+\tau))} \right), \text{ kde}$$

x je časová řada

τ je časové zpoždění

P je pravděpodobnost výskytu

Dimenze fázového prostoru

Dimenze fázového prostoru se zjistí algoritmem nejbližších falešných sousedů, jehož princip spočívá v nalezení falešných překřížení trajektorie ve fázovém prostoru, která jsou typická v případě, že dimenze fázového prostoru je nízká. K zjištění, kde má trajektorie falešné sousedy se spočítá parametr R :

$$R(i) = \frac{|x(i+m\tau) - x^{NN}(i+m\tau)|}{\|X_m(i) - X_m^{NN}(i)\|} \quad [9]$$

Pokud $R(i) > R_T$, tak byl falešný soused detekován. Doporučené hodnoty R_T jsou podle [Klikové] mezi 10 a 15 včetně.

Další kritérium nalezení falešného souseda je:

$$A_T \leq \frac{|x(i+m\tau) - x^{NN}(i+m\tau)|}{R_A} \quad [9]$$

$$\text{kde } R_A^2 = \frac{\sum (x(i) - \bar{x})^2}{N}, \quad \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i)$$

Doporučená hodnota A_T je 2.

3.1.4 Poincarého mapa

Princip Poincarého mapy spočívá ve sledování změny RR intervalů v čase. RR interval je funkcí předchozího RR intervalu. Každý bod je tedy popsán souřadnicemi $(RR_{i,n}, RR_{i,n+1})$, kde $RR_{i,n}$ značí vzorek RR intervalu a $RR_{i,n+1}$ značí následující vzorek. Z tohoto grafu se pak vypočtou směrodatné odchylky na ose $RR_{i,n+1} = RR_{i,n}$ (odchylka je značena jako SD2) a její kolmici (odchylka je značena jako SD1). Podle [10] odchylka SD1 souvisí s rychlou beat-to-beat variabilitou a SD2 s dlouhodobější variabilitou. Odchylky se spočítají jako

$$SD1 = \sqrt{\frac{1}{2} \sigma^2 (X - Y)} \quad [10]$$

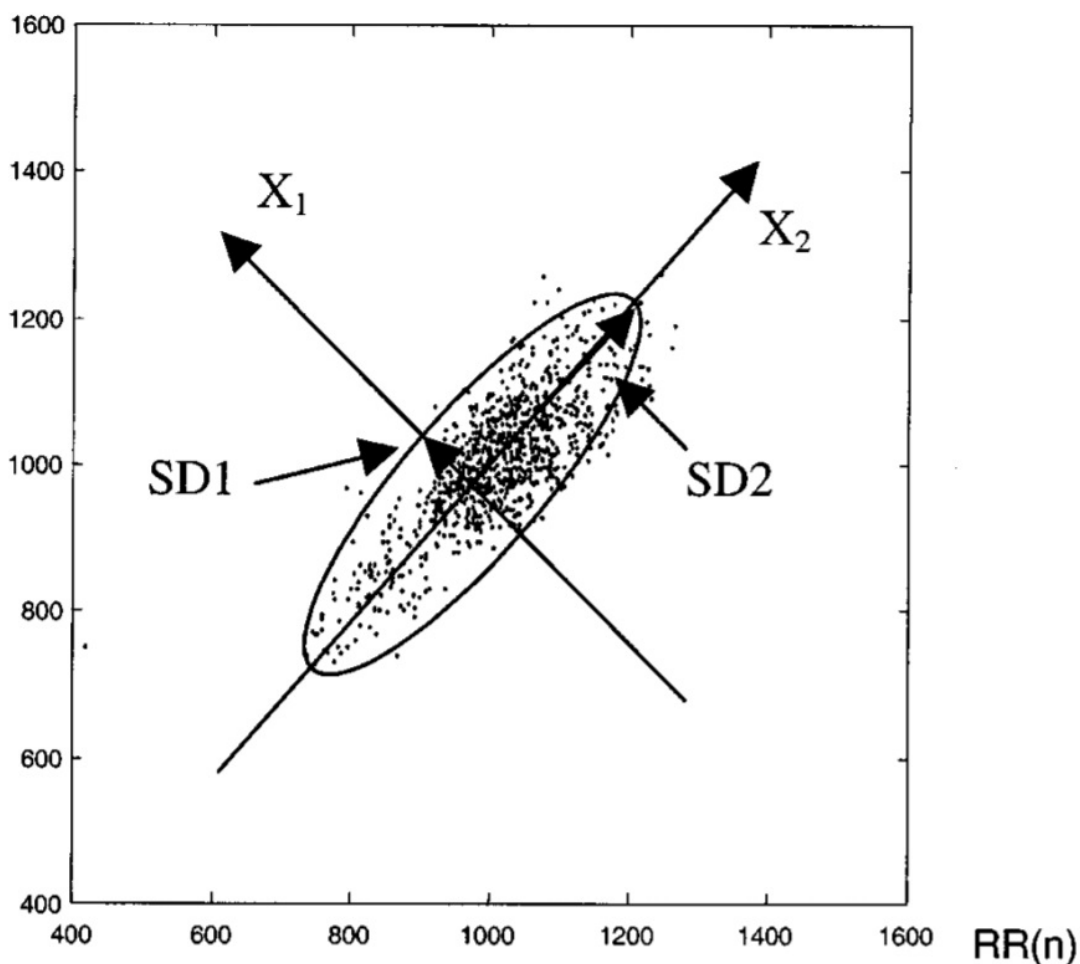
$$SD2 = \sqrt{\frac{1}{2} \sigma^2 (X + Y)} \quad [10]$$

kde X je časová řada,

Y je posunutá časová řada ve smyslu $Y(i) = X(i-1)$

σ^2 je rozptyl

RR(n+1)



Obrázek 4: Poincarova mapa s odchylkami SD1 a SD2, převzato z [10]

3.1.5 Aproximační entropie

Aproximační entropie je metoda vyvinuta Stephenem Pincusem, která zjišťuje pravidelnost změřených hodnot v čase [11]. Vstupními parametry, které tato metoda vyžaduje, je dimenze m , parametr tolerance r s doporučenou hodnotou 0,1 až 0,2 násobek směrodatné odchylky časové řady a časové zpoždění.

Aproximační entropie vyžaduje fázový prostor časové řady, ke konstrukci fázového prostoru slouží dimenze a časové zpoždění. Poté se pro vektor z fázového prostoru vypočte parametr C podle vztahu:

$$C_i^m = \frac{D(i, j)}{N - m + 1} \quad [11][13]$$

kde D je počet maximálních absolutních diferencí mezi prvky vektorů, které odpovídají toleranci $d[X_i, X_j] \leq r$

Díky tomuto parametru se pak vypočte index Φ :

$$\phi^m(r) = \frac{1}{N - m + 1} \sum_{i=1}^{N-m+1} \ln C_i^m(r) \quad [11][13]$$

Nakonec se spočte aproximační entropie:

$$ApEn(m, r) = \phi^m(r) - \phi^{m+1}(r)$$

kde vstupem je dimenze m a tolerance r [11][13]

3.1.6 Detrended fluctuation analysis

Tato metoda zkoumá korelaci v rámci signálu [13]. Algoritmus se skládá z několika kroků, prvním krokem je vypočtení y

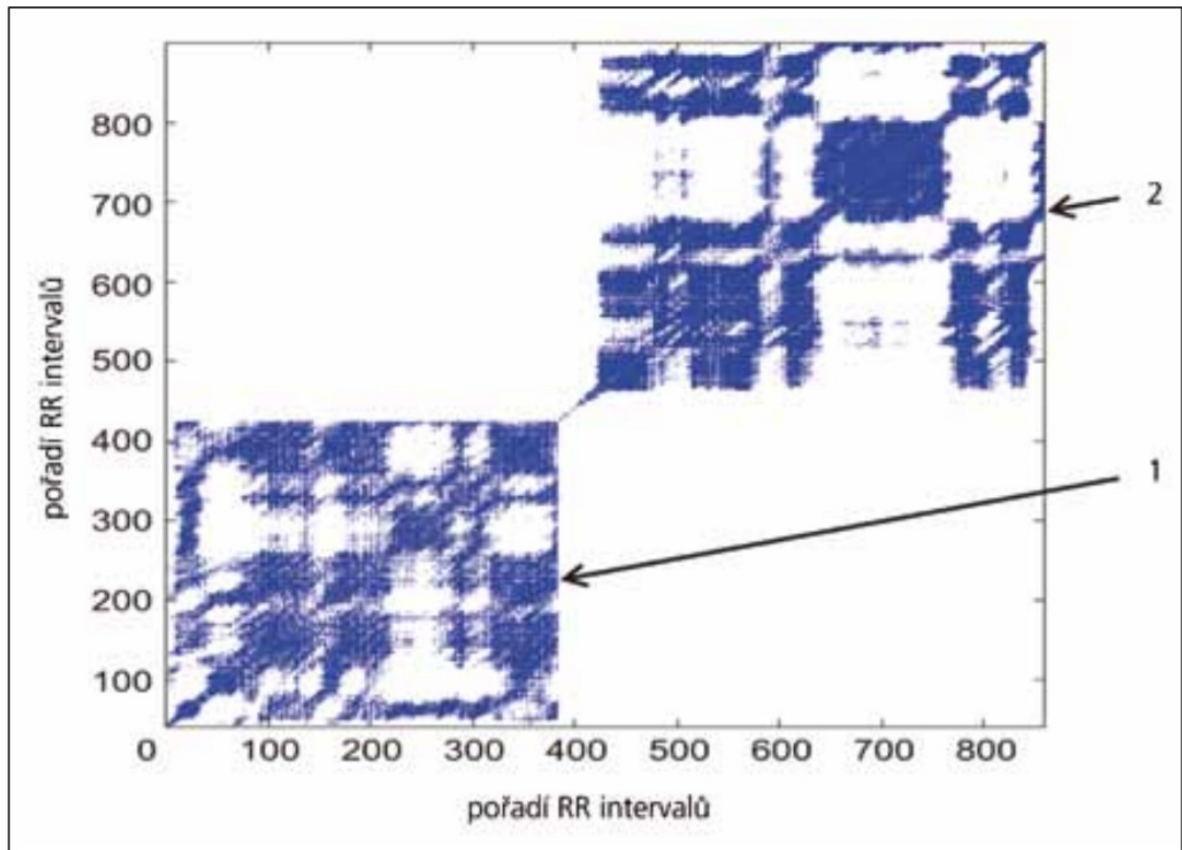
$$y(k) = \sum_{j=1}^k (RR_j - \overline{RR}) \quad , \text{ kde } k=1, \dots, N$$

Parametr y se poté rozdělí na segmenty délky n , které představují lokální trendy[13]. Tyto lokální trendy jsou označeny jako $y_n(k)$. Tato hodnota je klíčková pro výpočet fluktuace:

$$F(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y(k) - y_n(k))^2} \quad [13]$$

3.1.7 Rekurentní analýza

Rekurentní analýza (RQA) je metoda, která sleduje vlastnosti rekurentního diagramu. Rekurentní diagram obsahuje binární hodnoty, kde rekurentní bod je označen „1“ a nerekurentní bod „0“. Rekurentní bod vznikne, pokud vzdálenost mezi dvěma stavy je menší, než mezní (prahová) vzdálenost.[13]



Obrázek 5: Rekurentní diagram, převzato z [12]

Parametry získané rekurentní analýzou

- Poměr rekurence
- Determinismus
- Průměrná délka diagonální čáry
- Entropie

Poměr rekurence

Poměr rekurence vyjadřuje množství (hustotu) rekurentních bodů v rekurentním diagramu. Principiálně je to součet rekurentních bodů vydělený rekurentními i nerekurentními body v diagramu [13][14]

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

kde $M(i, j)$ je rekurentní bod v rekurentním diagramu M

Determinismus

Determinismus udává poměr bodů, které tvoří diagonální čáry v diagramu [13][14]

$$DET = \frac{\sum_{l=2}^{l_{max}} l N_l}{\sum_{i,j=1}^N M(i, j)}$$

Entropie

Shannonova entropie vyjadřuje entropii rozdělení délek diagonálních čar [12][13][14]

$$ENT = \sum_{l=l_{min}}^{l_{max}} n_l \ln n_l$$

Průměrná délka diagonální čáry

Průměrná délka diagonální čáry je vyjádřena vztahem [13][14]

$$L = \frac{\sum_{l=2}^{l_{max}} l N_l}{\sum_{l=2}^{l_{max}} N_l}$$

3.1.8 Lyapunovův exponent

Lyapunovovy exponenty charakterizují citlivost systému na počáteční podmínky. Každý systém má Lyapunovových exponentů více, ale nejdůležitějším je ten nejvyšší. Pokud nejvyšší Lyapunovův exponent je kladný, pak je systém citlivý na počáteční podmínky a trajektorie ve fázovém prostoru (prostor stavů) divergují. V případě, že nejvyšší Lyapunovův exponent je záporný, pak trajektorie ve fázovém prostoru konvergují.[15]

Způsobů, jak numericky vypočítat Lyapunovův exponent, je mnoho. Jedna z nich je uvedena v [15] a v [16]. Nejprve je nutné zrekonstruovat fázový prostor a pro bod ve fázovém prostoru najít jeho souseda, pro kterého platí

$$\|X_{near} - X_i\| = \min(\|X_j - X_i\|)$$

přičemž platí podmínka

$$(d-1)\tau < |j-i| < R(d-1)\tau, \text{ kde}$$

$$R \quad 1 < R < 10$$

d je dimenze fázového prostoru

τ je zpoždění

i, j jsou indexy

X a X_{near} jsou vektory fázového prostoru

Po nalezení souseda je pak možné vypočítat Lyapunovův exponent

$$\lambda(i) = \frac{1}{jh\delta t} \log \frac{\|X_{near+jh} - X_{i+jh}\|}{\|X_{near} - X_i\|}$$

což je rovno

$$\lambda(i) = \max_h \left\{ \frac{1}{h\Delta t} \log \frac{\|X_{near+h} - X_{i+h}\|}{\|X_{near} - X_i\|} \right\}$$

kde Δt je vzorkovací perioda řady

h se nachází v intervalu $1 < h < (d-1)\tau$

Výsledná hodnota Lyapunova exponentu se vypočte dle

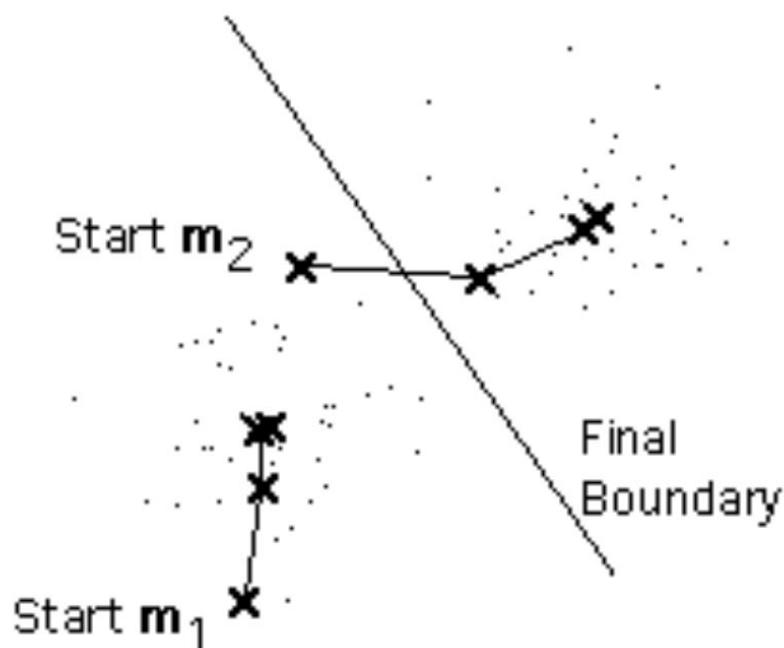
$$\lambda = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \lambda(i)$$

3.2 Rozdělení metod klasifikace

3.2.1 K-means

K-means je algoritmus, který se používá ve shlukové analýze při klasifikaci bez trénovací množiny dat. Základním cílem je nalézt k centroidů v prostoru objektů, kde jeden centroid odpovídá jednomu shluku. Algoritmus umístění centroidů je následující [17]:

1. Do prostoru objektů se náhodně umístí počáteční centroidy
2. Každý objekt se přiřadí ke skupině, jehož centroid je objektu nejbližší
3. Pozice centroidů se přepočte zprůměrováním objektů ve skupině centroidu
4. Dokud se pozice centroidů mění, opakují se kroky 2 a 3



Obrázek 6: Postupný pohyb centroidů do středu shluků [18]

Tento algoritmus je citlivý na počáteční pozice centroidů a nemusí vždy spolehlivě najít globální maximum. Tento jev lze zmenšit opakovaným spuštěním algoritmu. [17]

3.2.2 Samoorganizující se mapy

Samoorganizující se mapy jsou kompetitivní neuronové sítě [18], které jsou schopny se učit bez učitele (unsupervised learning), k učení tedy jsou vyžadována pouze reálná data, která mají společnou či odlišnou vlastnost [19].

Neurony představují mapové jednotky, které tvoří obvykle dvourozměrnou mřížku obdélníkové, nebo hexagonální topologie. Každý neuron obsahuje vektor koeficientů, které jsou označovány jako váhy[19].

Celý algoritmus začíná inicializací náhodných vah, poté začíná iterace, kdy pro každý prvek vstupních dat vybrán nejbližší neuron, který je označen jako vítězný, Váhy vítězného neuronu se poté upraví podle vztahu[19]

$$W_{i_{new}} = W_{i_{old}} + \alpha (x - W_{i_{old}}) \quad , \text{ kde}$$

W_i je vektor vah i -tého neuronu

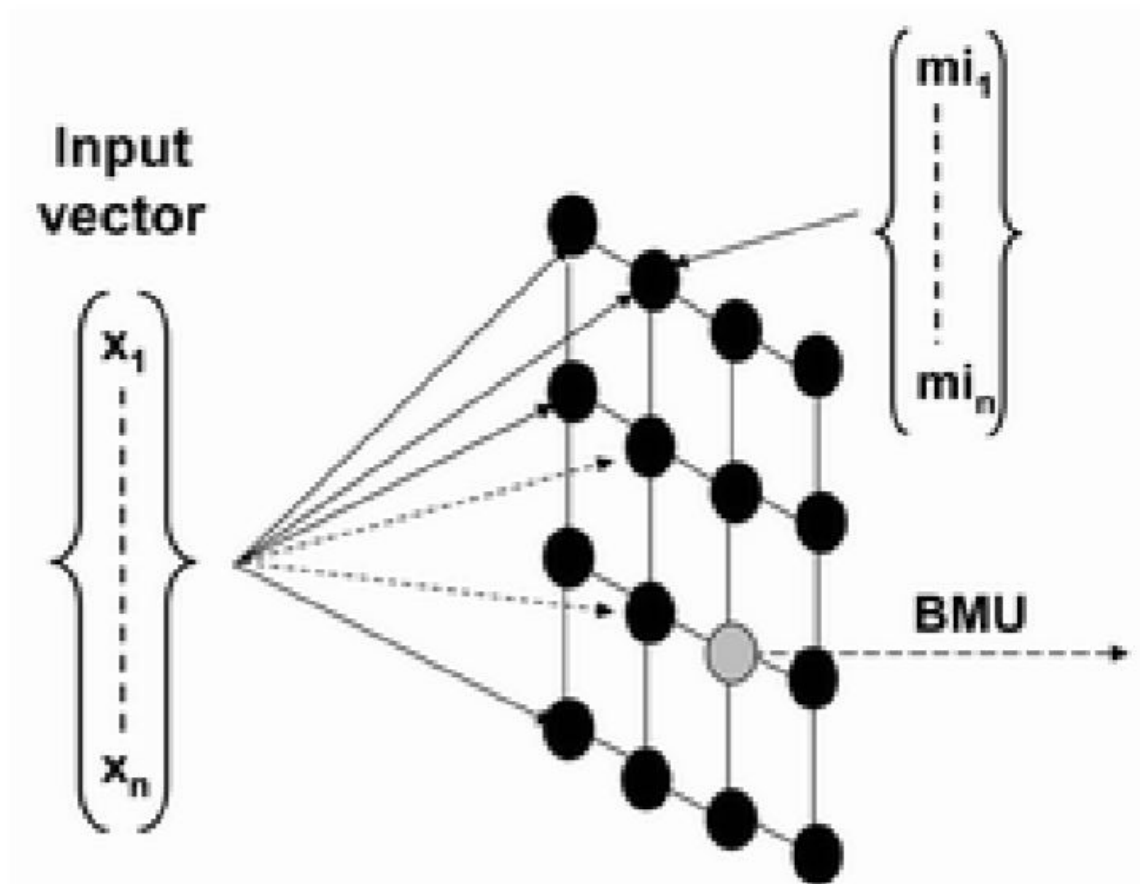
x je vstupní vektor

α je koeficient učení (může nabývat hodnot 0 – 1)

Spolu s vítězným neuronem se mění váhy [19] i sousedních neuronů v okolí R podle vztahu

$$W_{i_{new}} = W_{i_{old}} + \beta (x - W_{i_{old}}) \quad , \text{ kde}$$

β je koeficient učení sousedních neuronů a platí $\beta > \alpha$ [19]



Obrázek 7: Struktura SOM, BMU je vítězný neuron, vstupní vektor s hodnotami x a váhový vektor s hodnotami m . Převzato z [19]

3.3 Závěr kapitoly

3.3.1 Metody pro získání parametrů

Metoda	Vstup	Získané parametry	Zdroje
Poincarého mapa	Časová řada	SD1 SD2	[10] [13]
Aproximační entropie	Časová řada Dimenze vnoření Zpoždění	ApEn (entropie)	[13] [11]
DFA	Časová řada Dimenze vnoření Zpoždění	Alfa	[13][20][21]
Rekurentní analýza	Časová řada Dimenze vnoření Zpoždění	Poměr rekurence Determinismus Entropie Lmax	[12] [14] [13]
Lyapunovův exponent	Časová řada Dimenze vnoření Zpoždění	Nejvyšší Lyapunovův exponent	[15] [16]

3.3.2 Metody pro klasifikaci dat

Metoda	Zdroje
K-Means	[17]
Samoorganizační mapy	[18][19]

4 Návrh metod

Data byla pořízena na čtyřech subjektech, na kterých byly měřeny tyto veličiny

- Tepová frekvence
- interval RR
- teplota pokožky
- vlhkost pokožky
- akcelerace v osách x , y a z
- dech

Naměřená data byla rozdělena na stejně velké segmenty, na které poté byly aplikovány navržené metody. Počet segmentů a jejich doba byla rozdělena na tři skupiny

- 48 segmentů po 5 minutách
- 4 segmenty po 60 minutách
- 1 segment po 240 minutách

Dále dalšími daty byly zápisy subjektů, kde každý subjekt zapisoval přílety a odlety přes hranici České republiky.

Třetím zdrojem dat byl videozáznam radaru zobrazující letecký provoz na území České republiky.

4.1 Návrh metody statistického hodnocení

Ke statistickému zhodnocení byly vybrány parametry a veličiny dle tabulky

Veličina	Parametr	Popis parametru
Vlhkost	Průměr	Průměrná hodnota
	Medián	Medián
	SD	Směrodatná odchylka
Teplota	Průměr	Průměrná hodnota
	Medián	Medián
	SD	Směrodatná odchylka
Breath	Průměr	Průměrná hodnota
	Medián	Medián
	SD	Směrodatná odchylka
Srdeční pulz (HR)	Průměr	Průměrná hodnota
	Medián	Medián
	SD	Směrodatná odchylka
Akcelerace	Průměr	Průměrná hodnota
	Medián	Medián
	SD	Směrodatná odchylka

4.2 Návrh metody nelineárního hodnocení

Pro účely hodnocení zdravotního stavu vojenských specialistů byly vybrány metody:

- Poincarého mapa
- Aproximační entropie
- Detrended fluctuaction analysis
- Rekurentní analýza
- Lyapunovův exponent

Zvolené parametry těchto metod jsou zobrazeny v tabulce níže

Metoda	Parametr	Popis parametru
Poincarého mapa	SD1	Směrodatná odchylka kolmice k přímce identity
	SD2	Směrodatná odchylka přímky Identity
Aproximační entropie (ApEn)	ENT	Entropie
Rekurentní analýza	RR	Poměr rekurence
	DET	Determinismus
	ENT	Entropie
	L	Laminarita
Lyapunovův exponent	LLE	Nejvyšší Lyapunovův exponent
Detrended fluctuaction analysis	Alfa	

Tyto metody byly použity pro všechny naměřené veličiny veličiny.

4.3 Návrh metody hodnocení korelace dat

Byl vybrán Spearmanův korelační koeficient, který byl použit k vypočtení korelace mezi parametry metod a ukazateli a také korelace mezi statistickými parametry a ukazateli. Korelace byly počítány pro segmenty o délce 5 minut i pro segmenty o délce 60 minut.

4.4 Návrh metod klasifikátorů

Byly vybrány dva klasifikátory. Samoorganizující se mapy a k-means. Oba byly implementovány, aby klasifikovaly data na dvě třídy (shluky).

5 Aplikace navržených metod

Všechny metody i statistická vyhodnocení byly implementovány v programovém prostředí Matlab a testovány v MATLAB R2016b.

5.1 Záznam dat a detekce přeletů

V rámci diplomové práce byl napsán algoritmus, který detekoval přelety přes území České republiky. Vstupní parametry jsou:

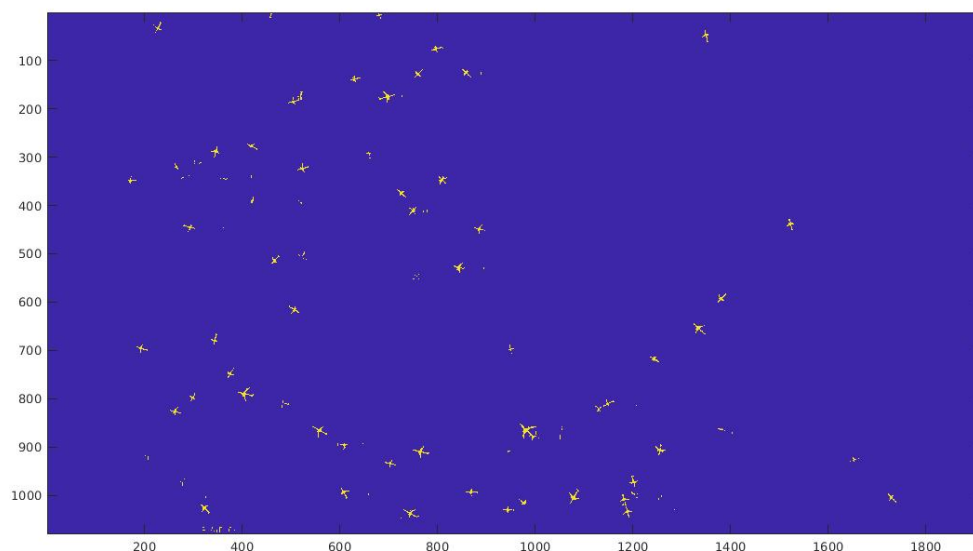
- video ve formátu .avi
- časový krok, po kterém se z videa načte snímek (obrázek)
- sčítací časový krok, po kterém se sečtou zaznamenané přelety
- seznam souřadnic státní hranice

Na začátku algoritmu se z videa načte požadovaný snímek, který je uložen do proměnné jako 2D matice, kde každý prvek matice obsahuje tři barevné hodnoty (červená, zelená a modrá).



Obrázek 8: Vstupní snímek z videa

Filtrací jednotlivých složek barev (červená nabývá hodnoty 200 a vyšší a zároveň modré hodnoty 150 a menší) se získá dvoustavová matice, kde hodnotou jedna jsou označeny prvky, které splňují podmínku a hodnotou nula prvky, které podmínku nesplňují.

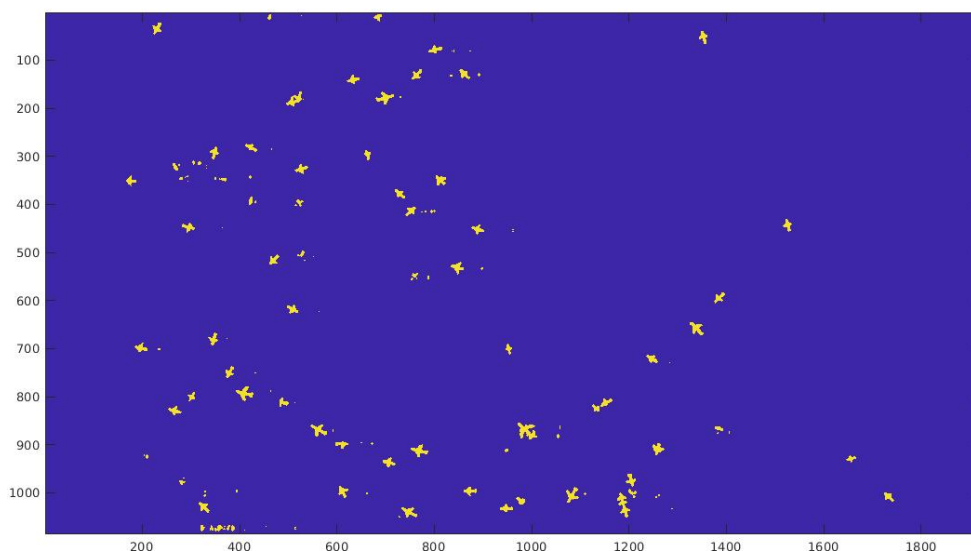


Obrázek 9: Nalezené pixely vyhovující podmínce

Po filtraci ovšem nebylo zachyceno celé letadlo, ale jen několik oddělených částí, což by zkomplikovalo detekci letadel, protože každá oddělená část by byla detekována jako jedno letadlo. Z toho důvodu je nutné provést konvoluci snímku

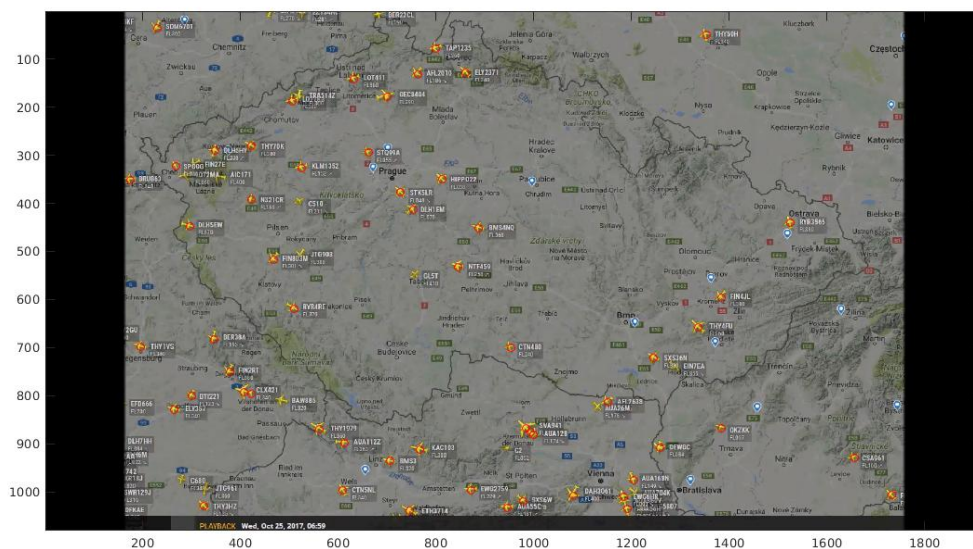
$$C_1 = \frac{1}{64} \begin{vmatrix} 1 & 2 & 4 & 8 & 4 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 8 & 16 & 8 & 4 & 2 \\ 4 & 8 & 16 & 32 & 16 & 8 & 4 \\ 8 & 16 & 32 & 64 & 32 & 16 & 8 \\ 4 & 8 & 16 & 32 & 16 & 8 & 4 \\ 2 & 4 & 8 & 16 & 8 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 4 & 8 & 4 & 2 & 1 \end{vmatrix}$$

Filtrací a následnou konvolucí vznikly na snímku i falešné detekce malých shluků pixelů, které byly odstraněny další konvolucí, způsobem, že pixely s nižší hodnotou, než byla prahová, byly vyloučeny.



Obrázek 10: Snímek letadel po konvoluci C1

Z výsledného snímku byly poté vybrány souvislé celky, kde u každého byl vybrán aritmetickým průměrem střed a orientace, která se vyhodnocovala z poloh letadel z minulého snímku. Přelet se pak detekuje v případě, že letadlo je poblíž hranice a zároveň jeho orientace směřuje k hranici (pomyslná úsečka ve směru orientace protíná hranici)



Obrázek 11: Nalezená letadla na snímku podle algoritmu

5.2 Statistická analýza dat

Statistická analýza byla provedena na všech naměřených veličinách u všech subjektů. Počítaly se tyto statistické hodnoty:

- aritmetický průměr – funkcí „mean“

Vstupem funkce „mean“ byl vektor hodnot, výstup je vypočten podle vztahu

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_i$$

kde N je počet prvků ve vektoru, i je index, A_i je prvek na indexu i a μ je vypočtený aritmetický průměr

- medián – funkcí „median“
- směrodatná odchylka – funkcí „std“

Výpočet byl proveden na datech po pětiminutových, hodinových a čtyřhodinových segmentech.

5.3 Nelineární metody

5.3.1 Poincarého mapa

Byl napsána funkce „poincare“, která vypočítá odchylky SD1 a SD2.

Samotná Poincarého mapa se pak vytvořila funkcí „plot“, kde na ose x byla řada X a na ose y řada Y .

5.3.2 Aproximační entropie

Základem metody je funkce „ApEn“, která byla převzata z

[\[https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/32427-fast-approximate-entropy\]](https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/32427-fast-approximate-entropy)

Tato funkce má tyto vstupy: dimenze, tolerance a vstupní data. Tolerance r byla zvolena $r = 0.2\sigma$ a dimenze $m = 2$ podle doporučení [11]. Průběh algoritmu byl zkontrolován podle [13] a [11].

5.3.3 Detrended fluctuaction analysis

K aplikaci metody Detrended fluctuaction analysis byla použita funkce z

[\[https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/19795-detrended-fluctuation-analysis\]](https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/19795-detrended-fluctuation-analysis).

5.3.4 Rekurentní analýza

Metoda byla aplikována pomocí funkcí Recu_RQA a Rpplot_FAN [

<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/46765-recurrence-quantification-analysis--rqa-?focused=3821666&tab=function>]

5.3.5 Lyapunovův exponent

Funkce byla vytvořena podle popisu algoritmu v [15]. Nejprve byla vypočtena dimenze a zpoždění, které byly spolu s daty a vzorkovací frekvencí vstupem algoritmu.

Výstupem funkce je nejvyšší Lyapunovův exponent.

5.3.6 Spearmanova korelace

Spearmanova korelace byla aplikována pomocí funkce „corr“, kde parametry jsou dva vektory, mezi kterými se počítá korelace a následně upřesnění typu korelace, v našem případě byla zvolena Spearmanova. [<https://www.mathworks.com/help/stats/corr.html>]

6 Výsledky implementací

6.1 Statistické vyhodnocení

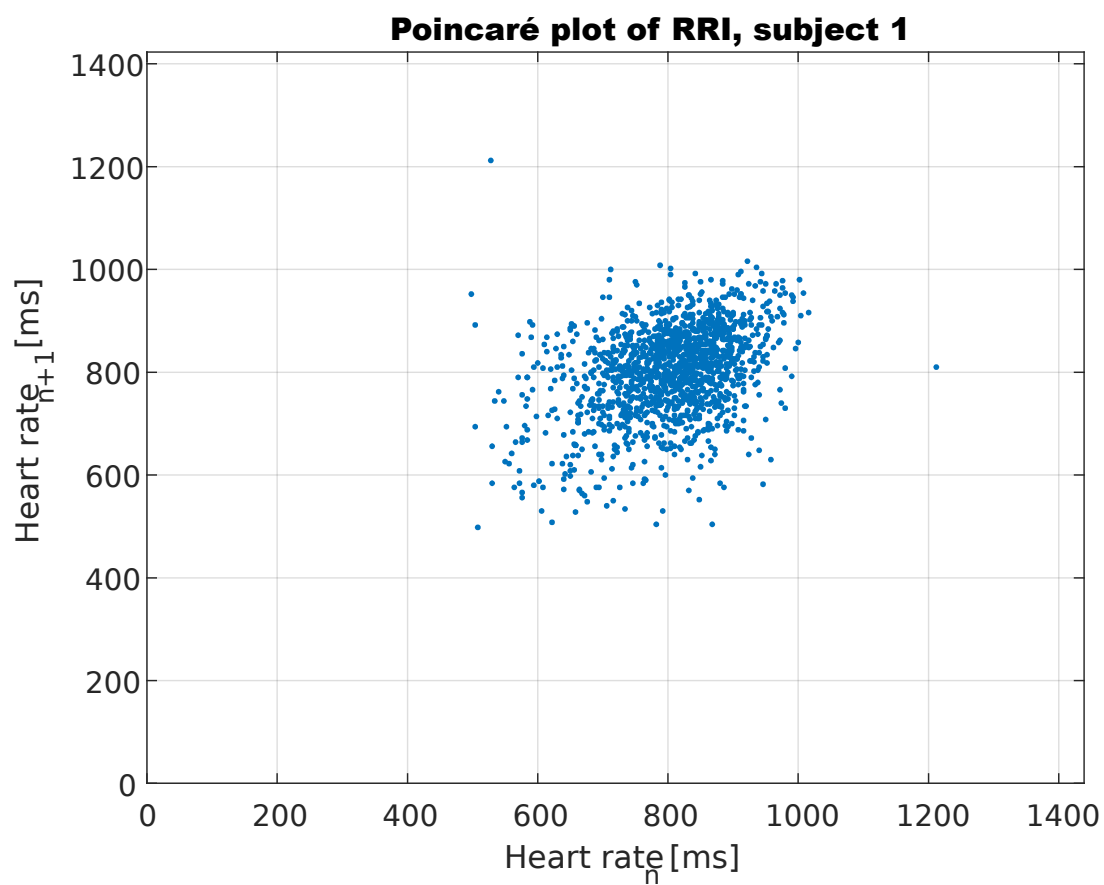
Statistické parametry jsou zobrazeny v tabulce

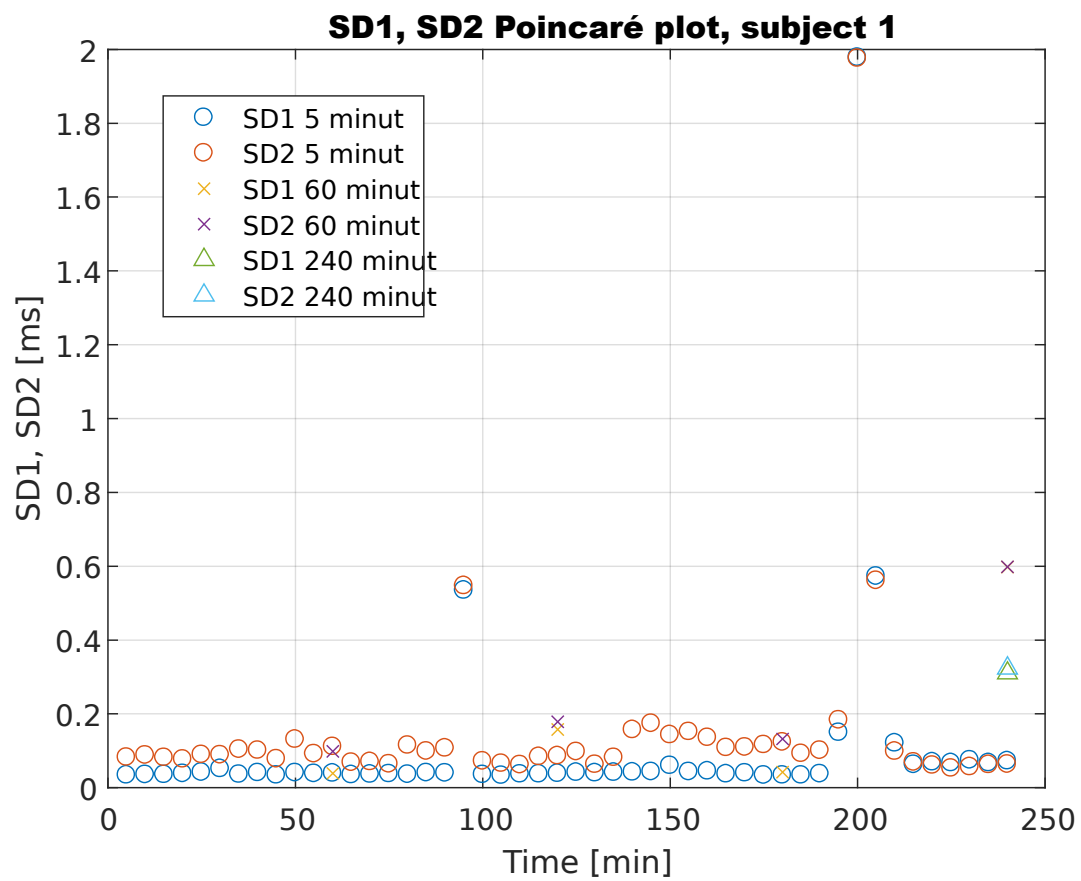
Konec segmentu [min]	5	10	15	20	25	30	35	40
RRI Mean [ms]	751,90	766,94	789,02	810,42	792,81	798,75	788,94	805,29
RRI Median [ms]	751,90	766,94	789,02	810,42	792,81	798,75	788,94	805,29
RRI Std [ms]	64,68	67,79	62,98	61,16	72,63	70,96	77,90	76,09
Konec segmentu [min]	45	50	55	60	65	70	75	80
RRI Mean [ms]	801,24	787,39	816,90	808,83	831,02	826,03	837,45	775,88
RRI Median [ms]	801,24	787,39	816,90	808,83	831,02	826,03	837,45	775,88
RRI Std [ms]	61,15	97,13	75,96	83,78	53,57	56,46	52,51	85,17
Konec segmentu [min]	85	90	95	100	105	110	115	120
RRI Mean [ms]	801,19	789,74	818,57	836,82	836,02	832,84	805,26	815,37
RRI Median [ms]	801,19	789,74	818,57	836,82	836,02	832,84	805,26	815,37
RRI Std [ms]	75,22	80,41	512,34	56,80	51,79	51,41	64,49	67,13
Konec segmentu [min]	125	130	135	140	145	150	155	160
RRI Mean [ms]	852,94	855,55	849,84	797,55	837,83	822,30	845,93	825,35
RRI Median [ms]	852,94	855,55	849,84	797,55	837,83	822,30	845,93	825,35
RRI Std [ms]	74,57	52,96	65,70	116,07	127,49	107,24	111,89	100,83
Konec segmentu [min]	165	170	175	180	185	190	195	200
RRI Mean [ms]	831,38	855,59	795,50	755,36	767,24	819,06	759,39	792,51
RRI Median [ms]	831,38	855,59	795,50	755,36	767,24	819,06	759,39	792,51
RRI Std [ms]	80,18	81,42	86,23	89,72	69,44	75,87	328,64	1581,42
Konec segmentu [min]	205	210	215	220	225	230	235	240
RRI Mean [ms]	766,47	744,42	777,47	763,13	802,15	795,11	795,12	764,63
RRI Median [ms]	766,47	744,42	777,47	763,13	802,15	795,11	795,12	764,63
RRI Std [ms]	408,11	444,35	66,17	65,19	60,44	66,38	65,92	67,96

Tabulka 1: Statistické hodnoty pro RRI intervaly v pětiminutových segmentech pro subjekt 1

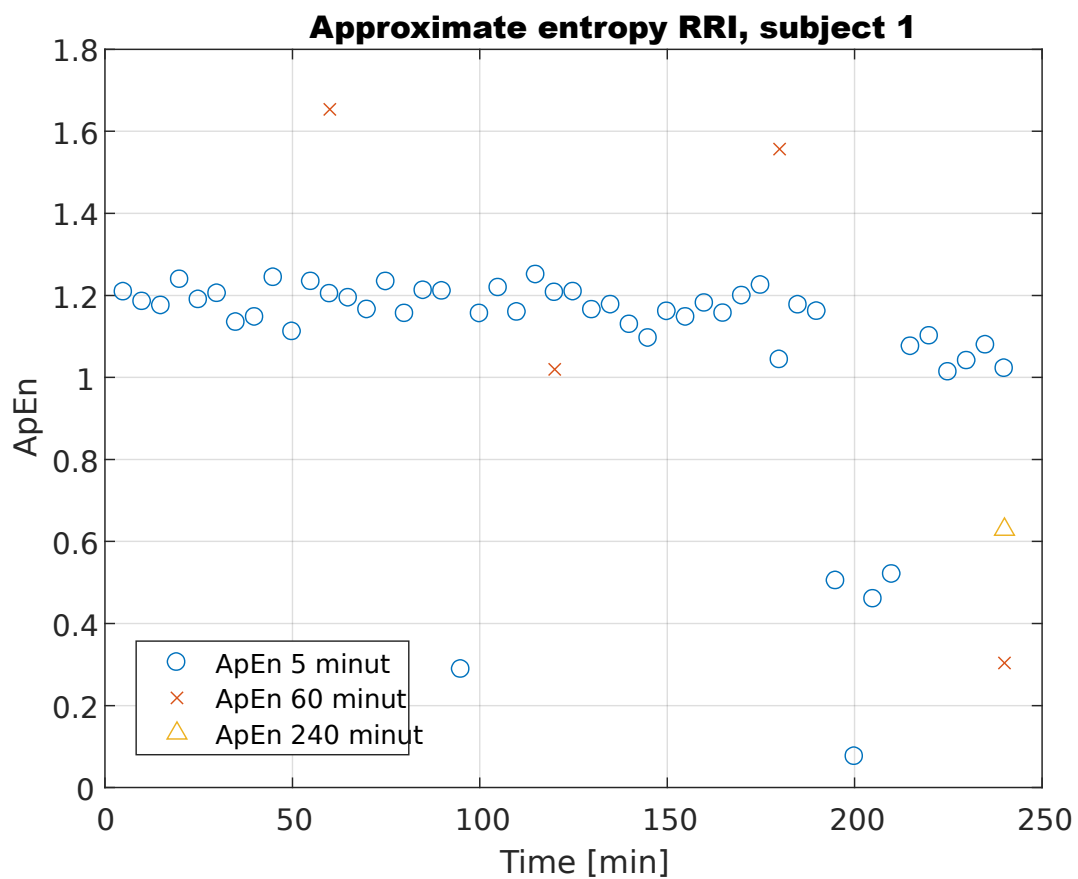
6.2 Nelineární metody

6.2.1 Výsledky Poincarého mapy

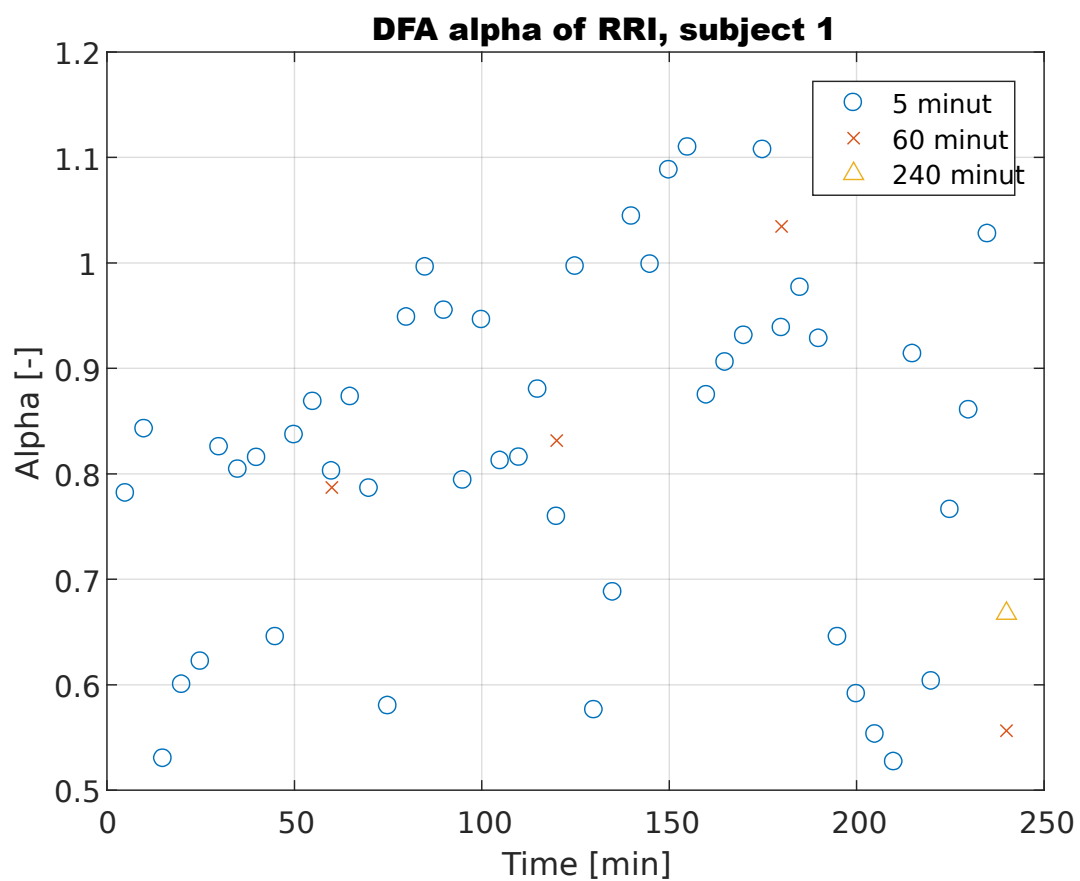




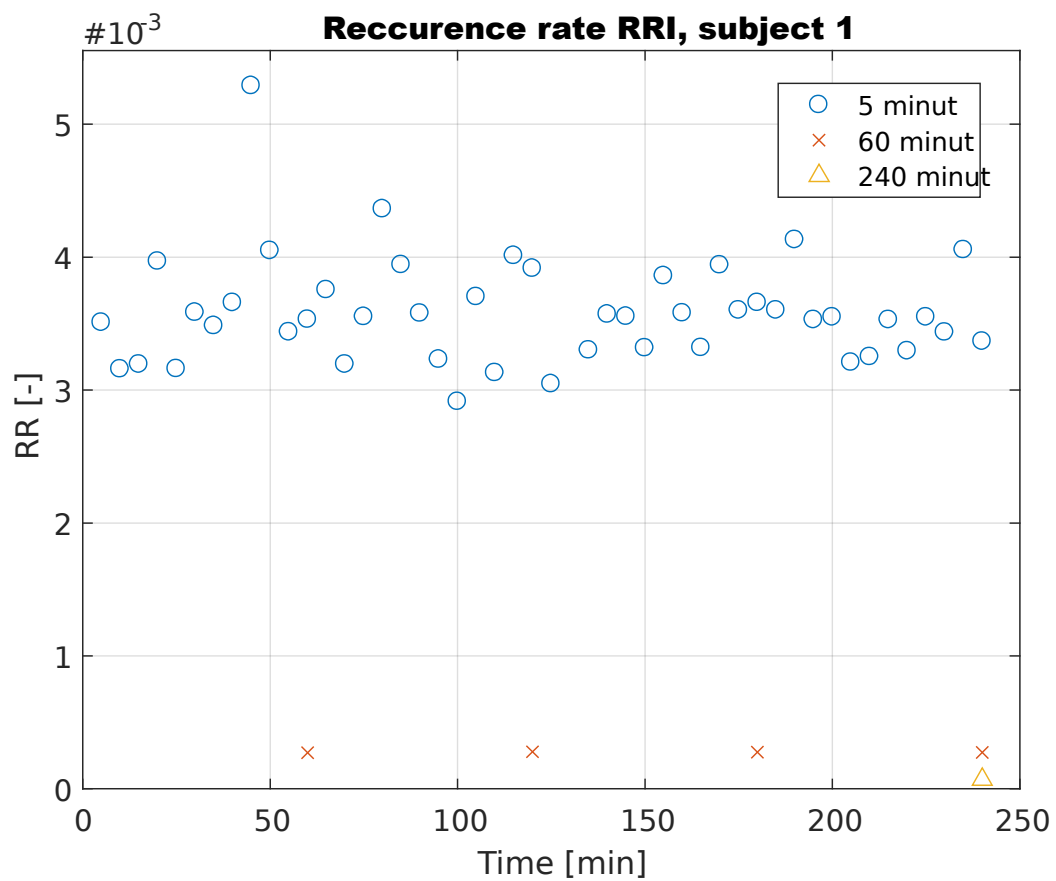
6.2.2 Výsledky Aproximační entropie

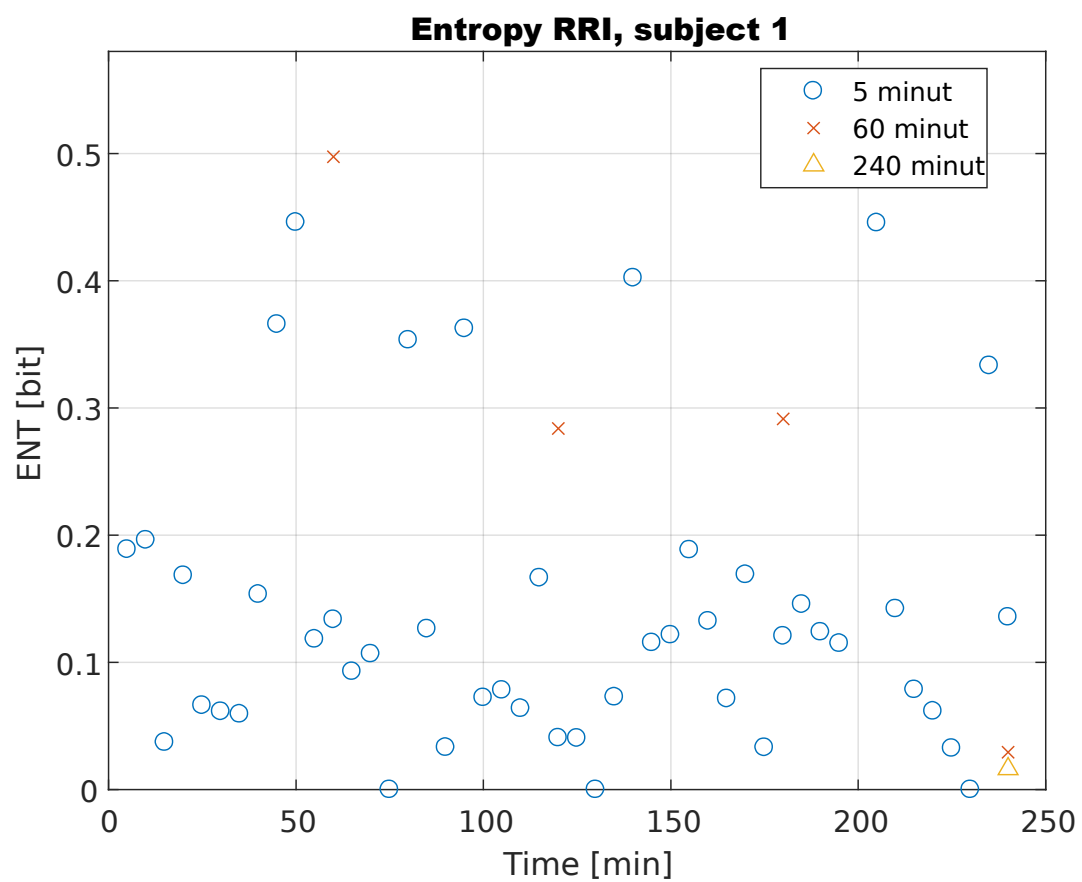


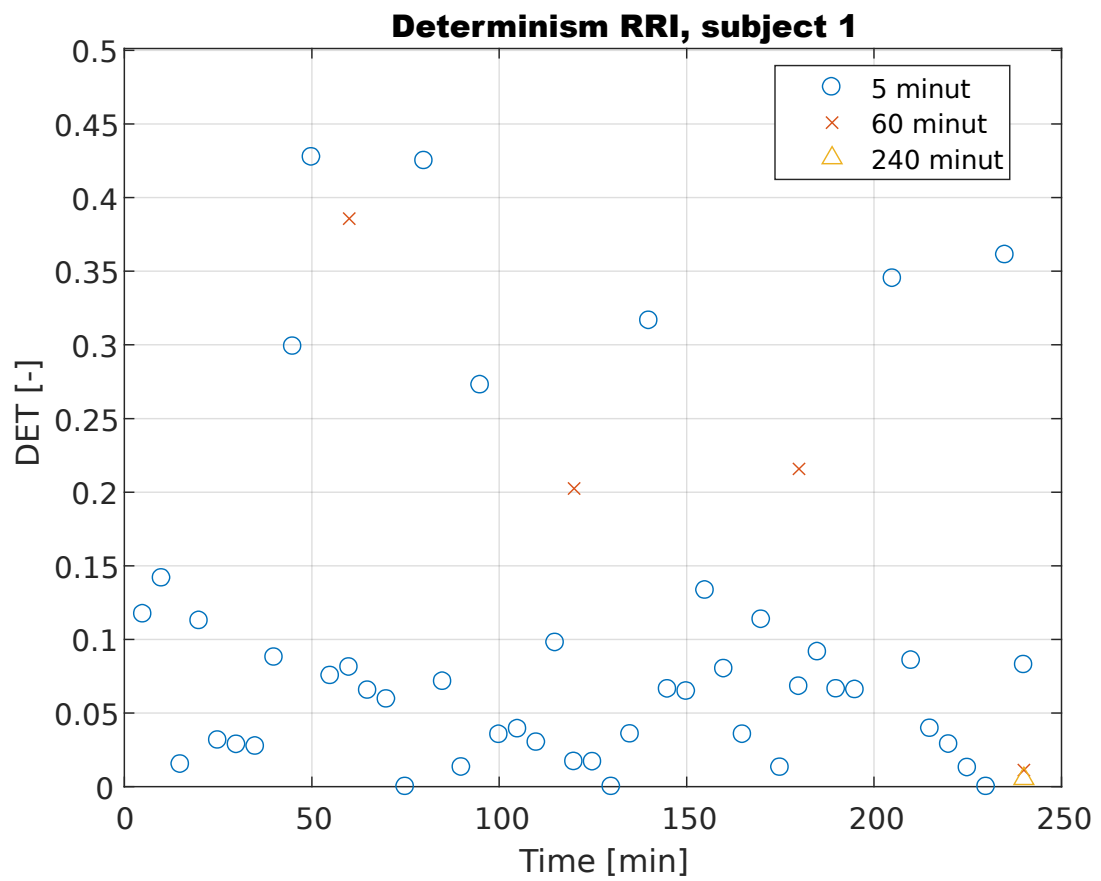
6.2.3 Výsledky Detrended fluctuaction analysis

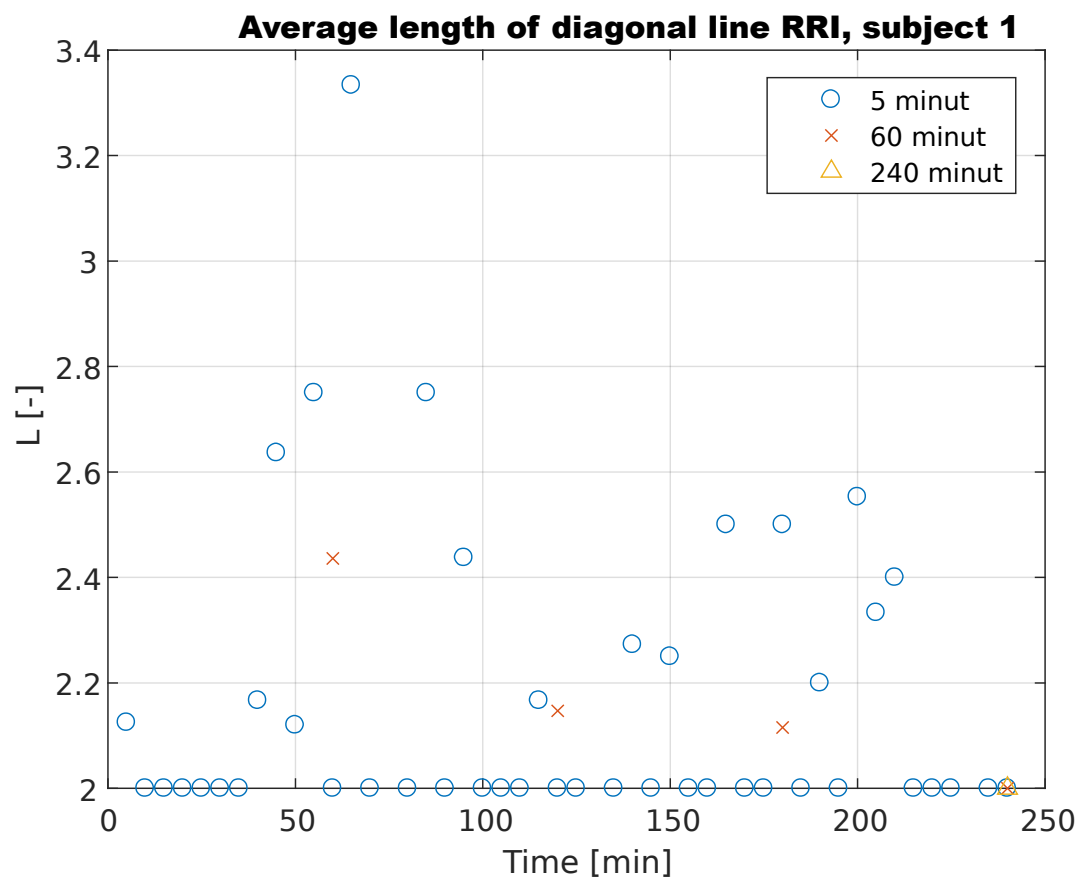


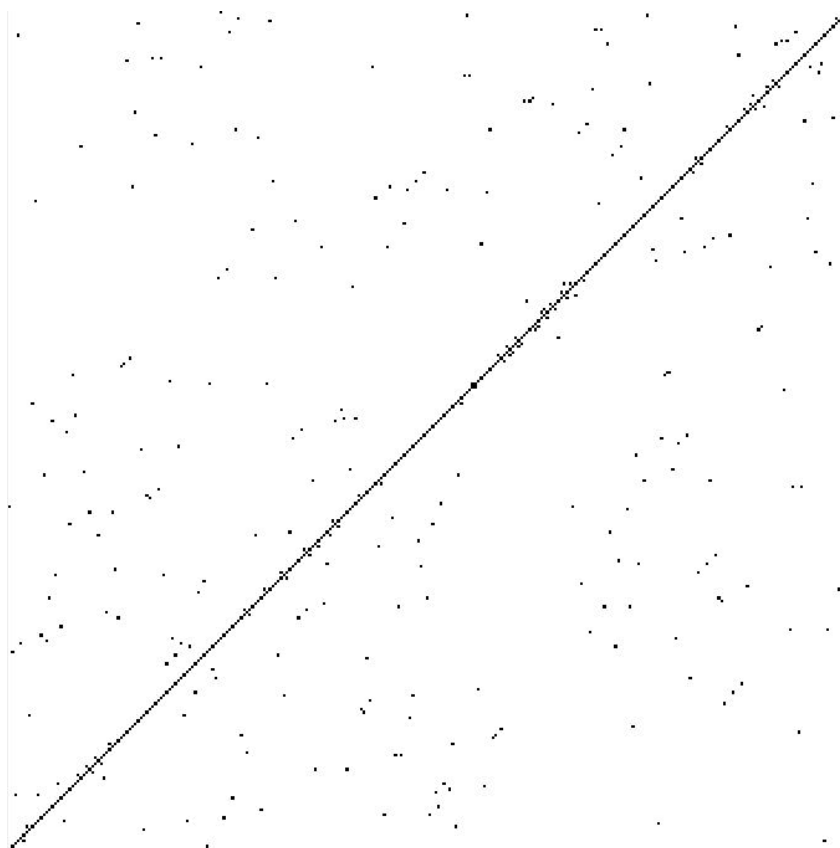
6.2.4 Výsledky rekurentní analýzy











Obrázek 12: Rekurentní diagram RRI u subjektu 1 po prvních pěti minutách

6.3 Spearmanova korelace

Byly provedeny korelace ukazatelů a parametrů nelineárních metod a dále korelace ukazatelů a statistických parametrů

6.3.1 Korelace parametrů nelineárních metod a výkonostních ukazatelů

U každého subjektu byly vypočteny parametry navržených metod a vypočtena jejich korelace s ukazateli. Následně byl vypočten medián těchto korelací, který je zobrazen v tabulce níže.

		Přílety	Odlety	Zápisy	Chyby	Chybovost	Úspěšnost	Přelety	Přelety – zápisy	
Heart rate	SD1	0,13	0,16	-0,01	-0,07	-0,08	-0,11	0,19	0,22	Poincaré plot
	SD2	0,10	0,01	-0,13	-0,20	-0,20	-0,13	0,09	0,14	
	ApEn	-0,04	0,02	0,04	0,25	0,24	0,04	0,01	0,01	ApEn
	Alpha	0,08	0,09	-0,02	-0,12	-0,12	-0,09	0,10	0,07	DFA
	RR	-0,24	-0,21	-0,08	-0,01	0,10	0,07	-0,25	-0,21	RQA
	DET	0,06	-0,01	-0,05	0,05	0,07	-0,02	0,02	0,06	
	ENT	0,06	-0,01	-0,07	0,03	0,06	-0,01	0,01	0,07	
	L	-0,03	-0,10	-0,04	0,07	0,07	0,04	-0,07	-0,11	
	Lyap	0,11	0,09	0,20	0,05	-0,03	0,09	0,10	0,02	Lyapunov
Breath	SD1	0,13	0,16	0,10	-0,03	0,00	-0,07	0,19	0,07	Poincaré plot
	SD2	0,11	0,13	-0,04	-0,05	-0,04	-0,10	0,17	0,13	
	ApEn	-0,14	-0,14	0,07	0,08	0,03	0,13	-0,19	-0,18	ApEn
	Alpha	0,04	-0,03	-0,17	-0,08	-0,05	-0,09	-0,02	0,08	DFA
	RR	0,05	-0,04	0,01	0,16	0,10	0,02	0,00	-0,02	RQA
	DET	0,03	-0,21	-0,08	0,04	0,04	0,02	-0,10	-0,04	
	ENT	0,02	-0,22	-0,09	0,03	0,03	0,02	-0,12	-0,05	
	L	0,02	-0,10	-0,19	-0,02	-0,02	-0,14	-0,05	0,06	
	Lyap	0,08	0,19	0,09	-0,05	-0,09	-0,01	0,14	0,13	Lyapunov
ACC_VEC	SD1	0,19	0,10	-0,05	-0,07	-0,11	-0,14	0,17	0,16	Poincaré plot
	SD2	0,16	0,17	-0,10	-0,11	-0,12	-0,20	0,21	0,23	
	ApEn	-0,02	0,05	0,27	0,18	0,07	0,18	-0,01	-0,11	ApEn
	Alpha	-0,12	-0,07	-0,10	-0,07	0,02	-0,07	-0,12	-0,01	DFA
	RR	-0,03	-0,07	0,00	0,13	0,15	0,05	-0,05	-0,04	RQA
	DET	-0,02	0,11	-0,13	-0,04	0,09	-0,17	0,09	0,08	
	ENT	0,00	0,11	-0,12	-0,04	0,09	-0,16	0,09	0,09	
	Lyap	0,02	0,07	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	0,06	0,10	Lyapunov

Tabulka 2: Korelace vybraných parametrů nelineárních metod a ukazatelů

6.3.2 Korelace statistických ukazatelů a výkonnostních ukazatelů

Stejně jako v předchozí podkapitole, i zde byly vypočteny korelace. V tomto případě se jedná o mediány korelací statistických hodnot a ukazatelů

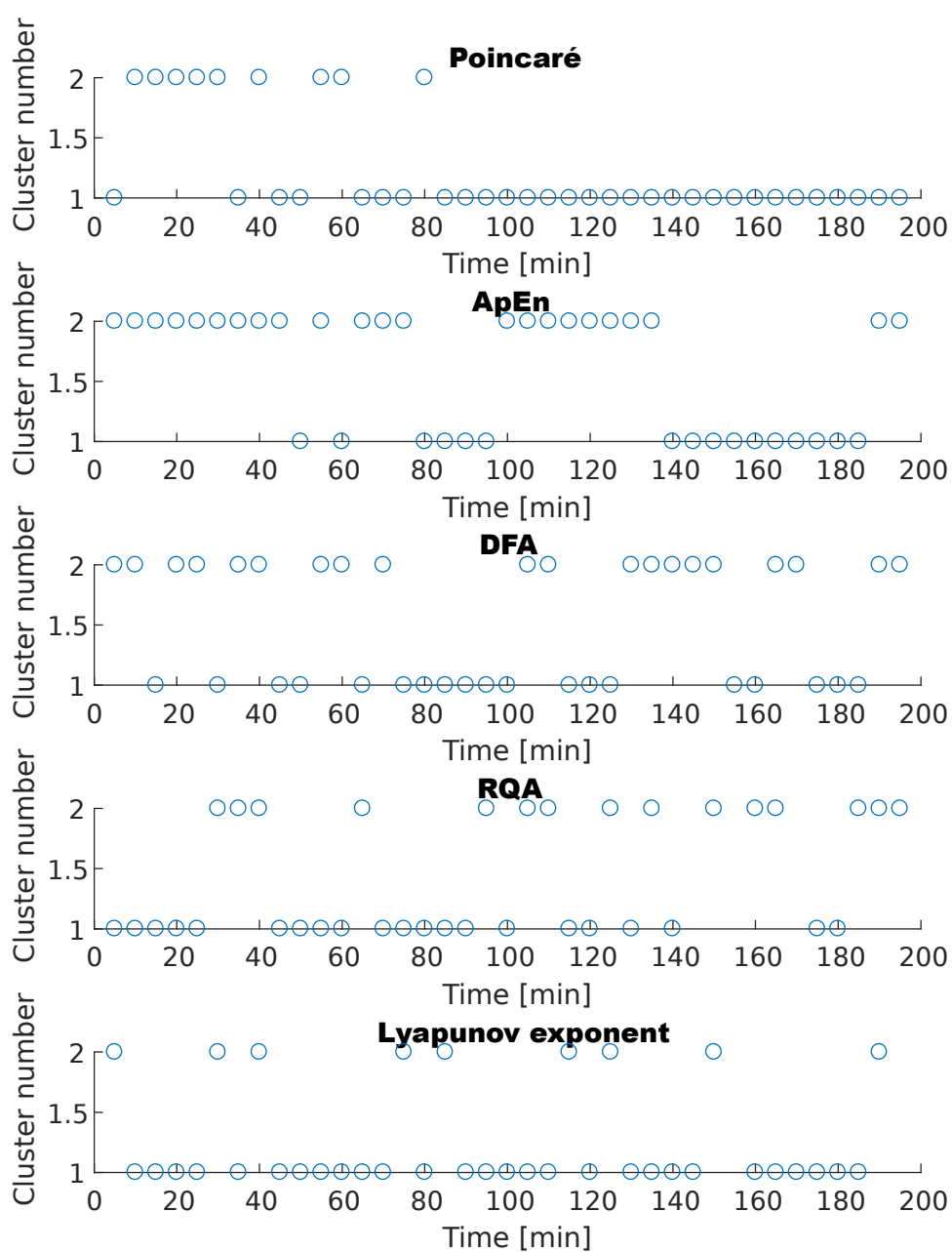
		Přilety	Odlety	Zápisy	Chyby	Chybovost	Úspěšnost	Přelety	Přelety – zápisy
Heart rate	Mean	-0,06	-0,18	-0,23	-0,07	-0,02	-0,13	-0,12	0,01
	Median	0,00	-0,16	-0,18	0,00	0,05	-0,10	-0,08	0,03
	Std	0,14	0,12	-0,16	-0,23	-0,19	-0,19	0,13	0,17
RRI	Mean	0,04	0,18	0,22	0,04	0,02	0,13	0,11	0,00
	Median	-0,01	0,18	0,23	0,02	-0,04	0,13	0,08	-0,01
	Std	0,02	0,14	-0,06	-0,15	-0,14	-0,09	0,14	0,14
Temperature	Mean	0,17	0,11	0,14	0,03	-0,04	-0,06	0,16	0,14
	Median	0,31	0,17	0,20	0,08	-0,03	-0,04	0,32	0,14
	Std	-0,04	-0,03	0,02	-0,02	0,12	0,07	-0,04	-0,09
Humidity	Mean	-0,12	-0,13	-0,11	-0,05	0,04	0,01	-0,15	-0,08
	Median	-0,19	-0,10	-0,13	-0,08	-0,01	0,00	-0,18	-0,08
	Std	0,17	0,16	-0,04	-0,09	-0,09	-0,09	0,22	0,16
ACC_X	Mean	0,14	0,20	0,08	-0,02	-0,07	-0,18	0,20	0,21
	Median	0,13	0,11	0,09	-0,04	-0,07	-0,15	0,12	0,17
	Std	0,02	0,10	-0,15	-0,22	-0,07	-0,20	0,10	0,18
ACC_Y	Mean	-0,23	-0,10	-0,10	0,05	0,07	0,15	-0,18	-0,14
	Median	-0,15	-0,05	-0,05	0,06	0,07	0,18	-0,09	-0,13
	Std	-0,11	-0,08	-0,24	-0,28	-0,11	-0,13	-0,10	0,00
ACC_Z	Mean	0,18	0,11	-0,09	-0,09	-0,03	-0,24	0,18	0,21
	Median	0,17	0,01	-0,14	-0,12	-0,02	-0,25	0,09	0,20
	Std	0,09	0,22	-0,11	-0,18	-0,05	-0,26	0,23	0,27
Breath	Mean	-0,27	-0,19	-0,13	-0,07	-0,08	0,06	-0,25	-0,15
	Median	-0,32	-0,20	-0,20	-0,08	-0,08	0,04	-0,29	-0,18
	Std	0,04	0,11	-0,09	-0,06	0,02	-0,10	0,12	0,10
ACC_VEC	Mean	-0,15	-0,12	-0,13	-0,02	0,00	0,11	-0,16	-0,16
	Median	-0,13	-0,08	-0,12	0,00	0,06	0,13	-0,13	-0,15
	Std	0,11	0,05	-0,09	-0,10	-0,02	-0,11	0,10	0,11

Tabulka 3: Korelace statistických parametrů a ukazatelů

6.4 Metody klasifikace

6.4.1 K-means

Byla provedena klasifikace shlukovou analýzou, která byla provedena pro každou metodu zvlášť, kde vstupními daty byly parametry srdeční pulzu, dechu a akcelerace dané metody.



Tabulka 4: Klasifikace dat pro subjekt 1. Použitá metoda k-means

Mediány výsledných shluků pro srdeční pulz, dech a akceleraci pro subjekt 1 zobrazuje následující tabulka:

	SD1		SD2		ApEn		Alfa		RR	
Shluk	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Srdeční pulz	0,0006	0,0006	0,0066	0,0057	0,3398	0,7303	1,4028	1,2710	0,0058	0,0062
Dech	22,9621	141,6615	61,9822	449,2172	0,3982	0,4118	0,9596	0,7549	0,0035	0,0035
Akcelerace	0,0116	0,0117	0,0115	0,0116	1,0504	1,1229	0,6876	0,5247	0,0034	0,0034

	DET		ENT		L		Lyap	
Shluk	1	2	1	2	1	2	1	2
Srdeční pulz	0,2879	0,0857	0,3566	0,1391	2,2370	2,0769	0,0000	0,0000
Dech	0,1752	0,2667	0,2569	0,3436	2,1932	2,2500	4,2337	2,2611
Akcelerace	0,0138	0,0000	0,0345	0,0000	2,0000	2,0000	7,6373	21,7515

Pro porovnání s celkovými hodnotami mediánů:

	SD1	SD2	ApEn	Alfa	RR	DET	ENT	L	Lyap
Srdeční pulz	0,0006	0,0063	0,4055	1,3176	0,0060	0,1176	0,1927	2,1729	0,0000
Dech	34,8857	81,9962	0,3745	0,8580	0,0035	0,2542	0,3100	2,2094	4,2337
Akcelerace	0,0116	0,0116	1,0765	0,6077	0,0034	0,0131	0,0331	2,0000	9,1557

Dále byly vypočteny korelace klasifikovaných hodnot a ukazatelů

		chybovost	úspěšnost	Přelety – zápisy	přelety
Subjekt 1	Poincaré	0,25	0,03	-0,28	-0,38
	ApEn	0,17	0,17	-0,16	-0,16
	DFA	0,21	0,23	-0,28	-0,24
	RQA	-0,06	-0,09	0,25	0,26
	Lyapunov	-0,17	-0,14	0,17	0,10
Subjekt 2	Poincaré	0,37	0,04	0,06	0,07
	ApEn	0,12	0,29	-0,17	-0,03
	DFA	-0,01	0,24	0,07	0,23
	RQA	-0,08	0,13	-0,22	-0,26
	Lyapunov	0,16	-0,28	0,16	0,03
Subjekt 3	Poincaré	-0,06	-0,15	0,21	0,20
	ApEn	-0,05	-0,28	0,33	0,31
	DFA	0,06	-0,03	0,03	-0,01
	RQA	-0,07	-0,02	0,13	0,26
	Lyapunov	-0,40	0,26	-0,21	-0,08
Subjekt 4	Poincaré	-0,12	-0,11	0,10	0,07
	ApEn	-0,10	-0,10	0,07	0,07
	DFA	-0,20	-0,17	0,20	0,11
	RQA	-0,03	-0,24	0,27	0,26
	Lyapunov	-0,31	-0,04	-0,02	-0,11

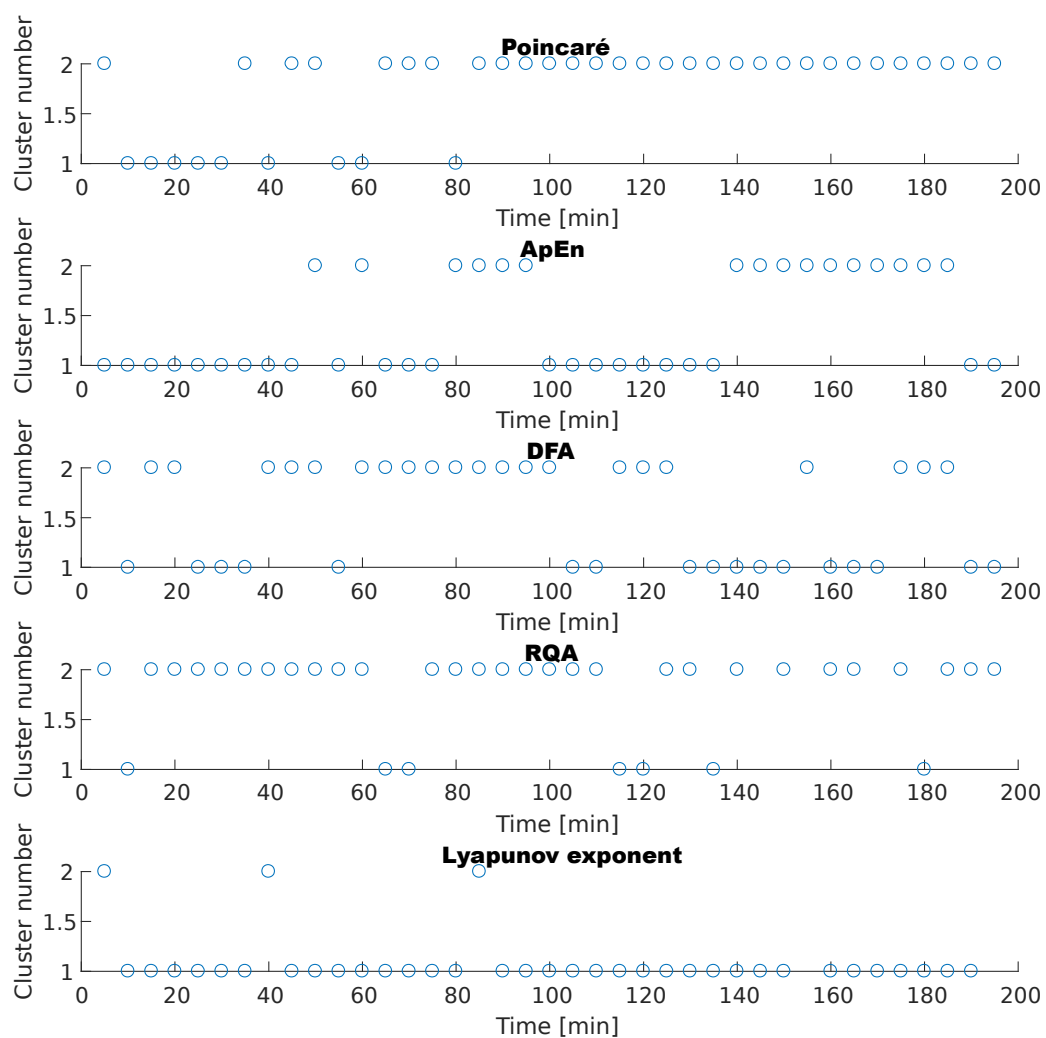
Tabulka 5: Korelace klasifikací a hodnot vybraných ukazatelů

Mediány klasifikací a vybraných ukazatelů:

	chybovost	úspěšnost	Přelety – zápisy	přelety
Poincaré	0,10	-0,04	0,08	0,07
ApEn	0,04	0,04	-0,05	0,02
DFA	0,02	0,10	0,05	0,05
RQA	-0,07	-0,06	0,19	0,26
Lyapunov	-0,24	-0,09	0,07	-0,02

Tabulka 6: Korelace mediánů a výkonnostních ukazatelů

6.5 Samoorganizující se mapy



Tabulka 7: Klasifikace dat pro subjekt 1. Použitá metoda: SOM

Mediány výsledných shluků:

	SD1		SD2		ApEn		Alfa		RR	
Shluk	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Srdeční pulz	0,0006	0,0006	0,0057	0,0066	0,7303	0,3398	1,3083	1,3295	0,0061	0,0059
Dech	141,6615	22,9621	449,2172	61,9822	0,4118	0,3982	0,7284	0,9629	0,0035	0,0035
Akcelerace	0,0117	0,0116	0,0116	0,0115	1,1229	1,0504	0,5069	0,6876	0,0034	0,0034

	DET		ENT		L		Lyap	
Shluk	1	2	1	2	1	2	1	2
Srdeční pulz	0,1900	0,1094	0,2767	0,1737	2,4194	2,0909	0,0000	0,0000
Dech	0,4881	0,2154	0,5498	0,2912	2,2614	2,2045	4,2337	1,6849
Akcelerace	0,0000	0,0138	0,0000	0,0345	2,0000	2,0000	8,6459	38,9275

Pro porovnání s celkovými hodnotami mediánů:

	SD1	SD2	ApEn	Alfa	RR	DET	ENT	L	Lyap
Srdeční pulz	0,0006	0,0063	0,4055	1,3176	0,0060	0,1176	0,1927	2,1729	0,0000
Dech	34,8857	81,9962	0,3745	0,8580	0,0035	0,2542	0,3100	2,2094	4,2337
Akcelerace	0,0116	0,0116	1,0765	0,6077	0,0034	0,0131	0,0331	2,0000	9,1557

		chybovost	úspěšnost	Přelety – zápisy	přelety
Subjekt 1	Poincaré	-0,25	-0,03	0,28	0,38
	ApEn	-0,17	-0,17	0,16	0,16
	DFA	-0,09	-0,10	0,05	-0,02
	RQA	-0,20	-0,06	0,28	0,32
	Lyapunov	-0,09	0,00	-0,12	-0,16
Subjekt 2	Poincaré	-0,37	-0,04	-0,06	-0,07
	ApEn	-0,01	-0,22	0,06	-0,07
	DFA	-0,07	-0,17	-0,08	-0,20
	RQA	0,11	-0,08	0,29	0,35
	Lyapunov	-0,16	0,28	-0,16	-0,03
Subjekt 3	Poincaré	0,03	0,11	-0,19	-0,24
	ApEn	-0,16	-0,20	0,28	0,28
	DFA	-0,10	0,12	-0,13	-0,12
	RQA	-0,02	-0,44	0,44	0,35
	Lyapunov	-0,18	-0,15	0,14	0,12
Subjekt 4	Poincaré	0,12	0,11	-0,10	-0,07
	ApEn	-0,02	-0,11	0,07	0,06
	DFA	-0,01	-0,12	0,30	0,27
	RQA	0,08	-0,30	0,35	0,35
	Lyapunov	-0,25	-0,02	-0,04	-0,07

Tabulka 8: Korelace klasifikací a hodnot vybraných ukazatelů

Mediány klasifikací a hodnot vybraných ukazatelů:

	chybovost	úspěšnost	Přelety – zápisy	přelety
Poincaré	-0,11	0,04	-0,08	-0,07
ApEn	-0,09	-0,18	0,12	0,11
DFA	-0,08	-0,11	-0,01	-0,07
RQA	0,03	-0,19	0,32	0,35
Lyapunov	-0,17	-0,01	-0,08	-0,05

Tabulka 9: Korelace mediánů a výkonnostních ukazatelů

6.6 Návod měření

6.6.1 Návod k detekci přeletů

Nejprve je potřeba identifikovat přelety přes státní hranici, což se provádí funkcí `detectAircrafts`. Vstupní parametry funkce jsou:

`name` – cesta k videu, doporučen formát videa `.mp4`

`step` – vzorkovací perioda

`step_sum` – vzorkovací perioda součtu (po kolika sekundách)

`border_main_points` – hraniční body, algoritmus si poté hraniční bod s následujícím propojí úsečkou a celkově si vytvoří souvislou uzavřenou křivku (státní hranici)

Kromě vstupních parametrů je potřeba k videu přidat mapový podklad vnitřku a vnějšku území (kvůli detekci, co je přílet a co odlet), dále je možné ve vnitřku funkce nastavit rychlost videa vůči reálnému času, maximální rychlost letadel.

Výstupem funkce je dvousloupcová matice, kde první sloupec obsahuje počet odletů a druhý sloupec počet příletů.

6.6.2 Návod k výpočtu parametrů a statistických hodnot

Statistické hodnoty se vyhodnocují pomocí skriptu `pk_run_statistics` a parametry metod pomocí skriptu `pk_run_methods`. Vyžadovány jsou data naměřená na subjektech, která jsou uložena ve stejné složce jako skripty s názvem `biodata.mat`. Dále ve skriptu je možné měnit délku segmentu, který je vyhodnocován.

6.6.3 Návod ke klasifikaci dat

Klasifikátory jsou implementovány ve funkcích `pk_som` a `pk_kmeans`, kde vstupem jsou parametry metod určené ke klasifikaci, číslo subjektu a číslo metody podle seznamu:

1. Poincarého mapa
2. Aproximační entropie
3. Detrended fluctuaction analysis
4. Rekurentní analýza
5. Lyapunovův exponent

Výstupní proměnnou je proměnná `Y`, která obsahuje čísla shluků, a proměnnou `t`, která obsahuje čas, ke kterým náleží.

7 Diskuze

V této práci byly navrženy a implementovány metody pro hodnocení zdravotního stavu operátorů. Byly měřeny biomedicínská data – srdeční tep, dech, teplota, vlhkost, akcelerace trupu, a po předcházejícím testování uvažovány primárně 3 veličiny, srdeční pulz, dech a vektor akcelerace, protože snímače teploty a vlhkosti byly částečně ovlivněny prostředím měření a výsledky tak nebyly spolehlivé.

Medián korelací parametrů metod a ukazatelů ukazuje slabší vztah mezi aproximační entropií a ukazatelem chybovosti. Podobně je to v případě směrodatné odchylky srdečního pulzu a ukazatele počtu chyb.

Ohledně klasifikace metodou k-means, kdy vstupními daty byly Lyapunovovy exponenty, byla negativní korelace této klasifikace a ukazatele chybovosti.

7.1 Naplnění cílů práce

V práci jsem navrhl a implementoval metody pro hodnocení zdravotního stavu vojenských specialistů, konkrétně psychický stav například projevující se stresem. Nejprve byla provedena rešerše metod pro hodnocení fyzického a psychického stavu, následně byly navrženy metody pro hodnocení biomedicínských dat a dat ze simulátoru. Navržené metody zpracování dat jsou implementovány ve vývojovém prostředí Matlab. Práce je zaměřena na aplikaci metod lineárních i nelineárních. Metody byly aplikovány pro hodnocení dat měřených během výcviku směn protivzdušné obrany. Naměřená data jsou statisticky hodnocena a doporučeno jejich použití. Součástí práce je návod pro aplikaci navržené metodiky měření a metod zpracování dat. Tímto jsem naplnil všechny cíle práce.

8 Závěr

Byla provedena rešerše, ve kterých bylo vybráno 5 metod pro výpočet parametrů – Poincarého mapa, Aproximační entropie, Detrended fluctuaction analysis, rekurentní analýza a Lyapunovův exponent. Pro potřeby klasifikace byly vybrány shlukové metody k-means a neuronové sítě zvané samoorganizující se mapy.

Byly navrženy a implementovány algoritmy pro výpočet přeletů z obrazového záznamu vzdušné situace a vyhodnocení dat z akcelerometrů a ze senzorů srdečního pulzu a dechu. Tato data byla dále využita pro zhodnocení fyzického a psychického stavu operátorů.

Navržené a implementované metody mohou být základem pro optimalizaci délky a výměny personálu během plnění úkolů v rámci směny, například pro operátory raketových systému, radarových systému i operátoru řídicí letecký provoz.

9 Seznam použité literatury

1. SAQUIB, Nazmus, Md. Tarikul Islam PAPON, Ishtiyaque AHMAD a Ashikur RAHMAN. Measurement of heart rate using photoplethysmography. In: *2015 International Conference on Networking Systems and Security (NSysS)* [online]. IEEE, 2015, 2015, s. 1-6 [cit. 2018-05-21]. DOI: 10.1109/NSysS.2015.7043525. ISBN 978-1-4799-8126-7. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7043525/>
2. Heart Rate Monitors - How They Work?. *Topend Sports | The Sports Fitness, Nutrition and Science Resource* [online]. Copyright ©1997 [cit. 21.05.2018]. Dostupné z: <https://www.topendsports.com/fitness/equip-monitors.htm>
3. KUKUROVÁ, Elena a Eva KRÁLOVÁ. *Lekárska fyzika a biofyzika pre medicínsku prax*. Bratislava: Vydavateľstvo UK, 2004. ISBN 80-223-1824-8.
4. BRZOBOHATÝ Lukáš: Měření teploty. Brno, 2011. 19s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
5. Úvod do principů termografie , *Vysoké učení technické v Brně* [online]. Copyright ©, [cit. 21.05.2018]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=\[65646](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=[65646)
6. Principy akcelerometrů - 1. díl - Piezoelektrické | Automatizace.HW.cz. *Automatizace.HW.cz | Elektronika v automatizaci* [online]. Copyright © 1997 [cit. 21.05.2018]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2007011401>
7. Principy akcelerometrů - 2. díl - Piezorezistivní | Automatizace.HW.cz. *Automatizace.HW.cz | Elektronika v automatizaci* [online]. Copyright © 1997 [cit. 21.05.2018]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2007012601>
8. Akcelerometry [online]. Copyright © [cit. 21.05.2018]. Dostupné z: <http://vyuka.pavelrozsival.cz/isame/Akcelerometry.pdf>
9. Klikova, B., Raidl, A.: Reconstruction of phase space of dynamical systems using method of time delay. WDS '2011
10. BRENNAN, M., M. PALANISWAMI a P. KAMEN. Do existing measures of Poincare plot geometry reflect nonlinear features of heart rate variability?. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* [online]. **48**(11), 1342-1347 [cit. 2018-05-21]. DOI: 10.1109/10.959330. ISSN 00189294. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/959330/>

11. PINCUS, S. M. Approximate entropy as a measure of system complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*[online]. 1991, **88**(6), 2297-2301 [cit. 2018-05-21]. DOI: 10.1073/pnas.88.6.2297. ISSN 0027-8424. Dostupné z: <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.88.6.2297>
12. Rekurentní analýza variability srdeční frekvence v časně diagnostice diabetické autonomní neuropatie | Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie - proLékaře.cz. *Největší informační zdroj pro lékaře - proLékaře.cz* [online]. Copyright © 2018 [cit. 21.05.2018]. Dostupné z: http://www.csnn.eu/ceska-slovenska-neurologie-clanek/rekurentni-analyza-variability-srdecni-frekvence-v-casne-diagnostice-diabeticke-autonomni-neuropatie-38956?confirm_rules=1
13. MELILLO, Paolo, Marcello BRACALE a Leandro PECCHIA. Nonlinear Heart Rate Variability features for real-life stress detection. Case study: students under stress due to university examination. *BioMedical Engineering OnLine* [online]. 2011, **10**(1), 96- [cit. 2018-05-21]. DOI: 10.1186/1475-925X-10-96. ISSN 1475-925X. Dostupné z: <http://biomedical-engineering-online.biomedcentral.com/articles/10.1186/1475-925X-10-96>
14. ZBILUT, Joseph P., Nitza THOMASSON a Charles L. WEBBER. Recurrence quantification analysis as a tool for nonlinear exploration of nonstationary cardiac signals. *Medical Engineering & Physics*[online]. 2002, **24**(1), 53-60 [cit. 2018-05-21]. DOI: 10.1016/S1350-4533(01)00112-6. ISSN 13504533. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1350453301001126>
15. KACÁLEK JAN, MÍČA IVAN. *Nelineární analýza a predikce síťového provozu*. 2009. *Elektrorevue* [online]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/cz/download/nelinearni-analyza-a-predikce-si-oveho-provozu/>
16. LI, Dou, Binghui JI a Haige XIANG. The On-Line Prediction of Self-Similar Traffic Based on Chaos Theory. In: *2006 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing* [online]. IEEE, 2006, 2006, s. 1-4 [cit. 2018-05-21]. DOI: 10.1109/WiCOM.2006.381. ISBN 1-4244-0517-3. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4149558/>
17. Clustering - K-means. [online]. Dostupné z: http://home.deib.polimi.it/matteucc/Clustering/tutorial_html/kmeans.html
18. Jaakko Hollmen, Self-Organizing Map. [online]. Dostupné z: <http://users.ics.aalto.fi/jhollmen/dippa/node9.html>
19. Antonín Vojáček, Samoučící se neuronová síť - SOM, Kohonenovy mapy [online]. Copyright ©D [cit. 21.05.2018]. Dostupné z: http://www.kiv.zcu.cz/studies/predmety/uir/NS/Samouc_NN2.pdf
20. ŠIKNER, Tomáš. *Detrended fluctuation analysis for heart rate variability analysis*. BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2013. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Oto Janoušek.
21. PENG, C.-K., S. V. BULDYREV, S. HAVLIN, M. SIMONS, H. E. STANLEY a A. L. GOLDBERGER. Mosaic organization of DNA nucleotides. *Physical Review E* [online]. 1994, **49**(2), 1685-1689 [cit. 2018-05-24]. DOI: 10.1103/PhysRevE.49.1685. ISSN 1063-651X. Dostupné z: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.49.1685>

10 Přílohy

10.1 Korelace parametrů a ukazatelů

Subjekt 1 – 5 minut

		Přílety	Odlety	Zápisy	Chyby	Chybovost	Úspěšnost	Přelety	Přelety – zápisy	
Heart rate	SD1	0,01	0,14	0,12	-0,15	-0,20	0,00	0,06	0,02	Poincaré plot
	SD2	-0,30	-0,29	-0,08	0,06	0,25	0,14	-0,33	-0,32	
	ApEn	0,23	-0,01	-0,05	0,04	0,12	-0,11	0,12	0,16	ApEn
	Alpha	0,22	-0,01	-0,06	0,02	0,11	-0,12	0,11	0,16	DFA
	RR	-0,18	-0,13	-0,07	-0,17	-0,04	-0,01	-0,21	-0,16	RQA
	DET	0,17	0,24	0,22	0,24	0,06	0,06	0,22	0,16	
	ENT	0,26	0,20	-0,01	0,00	-0,08	-0,17	0,25	0,30	
	L	-0,20	-0,19	-0,30	-0,36	-0,20	-0,06	-0,25	-0,15	
	Lyap	-0,15	-0,08	0,08	0,11	0,11	0,15	-0,13	-0,19	Lyapunov
	SD1	0,04	0,17	0,05	-0,08	-0,12	-0,09	0,12	0,10	Poincaré plot
RRI	SD2	0,01	0,16	0,04	-0,06	-0,11	-0,15	0,13	0,14	
	ApEn	-0,25	-0,24	-0,32	-0,24	-0,03	-0,14	-0,29	-0,17	ApEn
	Alpha	-0,24	-0,23	-0,33	-0,26	-0,04	-0,16	-0,29	-0,15	DFA
	RR	-0,10	-0,08	-0,06	-0,22	-0,29	-0,02	-0,09	-0,04	RQA
	DET	0,22	0,01	-0,06	0,10	0,12	-0,08	0,12	0,14	
	ENT	0,11	0,09	-0,13	-0,12	-0,04	-0,25	0,15	0,21	
	L	0,05	-0,05	-0,28	-0,15	0,08	-0,28	0,03	0,16	
	Lyap	0,01	-0,02	-0,28	-0,20	0,02	-0,31	0,02	0,14	Lyapunov
	SD1	-0,42	-0,54	-0,36	-0,22	0,13	0,03	-0,56	-0,43	Poincaré plot
	SD2	-0,01	0,07	0,10	-0,01	0,01	-0,05	0,07	0,05	
Temperature	ApEn	0,22	0,23	0,03	0,09	-0,07	-0,14	0,28	0,27	ApEn
	Alpha	0,18	0,10	-0,08	0,06	0,01	-0,14	0,17	0,20	DFA
	RR	-0,17	-0,12	0,35	0,32	0,04	0,58	-0,16	-0,35	RQA
	DET	-0,10	-0,14	0,22	0,22	0,01	0,44	-0,17	-0,32	
	ENT	0,38	0,23	0,09	0,05	0,00	-0,24	0,35	0,35	
	L	0,32	0,08	-0,13	-0,21	-0,13	-0,33	0,23	0,31	
	Lyap	0,36	0,16	0,01	-0,02	0,02	-0,26	0,28	0,31	Lyapunov
	SD1	-0,10	-0,05	-0,05	-0,16	-0,13	-0,04	-0,09	-0,08	Poincaré plot
	SD2	-0,08	-0,24	0,17	0,18	0,18	0,22	-0,17	-0,25	
	ApEn	-0,05	0,19	-0,06	-0,10	-0,15	-0,02	0,07	0,08	ApEn
Humidity	Alpha	-0,06	0,19	-0,07	-0,12	-0,16	-0,04	0,07	0,09	DFA
	RR	-0,29	-0,09	-0,10	-0,05	-0,06	0,14	-0,22	-0,19	RQA
	DET	0,14	0,16	-0,04	0,03	0,03	-0,15	0,17	0,22	
	ENT	0,11	0,04	-0,25	-0,27	-0,14	-0,27	0,09	0,23	
	L	-0,21	-0,39	-0,35	-0,30	-0,08	0,00	-0,38	-0,24	
	Lyap	0,01	0,39	0,29	0,10	-0,09	0,01	0,24	0,12	Lyapunov

Breath	SD1	0,03	0,14	-0,08	-0,13	-0,10	-0,16	0,11	0,17	Poincaré plot
	SD2	0,09	-0,22	0,07	0,26	0,37	0,00	-0,03	-0,05	
	ApEn	-0,11	-0,38	0,10	0,22	0,30	0,19	-0,29	-0,30	ApEn
	Alpha	-0,16	-0,41	0,10	0,23	0,31	0,24	-0,33	-0,36	DFA
	RR	-0,44	-0,21	0,04	-0,03	-0,06	0,32	-0,35	-0,39	
	DET	0,13	0,17	-0,17	-0,21	-0,18	-0,18	0,14	0,22	RQA
	ENT	0,01	-0,06	-0,20	-0,24	-0,13	-0,11	-0,05	0,00	
	L	-0,01	-0,07	-0,20	-0,29	-0,18	-0,11	-0,06	-0,01	
	Lyap	-0,04	0,03	0,39	0,35	0,07	0,35	-0,02	-0,16	Lyapunov
	SD1	0,06	-0,06	0,01	0,07	0,12	-0,08	0,04	0,09	Poincaré plot
ACC_VEC	SD2	-0,09	-0,04	-0,02	0,11	0,23	0,10	-0,08	-0,12	
	ApEn	-0,32	-0,05	-0,48	-0,45	-0,07	-0,25	-0,24	-0,06	ApEn
	Alpha	-0,32	-0,05	-0,48	-0,45	-0,07	-0,25	-0,24	-0,06	DFA
	RR	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
	DET	0,26	0,14	-0,03	-0,08	-0,13	-0,18	0,21	0,23	RQA
	ENT	-0,20	-0,08	-0,44	-0,36	0,00	-0,29	-0,16	0,01	
	L	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
	Lyap	0,24	0,20	-0,04	-0,01	-0,05	-0,17	0,25	0,24	Lyapunov

Subjekt 2 – 5 minut

		Přilety	Odlety	Zápisy	Chyby	Chybovost	Úspěšnost	Přelety	Přelety – zápisy	
Heart rate	SD1	0,09	0,27	-0,03	-0,01	-0,02	-0,09	0,26	0,21	Poincaré plot
	SD2	-0,10	-0,07	-0,23	-0,03	-0,07	-0,15	-0,06	0,02	
	ApEn	0,06	0,02	0,11	0,23	0,30	0,07	0,07	0,00	ApEn
	Alpha	-0,09	-0,17	-0,18	-0,11	-0,08	-0,10	-0,11	-0,03	DFA
	RR	-0,21	-0,22	-0,06	-0,09	-0,11	0,07	-0,25	-0,23	
	DET	0,23	0,19	0,13	0,20	0,25	-0,04	0,22	0,20	RQA
	ENT	0,21	0,15	0,15	0,22	0,26	0,00	0,19	0,16	
	L	-0,05	-0,18	0,21	0,15	0,08	0,30	-0,15	-0,19	
	Lyap	0,13	0,13	0,18	-0,03	-0,03	0,11	0,14	0,06	Lyapunov
	SD1	0,32	0,29	0,38	0,00	-0,08	0,18	0,35	0,17	Poincaré plot
RRI	SD2	-0,12	-0,07	-0,18	0,02	-0,03	-0,10	-0,07	-0,02	
	ApEn	-0,24	-0,17	0,15	0,20	0,16	0,23	-0,24	-0,28	ApEn
	Alpha	0,04	0,17	-0,26	-0,13	-0,09	-0,26	0,18	0,25	DFA
	RR	-0,13	-0,16	0,03	0,03	0,05	0,10	-0,16	-0,16	
	DET	-0,33	-0,29	0,06	0,09	0,02	0,20	-0,36	-0,37	RQA
	ENT	-0,33	-0,28	0,06	0,09	0,01	0,19	-0,35	-0,36	
	L	-0,04	-0,14	0,01	0,09	-0,03	0,04	-0,11	-0,10	
	Lyap	0,27	0,03	-0,04	0,03	0,02	-0,11	0,18	0,19	Lyapunov
	SD1	0,10	-0,02	0,18	0,14	0,10	0,15	0,05	-0,02	Poincaré plot
	SD2	-0,01	-0,11	0,16	0,02	-0,02	0,16	-0,07	-0,13	
Temperature	ApEn	0,12	-0,10	0,15	0,17	0,14	0,10	0,00	-0,05	ApEn
	Alpha	-0,56	-0,60	-0,11	-0,01	-0,03	0,21	-0,69	-0,58	DFA
	RR	-0,72	0,02	-0,26	-0,18	-0,24	0,06	-0,42	-0,34	
	DET	0,52	0,48	0,31	0,02	-0,01	0,03	0,58	0,43	RQA
	ENT	0,48	0,40	0,38	0,05	-0,02	0,09	0,52	0,36	
	L	0,29	-0,26	-0,32	-0,16	-0,16	-0,03	0,03	0,07	
	Lyap	0,13	0,00	0,22	0,23	0,08	0,10	0,17	0,05	Lyapunov
	SD1	0,33	0,25	0,27	-0,03	-0,01	0,15	0,32	0,16	Poincaré plot
	SD2	0,13	0,12	-0,01	-0,07	-0,08	-0,08	0,15	0,14	
	ApEn	0,26	0,21	0,20	-0,16	-0,12	0,09	0,26	0,14	ApEn
Humidity	Alpha	-0,23	-0,12	-0,35	0,02	0,02	-0,23	-0,18	-0,02	DFA
	RR	-0,41	-0,39	-0,16	0,05	-0,01	0,05	-0,47	-0,33	
	DET	0,16	0,13	0,18	-0,05	0,01	0,12	0,13	0,05	RQA
	ENT	0,19	0,14	0,20	-0,08	-0,01	0,13	0,16	0,05	
	L	-0,07	-0,19	0,13	0,23	0,18	0,15	-0,17	-0,14	
	Lyap	0,32	0,14	0,32	-0,08	-0,07	0,16	0,22	0,12	Lyapunov

Breath	SD1	-0,02	0,10	0,13	0,10	0,06	0,10	0,06	-0,03	Poincaré plot
	SD2	-0,08	0,06	0,04	0,05	0,00	0,03	0,01	-0,01	
	ApEn	0,01	-0,07	-0,03	-0,07	0,00	0,00	-0,06	-0,04	ApEn
	Alpha	-0,35	-0,20	-0,18	-0,03	0,00	-0,03	-0,28	-0,20	DFA
	RR	0,10	0,18	-0,07	-0,05	-0,07	-0,16	0,15	0,21	RQA
	DET	0,13	-0,11	-0,11	-0,19	-0,23	-0,12	0,00	0,10	
	ENT	0,13	-0,13	-0,13	-0,18	-0,23	-0,14	0,00	0,11	
	L	0,16	-0,01	-0,25	-0,20	-0,18	-0,26	0,08	0,22	
	Lyap	0,04	0,21	0,28	0,31	0,29	0,13	0,14	0,03	Lyapunov
	SD1	0,17	0,00	-0,10	0,02	0,07	-0,15	0,11	0,11	Poincaré plot
ACC_VEC	SD2	0,10	0,10	-0,19	0,04	0,08	-0,23	0,15	0,18	
	ApEn	0,17	0,09	0,32	0,14	0,07	0,19	0,12	0,01	ApEn
	Alpha	-0,28	-0,09	-0,32	-0,22	-0,09	-0,20	-0,16	-0,04	DFA
	RR	0,05	0,20	0,10	0,27	0,27	0,00	0,17	0,11	RQA
	DET	-0,16	0,08	0,09	-0,14	-0,13	0,03	0,00	0,02	
	ENT	-0,13	0,09	0,06	-0,14	-0,12	0,00	0,03	0,06	
	L	-0,09	-0,18	0,37	0,16	0,00	0,36	-0,25	-0,32	
	Lyap	-0,12	-0,35	-0,23	-0,15	-0,11	-0,07	-0,30	-0,17	Lyapunov

Subjekt 3 – 5 minut

		Přiletý	Odletý	Zápisy	Chyby	Chybovost	Úspěšnost	Přelety	Přelety – zápisy	
Heart rate	SD1	0,11	0,03	0,01	-0,13	-0,06	-0,11	0,10	0,16	Poincaré plot
	SD2	0,36	0,22	-0,02	-0,28	-0,18	-0,23	0,34	0,31	
	ApEn	-0,07	0,03	-0,04	0,39	0,30	-0,05	-0,04	0,03	ApEn
	Alpha	0,23	0,29	0,07	-0,11	-0,16	-0,18	0,30	0,25	DFA
	RR	0,02	-0,05	-0,08	-0,14	-0,06	-0,09	0,01	0,03	RQA
	DET	-0,11	-0,01	-0,05	0,05	0,02	0,07	-0,09	-0,14	
	ENT	-0,12	0,00	-0,07	0,05	0,02	0,07	-0,09	-0,14	
	L	-0,02	0,13	-0,06	0,04	0,07	0,01	0,01	-0,07	
	Lyap	-0,09	-0,11	0,27	0,13	-0,04	0,24	-0,12	-0,18	Lyapunov
	SD1	0,07	0,18	0,09	-0,06	-0,02	-0,05	0,16	0,13	Poincaré plot
RRI	SD2	0,23	0,23	0,09	-0,16	-0,10	-0,10	0,27	0,21	
	ApEn	-0,01	-0,14	0,08	0,14	0,08	0,17	-0,10	-0,21	ApEn
	Alpha	0,45	0,37	-0,04	-0,21	-0,11	-0,33	0,47	0,39	DFA
	RR	-0,11	-0,16	-0,01	-0,08	-0,13	0,06	-0,14	-0,05	RQA
	DET	0,09	-0,18	-0,13	-0,03	-0,05	-0,10	-0,05	0,05	
	ENT	0,09	-0,17	-0,13	-0,02	-0,05	-0,10	-0,04	0,05	
	L	0,20	-0,09	-0,06	0,06	0,04	-0,11	0,03	0,12	
	Lyap	-0,12	0,14	0,06	-0,12	-0,02	0,16	0,04	-0,07	Lyapunov
	SD1	0,12	0,04	-0,04	-0,15	-0,13	-0,14	0,05	0,11	Poincaré plot
	SD2	-0,04	-0,14	-0,12	-0,16	-0,12	-0,03	-0,15	-0,01	
Temperature	ApEn	0,17	-0,02	-0,26	-0,23	-0,05	-0,20	0,10	0,23	ApEn
	Alpha	0,14	-0,07	0,09	0,00	0,02	-0,04	0,10	0,05	DFA
	RR	-0,16	0,06	0,13	0,17	0,09	0,12	-0,04	-0,13	RQA
	DET	0,46	0,41	0,12	-0,16	-0,29	-0,30	0,54	0,44	
	ENT	0,48	0,40	0,15	-0,24	-0,37	-0,28	0,54	0,43	
	L	-0,15	-0,14	-0,17	0,38	0,41	-0,02	-0,22	0,04	
	Lyap	0,37	0,15	0,19	-0,24	-0,20	-0,02	0,29	0,15	Lyapunov
	SD1	0,27	0,21	0,06	-0,25	-0,18	-0,09	0,28	0,15	Poincaré plot
	SD2	0,16	0,06	0,01	-0,15	-0,09	-0,08	0,14	0,11	
	ApEn	0,27	0,13	0,15	-0,21	-0,13	-0,01	0,22	0,05	ApEn
Humidity	Alpha	-0,11	-0,12	-0,19	-0,25	-0,19	-0,08	-0,10	0,03	DFA
	RR	-0,24	-0,11	-0,15	0,11	0,18	0,00	-0,18	-0,08	RQA
	DET	0,07	0,02	0,10	-0,06	-0,19	0,07	0,03	-0,02	
	ENT	0,05	0,01	0,11	-0,07	-0,20	0,09	0,01	-0,04	
	L	0,02	0,15	0,06	0,14	0,11	0,11	0,08	-0,07	
	Lyap	0,29	-0,02	0,20	-0,06	-0,20	0,06	0,13	-0,01	Lyapunov

Breath	SD1	0,28	0,23	0,13	-0,13	-0,08	-0,06	0,32	0,17	Poincaré plot
	SD2	0,33	0,20	0,00	-0,06	0,03	-0,24	0,33	0,28	
	ApEn	-0,35	-0,21	0,04	0,08	0,03	0,27	-0,33	-0,31	ApEn
	Alpha	0,04	0,06	-0,16	-0,01	0,07	-0,13	0,04	0,10	DFA
	RR	-0,07	-0,13	-0,04	0,06	-0,04	0,12	-0,13	-0,11	
	DET	-0,06	-0,26	-0,12	0,09	0,11	-0,01	-0,19	-0,07	RQA
	ENT	-0,07	-0,28	-0,12	0,11	0,12	0,00	-0,20	-0,08	
	L	0,11	-0,17	-0,40	0,00	0,23	-0,21	-0,01	0,11	Lyapunov
	Lyap	-0,27	0,06	0,17	-0,02	-0,07	0,22	-0,15	-0,22	
	SD1	0,40	0,37	0,20	-0,16	-0,13	-0,22	0,46	0,35	Poincaré plot
ACC_VEC	SD2	0,33	0,32	0,07	-0,26	-0,17	-0,26	0,40	0,35	
	ApEn	-0,20	-0,04	0,17	0,23	0,07	0,16	-0,10	-0,20	ApEn
	Alpha	-0,24	-0,05	-0,14	-0,21	-0,20	-0,02	-0,16	-0,07	DFA
	RR	0,03	-0,09	-0,14	-0,03	-0,02	-0,07	-0,03	0,03	
	DET	0,13	0,16	-0,11	0,07	0,25	-0,14	0,18	0,13	RQA
	ENT	0,13	0,16	-0,11	0,07	0,25	-0,14	0,18	0,13	
	L	0,49	-0,26	0,22	-0,32	-0,48	-0,04	0,18	0,04	Lyapunov
	Lyap	-0,06	0,17	0,11	-0,23	-0,33	0,00	0,05	0,05	

Subjekt 4 – 5 minut

		Přilety	Odlety	Zápisy	Chyby	Chybovost	Úspěšnost	Přelety	Přelety – zápisy	
Heart rate	SD1	0,36	0,45	0,34	-0,01	-0,20	-0,11	0,46	0,30	Poincaré plot
	SD2	0,30	0,10	0,05	-0,12	-0,21	-0,11	0,25	0,26	
	ApEn	-0,01	0,20	0,29	0,27	0,17	0,07	0,10	0,01	ApEn
	Alpha	0,15	0,03	-0,10	-0,13	-0,08	-0,09	0,14	0,13	DFA
	RR	-0,27	-0,19	-0,10	0,21	0,31	0,07	-0,25	-0,19	RQA
	DET	-0,13	-0,08	-0,14	-0,23	-0,28	0,00	-0,14	-0,04	
	ENT	-0,10	-0,07	-0,15	-0,20	-0,23	-0,02	-0,11	-0,01	
	L	0,08	-0,07	-0,02	0,10	0,06	0,07	0,02	0,01	Lyapunov
	Lyap	0,10	0,05	0,09	-0,05	-0,05	0,06	0,06	-0,03	
RRI	SD1	0,27	0,25	0,20	-0,13	-0,23	-0,07	0,28	0,22	Poincaré plot
	SD2	0,26	0,17	0,15	-0,16	-0,24	-0,05	0,25	0,20	
	ApEn	-0,12	-0,40	-0,17	-0,12	-0,04	0,03	-0,34	-0,22	ApEn
	Alpha	-0,12	-0,10	-0,47	-0,19	0,00	-0,19	-0,06	0,11	DFA
	RR	-0,28	-0,27	-0,11	0,16	0,16	0,24	-0,31	-0,27	RQA
	DET	-0,06	-0,27	-0,02	0,28	0,29	0,20	-0,23	-0,20	
	ENT	-0,05	-0,26	-0,05	0,26	0,30	0,16	-0,22	-0,18	
	L	-0,08	-0,10	0,20	0,08	-0,10	0,25	-0,11	-0,13	Lyapunov
	Lyap	0,14	0,21	0,21	0,13	0,06	-0,07	0,18	0,11	
Temperature	SD1	0,16	0,12	0,03	0,07	0,13	-0,02	0,18	0,09	Poincaré plot
	SD2	0,10	0,07	-0,03	-0,04	0,03	-0,03	0,10	0,05	
	ApEn	0,12	0,08	0,00	0,10	0,16	-0,01	0,14	0,07	ApEn
	Alpha	-0,33	-0,25	-0,33	-0,18	-0,01	0,04	-0,35	-0,20	DFA
	RR	-0,34	-0,27	-0,21	0,39	0,44	0,18	-0,32	-0,29	RQA
	DET	0,39	0,09	0,32	0,26	0,07	0,00	0,24	0,16	
	ENT	0,41	0,10	0,33	0,25	0,07	-0,01	0,26	0,17	
	L	0,05	-0,21	-0,11	-0,43	-0,48	0,00	-0,20	-0,04	Lyapunov
	Lyap	0,10	0,17	0,14	0,00	0,02	0,01	0,18	0,08	
Humidity	SD1	0,39	0,25	0,09	-0,07	-0,18	-0,17	0,37	0,30	Poincaré plot
	SD2	0,15	-0,01	-0,05	-0,02	-0,08	0,00	0,10	0,08	
	ApEn	0,37	0,21	0,05	-0,05	-0,16	-0,16	0,34	0,28	ApEn
	Alpha	-0,24	-0,36	-0,35	-0,15	-0,04	0,01	-0,33	-0,15	DFA
	RR	-0,34	-0,15	0,25	0,29	0,27	0,33	-0,34	-0,38	RQA
	DET	0,12	0,05	-0,14	-0,12	-0,09	-0,23	0,13	0,16	
	ENT	0,13	0,07	-0,10	-0,10	-0,11	-0,20	0,14	0,16	
	L	-0,13	-0,06	-0,10	-0,12	-0,09	-0,06	-0,11	0,00	Lyapunov
	Lyap	0,18	0,22	-0,21	-0,14	-0,06	-0,35	0,28	0,31	

Breath	SD1	0,31	0,35	0,07	0,06	-0,04	-0,19	0,40	0,33	Poincaré plot
	SD2	0,30	0,28	-0,08	-0,05	-0,07	-0,27	0,34	0,34	
	ApEn	-0,29	-0,28	0,10	0,09	0,08	0,29	-0,33	-0,32	ApEn
	Alpha	0,04	-0,11	-0,20	-0,24	-0,23	-0,06	-0,08	0,05	DFA
	RR	0,01	0,06	0,06	0,28	0,25	0,03	0,03	0,00	
	DET	0,13	-0,16	-0,05	-0,01	-0,03	0,04	-0,01	-0,02	RQA
	ENT	0,11	-0,16	-0,06	-0,04	-0,06	0,04	-0,03	-0,03	
	L	-0,08	-0,03	-0,13	0,03	0,02	-0,07	-0,09	0,00	
	Lyap	0,21	0,25	0,01	-0,08	-0,12	-0,14	0,30	0,24	Lyapunov
	SD1	0,20	0,19	0,00	0,03	-0,09	-0,13	0,23	0,21	Poincaré plot
ACC_VEC	SD2	0,23	0,25	0,00	0,05	-0,07	-0,17	0,27	0,28	
	ApEn	0,00	0,06	0,23	-0,19	-0,24	0,11	0,00	-0,06	ApEn
	Alpha	0,00	-0,07	-0,05	0,19	0,20	-0,06	-0,09	0,02	DFA
	RR	-0,52	-0,37	0,02	0,15	0,07	0,44	-0,54	-0,53	RQA
	DET	0,14	0,13	-0,16	0,15	0,30	-0,21	0,18	0,18	
	ENT	0,13	0,12	-0,13	0,17	0,32	-0,18	0,16	0,15	
	L	0,32	0,28	-0,30	-0,17	-0,01	-0,46	0,47	0,48	Lyapunov
	Lyap	0,10	0,01	-0,22	-0,02	0,08	-0,21	0,08	0,16	

Subjekt 1 – 60 minut

		Přilety	Odlety	Zápisy	Chyby	Chybovost	Úspěšnost	Přelety	Přelety – zápisy	
Heart rate	SD1	1,00	0,80	0,80	0,63	-0,80	-0,20	1,00	0,80	Poincaré plot
	SD2	0,80	1,00	0,40	0,32	-1,00	-0,40	0,80	1,00	
	ApEn	-0,40	-0,20	-0,80	-0,95	0,20	-0,80	-0,40	-0,20	ApEn
	Alpha	0,40	0,80	0,20	0,32	-0,80	0,00	0,40	0,80	DFA
	RR	-0,40	-0,80	0,20	0,32	0,80	0,80	-0,40	-0,80	RQA
	DET	0,80	1,00	0,40	0,32	-1,00	-0,40	0,80	1,00	
	ENT	0,80	1,00	0,40	0,32	-1,00	-0,40	0,80	1,00	
	L	0,63	0,95	0,11	0,00	-0,95	-0,63	0,63	0,95	
RRI	Lyap	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	Lyapunov
	SD1	1,00	0,80	0,80	0,63	-0,80	-0,20	1,00	0,80	Poincaré plot
	SD2	1,00	0,80	0,80	0,63	-0,80	-0,20	1,00	0,80	
	ApEn	-1,00	-0,80	-0,80	-0,63	0,80	0,20	-1,00	-0,80	ApEn
	Alpha	-0,40	-0,20	0,00	0,32	0,20	0,80	-0,40	-0,20	DFA
	RR	0,40	0,20	0,80	0,95	-0,20	0,80	0,40	0,20	RQA
	DET	-1,00	-0,80	-0,80	-0,63	0,80	0,20	-1,00	-0,80	
	ENT	-1,00	-0,80	-0,80	-0,63	0,80	0,20	-1,00	-0,80	
Temperature	L	-0,80	-1,00	-0,40	-0,32	1,00	0,40	-0,80	-1,00	
	Lyap	0,80	0,40	0,60	0,32	-0,40	-0,40	0,80	0,40	Lyapunov
	SD1	0,40	0,80	-0,20	-0,32	-0,80	-0,80	0,40	0,80	Poincaré plot
	SD2	0,40	0,20	0,00	-0,32	-0,20	-0,80	0,40	0,20	
	ApEn	0,80	1,00	0,40	0,32	-1,00	-0,40	0,80	1,00	ApEn
	Alpha	-1,00	-0,80	-0,80	-0,63	0,80	0,20	-1,00	-0,80	DFA
	RR	0,60	0,00	0,80	0,63	0,00	0,20	0,60	0,00	RQA
	DET	-0,95	-0,63	-0,95	-0,83	0,63	-0,11	-0,95	-0,63	
Humidity	ENT	-0,95	-0,63	-0,95	-0,83	0,63	-0,11	-0,95	-0,63	
	L	1,00	1,00	1,00	1,00	-1,00	1,00	1,00	1,00	
	Lyap	-0,26	0,26	-0,26	0,00	-0,26	0,26	-0,26	0,26	Lyapunov
	SD1	0,80	1,00	0,40	0,32	-1,00	-0,40	0,80	1,00	Poincaré plot
	SD2	0,20	0,40	-0,40	-0,63	-0,40	-1,00	0,20	0,40	
	ApEn	0,80	1,00	0,40	0,32	-1,00	-0,40	0,80	1,00	ApEn
	Alpha	-0,40	-0,20	0,00	0,32	0,20	0,80	-0,40	-0,20	DFA
	RR	-0,80	-1,00	-0,40	-0,32	1,00	0,40	-0,80	-1,00	RQA
	DET	0,20	0,40	0,40	0,63	-0,40	0,60	0,20	0,40	
	ENT	0,20	0,40	0,40	0,63	-0,40	0,60	0,20	0,40	
	L	0,40	0,20	0,80	0,95	-0,20	0,80	0,40	0,20	
	Lyap	0,80	1,00	0,40	0,32	-1,00	-0,40	0,80	1,00	Lyapunov

Breath	SD1	0,80	0,40	0,60	0,32	-0,40	-0,40	0,80	0,40	Poincaré plot
	SD2	0,40	0,20	0,00	-0,32	-0,20	-0,80	0,40	0,20	
	ApEn	-1,00	-0,80	-0,80	-0,63	0,80	0,20	-1,00	-0,80	ApEn
	Alpha	0,40	0,20	0,00	-0,32	-0,20	-0,80	0,40	0,20	DFA
	RR	0,40	0,80	0,20	0,32	-0,80	0,00	0,40	0,80	
	DET	-0,40	-0,80	-0,20	-0,32	0,80	0,00	-0,40	-0,80	RQA
	ENT	-0,40	-0,80	-0,20	-0,32	0,80	0,00	-0,40	-0,80	
	L	-1,00	-0,80	-0,80	-0,63	0,80	0,20	-1,00	-0,80	
	Lyap	0,80	1,00	0,40	0,32	-1,00	-0,40	0,80	1,00	Lyapunov
	SD1	0,00	0,60	-0,40	-0,32	-0,60	-0,40	0,00	0,60	Poincaré plot
ACC_VEC	SD2	0,00	0,60	-0,40	-0,32	-0,60	-0,40	0,00	0,60	
	ApEn	0,00	-0,60	0,40	0,32	0,60	0,40	0,00	-0,60	ApEn
	Alpha	-0,40	-0,80	0,20	0,32	0,80	0,80	-0,40	-0,80	DFA
	RR	-1,00	-0,80	-0,80	-0,63	0,80	0,20	-1,00	-0,80	
	DET	-0,95	-0,63	-0,95	-0,83	0,63	-0,11	-0,95	-0,63	RQA
	ENT	-0,95	-0,63	-0,95	-0,83	0,63	-0,11	-0,95	-0,63	
	L	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
	Lyap	0,40	0,80	0,20	0,32	-0,80	0,00	0,40	0,80	Lyapunov

Subjekt 2 – 60 minut

		Přilety	Odlety	Zápisy	Chyby	Chybovost	Úspěšnost	Přelety	Přelety – zápisy	
Heart rate	SD1	0,80	1,00	0,00	-0,74	-0,95	-0,60	0,80	1,00	Poincaré plot
	SD2	0,40	0,80	-0,40	-0,95	-0,63	-0,80	0,40	0,80	
	ApEn	0,80	0,40	0,80	0,32	-0,63	0,40	0,80	0,40	ApEn
	Alpha	-1,00	-0,80	-0,60	0,21	0,95	0,00	-1,00	-0,80	DFA
	RR	0,40	0,20	0,40	0,32	-0,32	0,20	0,40	0,20	RQA
	DET	-0,80	-0,40	-0,80	-0,32	0,63	-0,40	-0,80	-0,40	
	ENT	-0,80	-0,40	-0,80	-0,32	0,63	-0,40	-0,80	-0,40	
	L	-0,80	-1,00	0,00	0,74	0,95	0,60	-0,80	-1,00	
RRI	Lyap	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	Lyapunov
	SD1	1,00	0,80	0,60	-0,21	-0,95	0,00	1,00	0,80	Poincaré plot
	SD2	0,80	1,00	0,00	-0,74	-0,95	-0,60	0,80	1,00	
	ApEn	-0,20	-0,40	0,20	0,63	0,32	0,40	-0,20	-0,40	ApEn
	Alpha	-0,80	-1,00	0,00	0,74	0,95	0,60	-0,80	-1,00	DFA
	RR	0,20	0,40	-0,20	-0,63	-0,32	-0,40	0,20	0,40	RQA
	DET	-0,40	-0,80	0,40	0,95	0,63	0,80	-0,40	-0,80	
	ENT	-0,40	-0,80	0,40	0,95	0,63	0,80	-0,40	-0,80	
Temperature	L	-0,80	-0,40	-0,80	-0,11	0,63	-0,40	-0,80	-0,40	
	Lyap	0,80	1,00	0,00	-0,74	-0,95	-0,60	0,80	1,00	Lyapunov
	SD1	0,40	0,20	0,40	-0,11	-0,32	0,20	0,40	0,20	Poincaré plot
	SD2	0,40	0,20	0,40	-0,11	-0,32	0,20	0,40	0,20	
	ApEn	1,00	0,80	0,60	-0,21	-0,95	0,00	1,00	0,80	ApEn
	Alpha	-0,80	-1,00	0,00	0,74	0,95	0,60	-0,80	-1,00	DFA
	RR	-0,50	-0,50	0,50	1,00	0,50	1,00	-0,50	-0,50	RQA
	DET	1,00	1,00	0,50	-0,50	-1,00	-0,50	1,00	1,00	
Humidity	ENT	1,00	1,00	0,50	-0,50	-1,00	-0,50	1,00	1,00	
	L	0,87	0,87	0,00	-0,87	-0,87	-0,87	0,87	0,87	
	Lyap	1,00	1,00	0,50	-0,50	-1,00	-0,50	1,00	1,00	Lyapunov
	SD1	1,00	0,80	0,60	-0,21	-0,95	0,00	1,00	0,80	Poincaré plot
	SD2	0,40	0,20	0,40	-0,11	-0,32	0,20	0,40	0,20	
	ApEn	1,00	0,80	0,60	-0,21	-0,95	0,00	1,00	0,80	ApEn
	Alpha	-0,80	-0,40	-0,80	-0,11	0,63	-0,40	-0,80	-0,40	DFA
	RR	-1,00	-0,80	-0,60	0,21	0,95	0,00	-1,00	-0,80	RQA
Humidity	DET	0,20	0,40	-0,20	-0,21	-0,32	-0,40	0,20	0,40	
	ENT	0,20	0,40	-0,20	-0,21	-0,32	-0,40	0,20	0,40	
	L	-0,50	-1,00	0,50	0,87	0,87	0,50	-0,50	-1,00	
	Lyap	1,00	0,80	0,60	-0,21	-0,95	0,00	1,00	0,80	Lyapunov

Breath	SD1	1,00	0,80	0,60	-0,21	-0,95	0,00	1,00	0,80	Poincaré plot
	SD2	0,20	0,40	-0,20	-0,63	-0,32	-0,40	0,20	0,40	
	ApEn	-0,40	-0,20	-0,40	0,11	0,32	-0,20	-0,40	-0,20	ApEn
	Alpha	0,20	0,40	-0,20	-0,63	-0,32	-0,40	0,20	0,40	DFA
	RR	-0,40	-0,20	-0,40	-0,32	0,32	-0,20	-0,40	-0,20	
	DET	-0,80	-0,40	-0,80	-0,32	0,63	-0,40	-0,80	-0,40	RQA
	ENT	-0,80	-0,40	-0,80	-0,32	0,63	-0,40	-0,80	-0,40	
	L	-0,80	-0,40	-0,80	-0,32	0,63	-0,40	-0,80	-0,40	
	Lyap	1,00	0,80	0,60	-0,21	-0,95	0,00	1,00	0,80	Lyapunov
	SD1	-0,60	0,00	-1,00	-0,63	0,32	-0,80	-0,60	0,00	Poincaré plot
ACC_VEC	SD2	0,40	0,80	-0,40	-0,95	-0,63	-0,80	0,40	0,80	
	ApEn	0,80	0,40	0,80	0,32	-0,63	0,40	0,80	0,40	ApEn
	Alpha	-0,40	-0,80	0,40	0,95	0,63	0,80	-0,40	-0,80	DFA
	RR	-0,80	-1,00	0,00	0,74	0,95	0,60	-0,80	-1,00	
	DET	0,00	0,60	-0,80	-0,95	-0,32	-1,00	0,00	0,60	RQA
	ENT	0,00	0,60	-0,80	-0,95	-0,32	-1,00	0,00	0,60	
	L	-0,26	0,26	-0,77	-0,54	0,00	-0,77	-0,26	0,26	
	Lyap	0,40	0,20	0,40	-0,11	-0,32	0,20	0,40	0,20	Lyapunov

		Přilety	Odlety	Zápisy	Chyby	Chybovost	Úspěšnost	Přelety	Přelety – zápisy	
Heart rate	SD1	0,20	0,40	-0,40	-1,00	-0,40	-0,40	0,20	0,40	Poincaré plot
	SD2	0,40	0,80	-0,20	-0,80	-0,80	-0,80	0,40	0,80	
	ApEn	-1,00	-0,80	-0,80	0,20	0,80	0,80	-1,00	-0,80	ApEn
	Alpha	-0,40	-0,20	0,00	0,80	0,20	0,20	-0,40	-0,20	DFA
	RR	-0,40	-0,80	0,20	0,80	0,80	0,80	-0,40	-0,80	RQA
	DET	0,80	1,00	0,40	-0,40	-1,00	-1,00	0,80	1,00	
	ENT	0,80	1,00	0,40	-0,40	-1,00	-1,00	0,80	1,00	
	L	0,63	0,95	0,11	-0,63	-0,95	-0,95	0,63	0,95	Lyapunov
	Lyap	0,77	0,77	0,26	-0,77	-0,77	-0,77	0,77	0,77	
RRI	SD1	0,20	0,40	-0,40	-1,00	-0,40	-0,40	0,20	0,40	Poincaré plot
	SD2	0,40	0,80	-0,20	-0,80	-0,80	-0,80	0,40	0,80	
	ApEn	-0,40	-0,20	0,00	0,80	0,20	0,20	-0,40	-0,20	ApEn
	Alpha	0,40	0,80	0,20	0,00	-0,80	-0,80	0,40	0,80	DFA
	RR	0,60	0,00	0,80	0,20	0,00	0,00	0,60	0,00	RQA
	DET	-0,40	-0,20	-0,80	-0,80	0,20	0,20	-0,40	-0,20	
	ENT	-0,40	-0,20	-0,80	-0,80	0,20	0,20	-0,40	-0,20	
	L	0,77	0,77	0,26	-0,77	-0,77	-0,77	0,77	0,77	Lyapunov
	Lyap	0,20	0,40	-0,40	-1,00	-0,40	-0,40	0,20	0,40	
Temperature	SD1	0,80	0,40	1,00	0,40	-0,40	-0,40	0,80	0,40	Poincaré plot
	SD2	0,80	0,40	1,00	0,40	-0,40	-0,40	0,80	0,40	
	ApEn	0,80	0,40	0,60	-0,40	-0,40	-0,40	0,80	0,40	ApEn
	Alpha	0,80	1,00	0,40	-0,40	-1,00	-1,00	0,80	1,00	DFA
	RR	-0,32	-0,32	0,21	0,95	0,32	0,32	-0,32	-0,32	RQA
	DET	0,77	0,77	0,26	-0,77	-0,77	-0,77	0,77	0,77	
	ENT	0,77	0,77	0,26	-0,77	-0,77	-0,77	0,77	0,77	
	L	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	Lyapunov
	Lyap	0,77	0,77	0,26	-0,77	-0,77	-0,77	0,77	0,77	
Humidity	SD1	0,80	0,40	0,60	-0,40	-0,40	-0,40	0,80	0,40	Poincaré plot
	SD2	0,20	0,40	-0,40	-1,00	-0,40	-0,40	0,20	0,40	
	ApEn	0,80	1,00	0,40	-0,40	-1,00	-1,00	0,80	1,00	ApEn
	Alpha	-1,00	-0,80	-0,80	0,20	0,80	0,80	-1,00	-0,80	DFA
	RR	-0,20	-0,40	0,40	1,00	0,40	0,40	-0,20	-0,40	RQA
	DET	-0,74	-0,21	-0,74	0,11	0,21	0,21	-0,74	-0,21	
	ENT	-0,74	-0,21	-0,74	0,11	0,21	0,21	-0,74	-0,21	
	L	1,00	1,00	1,00	1,00	-1,00	-1,00	1,00	1,00	Lyapunov
	Lyap	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	

Breath	SD1	0,40	0,80	-0,20	-0,80	-0,80	-0,80	0,40	0,80	Poincaré plot
	SD2	1,00	0,80	0,80	-0,20	-0,80	-0,80	1,00	0,80	
	ApEn	-0,80	-0,40	-0,60	0,40	0,40	0,40	-0,80	-0,40	ApEn
	Alpha	0,40	0,20	0,80	0,80	-0,20	-0,20	0,40	0,20	DFA
	RR	0,40	0,20	0,80	0,80	-0,20	-0,20	0,40	0,20	
	DET	0,40	0,20	0,00	-0,80	-0,20	-0,20	0,40	0,20	RQA
	ENT	0,80	0,40	0,60	-0,40	-0,40	-0,40	0,80	0,40	
	L	-0,80	-0,40	-1,00	-0,40	0,40	0,40	-0,80	-0,40	Lyapunov
	Lyap	1,00	0,80	0,80	-0,20	-0,80	-0,80	1,00	0,80	
	SD1	0,80	1,00	0,40	-0,40	-1,00	-1,00	0,80	1,00	Poincaré plot
ACC_VEC	SD2	0,80	1,00	0,40	-0,40	-1,00	-1,00	0,80	1,00	
	ApEn	-0,50	-1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	-0,50	-1,00	ApEn
	Alpha	-0,80	-0,40	-0,60	0,40	0,40	0,40	-0,80	-0,40	DFA
	RR	0,20	0,40	0,40	0,60	-0,40	-0,40	0,20	0,40	
	DET	0,21	0,74	-0,11	-0,21	-0,74	-0,74	0,21	0,74	RQA
	ENT	0,63	0,95	0,11	-0,63	-0,95	-0,95	0,63	0,95	
	L	-1,00	-1,00	-1,00	1,00	1,00	1,00	-1,00	-1,00	Lyapunov
	Lyap	0,40	0,20	0,80	0,80	-0,20	-0,20	0,40	0,20	

Subjekt 4 – 60 minut

		Přilety	Odlety	Zápisy	Chyby	Chybovost	Úspěšnost	Přelety	Přelety – zápisy	
Heart rate	SD1	0,80	1,00	0,80	-0,60	-0,80	-0,80	0,80	1,00	Poincaré plot
	SD2	0,40	0,80	0,40	-0,80	-1,00	-1,00	0,40	0,80	
	ApEn	0,80	1,00	0,80	-0,60	-0,80	-0,80	0,80	1,00	ApEn
	Alpha	0,00	0,60	0,00	-1,00	-0,80	-0,80	0,00	0,60	DFA
	RR	-0,80	-1,00	-0,80	0,60	0,80	0,80	-0,80	-1,00	RQA
	DET	-0,40	-0,80	-0,40	0,80	0,60	0,60	-0,40	-0,80	
	ENT	-0,40	-0,80	-0,40	0,80	0,60	0,60	-0,40	-0,80	
	L	0,80	0,40	0,80	0,40	-0,20	-0,20	0,80	0,40	
	Lyap	0,77	0,77	0,77	-0,26	-0,26	-0,26	0,77	0,77	Lyapunov
	SD1	0,80	1,00	0,80	-0,60	-0,80	-0,80	0,80	1,00	Poincaré plot
RRI	SD2	0,40	0,80	0,40	-0,80	-1,00	-1,00	0,40	0,80	
	ApEn	1,00	1,00	1,00	-1,00	-1,00	-1,00	1,00	1,00	ApEn
	Alpha	-0,80	-0,40	-0,80	-0,40	0,20	0,20	-0,80	-0,40	DFA
	RR	1,00	1,00	1,00	1,00	-1,00	-1,00	1,00	1,00	RQA
	DET	1,00	1,00	1,00	1,00	-1,00	-1,00	1,00	1,00	
	ENT	1,00	1,00	1,00	1,00	-1,00	-1,00	1,00	1,00	
	L	1,00	1,00	1,00	1,00	-1,00	-1,00	1,00	1,00	
	Lyap	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	1,00	1,00	-1,00	-1,00	Lyapunov
	SD1	0,40	0,20	0,40	0,20	0,40	0,40	0,40	0,20	Poincaré plot
	SD2	0,40	0,20	0,40	0,20	0,40	0,40	0,40	0,20	
Temperature	ApEn	1,00	0,80	1,00	0,00	-0,40	-0,40	1,00	0,80	ApEn
	Alpha	-1,00	-0,80	-1,00	0,00	0,40	0,40	-1,00	-0,80	DFA
	RR	-0,20	-0,40	-0,20	0,40	0,00	0,00	-0,20	-0,40	RQA
	DET	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
	ENT	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
	L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Lyap	-0,74	-0,21	-0,74	-0,63	-0,32	-0,32	-0,74	-0,21	Lyapunov
	SD1	0,80	1,00	0,80	-0,60	-0,80	-0,80	0,80	1,00	Poincaré plot
	SD2	0,20	0,40	0,20	-0,40	0,00	0,00	0,20	0,40	
	ApEn	0,80	1,00	0,80	-0,60	-0,80	-0,80	0,80	1,00	ApEn
Humidity	Alpha	-0,80	-1,00	-0,80	0,60	0,80	0,80	-0,80	-1,00	DFA
	RR	-0,40	-0,80	-0,40	0,80	1,00	1,00	-0,40	-0,80	RQA
	DET	-0,11	0,11	-0,11	-0,32	-0,63	-0,63	-0,11	0,11	
	ENT	-0,11	0,11	-0,11	-0,32	-0,63	-0,63	-0,11	0,11	
	L	-1,00	1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	1,00	
	Lyap	-0,26	0,26	-0,26	-0,77	-0,77	-0,77	-0,26	0,26	Lyapunov

Breath	SD1	1,00	0,80	1,00	0,00	-0,40	-0,40	1,00	0,80	Poincaré plot
	SD2	1,00	0,80	1,00	0,00	-0,40	-0,40	1,00	0,80	
	ApEn	0,20	0,40	0,20	-0,40	0,00	0,00	0,20	0,40	ApEn
	Alpha	-0,60	0,00	-0,60	-0,80	-0,40	-0,40	-0,60	0,00	DFA
	RR	-0,40	-0,20	-0,40	-0,20	0,40	0,40	-0,40	-0,20	
	DET	-0,40	-0,80	-0,40	0,80	1,00	1,00	-0,40	-0,80	RQA
	ENT	-0,40	-0,80	-0,40	0,80	1,00	1,00	-0,40	-0,80	
	L	-0,40	-0,80	-0,40	0,80	1,00	1,00	-0,40	-0,80	
	Lyap	0,80	1,00	0,80	-0,60	-0,80	-0,80	0,80	1,00	Lyapunov
	SD1	0,40	0,80	0,40	-0,80	-1,00	-1,00	0,40	0,80	Poincaré plot
ACC_VEC	SD2	0,80	1,00	0,80	-0,60	-0,80	-0,80	0,80	1,00	
	ApEn	0,60	0,00	0,60	0,80	0,40	0,40	0,60	0,00	ApEn
	Alpha	-0,80	-1,00	-0,80	0,60	0,80	0,80	-0,80	-1,00	DFA
	RR	-0,40	-0,80	-0,40	0,80	0,60	0,60	-0,40	-0,80	
	DET	0,95	0,63	0,95	0,21	-0,11	-0,11	0,95	0,63	RQA
	ENT	0,95	0,63	0,95	0,21	-0,11	-0,11	0,95	0,63	
	L	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
	Lyap	-0,40	-0,80	-0,40	0,80	1,00	1,00	-0,40	-0,80	Lyapunov

Medián korelací

		Přilety	Odlety	Zápisy	Chyby	Chybovost	Úspěšnost	Přelety	Přelety – zápisy	
Heart rate	SD1	0,13	0,16	-0,01	-0,07	-0,08	-0,11	0,19	0,22	Poincaré plot
	SD2	0,10	0,01	-0,13	-0,20	-0,20	-0,13	0,09	0,14	
	ApEn	-0,04	0,02	0,04	0,25	0,24	0,04	0,01	0,01	ApEn
	Alpha	0,08	0,09	-0,02	-0,12	-0,12	-0,09	0,10	0,07	DFA
	RR	-0,24	-0,21	-0,08	-0,01	0,10	0,07	-0,25	-0,21	
	DET	0,06	-0,01	-0,05	0,05	0,07	-0,02	0,02	0,06	RQA
	ENT	0,06	-0,01	-0,07	0,03	0,06	-0,01	0,01	0,07	
	L	-0,03	-0,10	-0,04	0,07	0,07	0,04	-0,07	-0,11	
	Lyap	0,11	0,09	0,20	0,05	-0,03	0,09	0,10	0,02	Lyapunov
	SD1	0,26	0,23	0,15	-0,03	-0,08	-0,06	0,27	0,19	Poincaré plot
RRI	SD2	0,05	0,05	-0,04	-0,16	-0,15	-0,08	0,09	0,09	
	ApEn	-0,14	-0,15	0,08	0,13	0,09	0,16	-0,18	-0,21	ApEn
	Alpha	0,04	0,17	-0,15	-0,16	-0,10	-0,23	0,15	0,18	DFA
	RR	-0,12	-0,16	0,01	-0,02	-0,03	0,08	-0,15	-0,11	
	DET	-0,15	-0,26	-0,08	0,03	-0,01	0,05	-0,26	-0,18	RQA
	ENT	-0,14	-0,25	-0,09	0,03	-0,02	0,03	-0,25	-0,17	
	L	-0,06	-0,10	-0,03	0,07	-0,07	0,01	-0,10	-0,07	
	Lyap	0,18	0,08	0,01	0,06	0,04	-0,08	0,15	0,13	Lyapunov
	SD1	0,12	0,06	-0,01	-0,02	0,03	-0,08	0,10	0,10	Poincaré plot
	SD2	0,02	-0,08	-0,08	-0,09	0,00	-0,03	-0,02	0,02	
Temperature	ApEn	0,12	-0,02	-0,13	-0,05	0,08	-0,10	0,06	0,11	ApEn
	Alpha	-0,37	-0,39	-0,22	-0,10	0,00	0,04	-0,46	-0,32	DFA
	RR	-0,25	0,04	-0,06	0,08	0,05	0,09	-0,18	-0,21	
	DET	0,42	0,32	0,22	0,06	-0,04	-0,07	0,41	0,35	RQA
	ENT	0,45	0,25	0,24	0,06	0,00	-0,08	0,39	0,28	
	L	-0,05	-0,17	-0,14	0,08	-0,06	-0,01	-0,18	0,00	
	Lyap	0,11	0,07	0,20	0,11	0,02	0,06	0,17	0,06	Lyapunov
	SD1	0,35	0,24	0,09	-0,05	-0,10	-0,13	0,34	0,23	Poincaré plot
	SD2	0,15	0,07	-0,03	-0,11	-0,09	-0,08	0,15	0,12	
	ApEn	0,32	0,18	0,10	-0,11	-0,13	-0,09	0,27	0,21	ApEn
Humidity	Alpha	-0,17	-0,12	-0,27	-0,15	-0,08	-0,06	-0,14	-0,05	DFA
	RR	-0,29	-0,19	0,01	0,15	0,18	0,13	-0,26	-0,29	
	DET	0,09	0,09	0,02	-0,08	-0,12	0,03	0,10	0,06	RQA
	ENT	0,09	0,11	0,02	-0,09	-0,14	0,03	0,10	0,07	
	L	-0,10	-0,07	-0,02	0,04	0,03	0,12	-0,14	-0,10	
	Lyap	0,23	0,15	0,08	-0,07	-0,06	-0,05	0,19	0,17	Lyapunov

Breath	SD1	0,13	0,16	0,10	-0,03	0,00	-0,07	0,19	0,07	Poincaré plot
	SD2	0,11	0,13	-0,04	-0,05	-0,04	-0,10	0,17	0,13	
	ApEn	-0,14	-0,14	0,07	0,08	0,03	0,13	-0,19	-0,18	ApEn
	Alpha	0,04	-0,03	-0,17	-0,08	-0,05	-0,09	-0,02	0,08	DFA
	RR	0,05	-0,04	0,01	0,16	0,10	0,02	0,00	-0,02	RQA
	DET	0,03	-0,21	-0,08	0,04	0,04	0,02	-0,10	-0,04	
	ENT	0,02	-0,22	-0,09	0,03	0,03	0,02	-0,12	-0,05	
	L	0,02	-0,10	-0,19	-0,02	-0,02	-0,14	-0,05	0,06	
	Lyap	0,08	0,19	0,09	-0,05	-0,09	-0,01	0,14	0,13	Lyapunov
	SD1	0,19	0,10	-0,05	-0,07	-0,11	-0,14	0,17	0,16	Poincaré plot
ACC_VEC	SD2	0,16	0,17	-0,10	-0,11	-0,12	-0,20	0,21	0,23	
	ApEn	-0,02	0,05	0,27	0,18	0,07	0,18	-0,01	-0,11	ApEn
	Alpha	-0,12	-0,07	-0,10	-0,07	0,02	-0,07	-0,12	-0,01	DFA
	RR	-0,03	-0,07	0,00	0,13	0,15	0,05	-0,05	-0,04	RQA
	DET	-0,02	0,11	-0,13	-0,04	0,09	-0,17	0,09	0,08	
	ENT	0,00	0,11	-0,12	-0,04	0,09	-0,16	0,09	0,09	
	L	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	Lyapunov
	Lyap	0,02	0,07	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	0,06	0,10	

Průměr korelací

		Přilety	Odlety	Zápisy	Chyby	Chybovost	Úspěšnost	Přelety	Přelety – zápisy	
Heart rate	SD1	0,18	0,20	0,02	-0,08	-0,10	-0,14	0,23	0,22	Poincaré plot
	SD2	0,11	0,01	-0,13	-0,20	-0,18	-0,14	0,08	0,12	
	ApEn	-0,05	0,02	0,05	0,21	0,24	0,03	-0,02	-0,03	ApEn
	Alpha	0,07	0,07	-0,02	-0,12	-0,13	-0,09	0,10	0,09	DFA
	RR	-0,19	-0,19	-0,08	0,01	0,10	0,05	-0,21	-0,18	
	DET	0,06	0,02	-0,03	0,01	0,03	-0,02	0,03	0,05	RQA
	ENT	0,05	0,02	-0,03	0,02	0,04	-0,02	0,02	0,04	
	L	-0,04	-0,06	0,01	0,03	0,04	0,09	-0,08	-0,10	
	Lyap	0,08	0,07	0,19	0,07	-0,01	0,12	0,08	0,00	Lyapunov
RRI	SD1	0,23	0,23	0,16	-0,05	-0,10	-0,03	0,26	0,20	Poincaré plot
	SD2	0,04	0,04	-0,06	-0,16	-0,14	-0,08	0,05	0,06	
	ApEn	-0,13	-0,20	0,03	0,08	0,08	0,15	-0,20	-0,22	ApEn
	Alpha	0,10	0,15	-0,18	-0,15	-0,08	-0,22	0,17	0,21	DFA
	RR	-0,13	-0,11	-0,01	0,01	-0,01	0,06	-0,12	-0,09	
	DET	-0,14	-0,25	-0,10	0,02	0,06	0,04	-0,23	-0,17	RQA
	ENT	-0,13	-0,24	-0,11	0,02	0,05	0,02	-0,22	-0,16	
	L	0,00	-0,10	0,02	0,00	-0,09	0,04	-0,07	-0,04	
	Lyap	0,13	0,10	0,05	0,03	0,04	-0,03	0,13	0,09	Lyapunov
Temperature	SD1	0,12	0,06	0,01	-0,01	0,02	-0,06	0,11	0,10	Poincaré plot
	SD2	0,02	-0,06	-0,07	-0,08	-0,01	-0,04	-0,02	0,02	
	ApEn	0,10	-0,01	-0,10	-0,04	0,07	-0,10	0,06	0,10	ApEn
	Alpha	-0,29	-0,36	-0,18	-0,10	0,03	0,06	-0,38	-0,29	DFA
	RR	-0,31	-0,03	-0,06	0,09	0,08	0,08	-0,18	-0,18	
	DET	0,40	0,30	0,20	0,05	-0,07	-0,10	0,41	0,32	RQA
	ENT	0,39	0,25	0,19	0,03	-0,08	-0,09	0,37	0,29	
	L	0,00	-0,18	-0,06	0,03	-0,05	0,13	-0,14	-0,07	
	Lyap	0,12	0,04	0,19	0,05	-0,02	0,13	0,12	-0,01	Lyapunov
Humidity	SD1	0,34	0,23	0,13	-0,08	-0,10	-0,09	0,33	0,24	Poincaré plot
	SD2	0,19	0,06	-0,04	-0,11	-0,09	-0,12	0,15	0,16	
	ApEn	0,31	0,18	0,10	-0,11	-0,10	-0,09	0,27	0,19	ApEn
	Alpha	-0,17	-0,16	-0,23	-0,14	-0,09	-0,09	-0,17	-0,06	DFA
	RR	-0,27	-0,22	0,03	0,16	0,15	0,15	-0,29	-0,26	
	DET	0,08	0,10	0,02	-0,08	-0,11	-0,01	0,09	0,07	RQA
	ENT	0,08	0,10	0,03	-0,09	-0,12	0,00	0,09	0,06	
	L	-0,12	-0,05	0,00	0,05	0,03	0,08	-0,10	-0,10	
	Lyap	0,23	0,12	0,07	-0,06	-0,08	-0,07	0,20	0,16	Lyapunov

Breath	SD1	0,10	0,12	-0,01	-0,04	-0,01	-0,06	0,14	0,10	Poincaré plot
	SD2	0,06	0,06	-0,08	-0,07	-0,03	-0,09	0,08	0,08	
	ApEn	-0,14	-0,06	0,08	0,05	0,03	0,11	-0,11	-0,12	ApEn
	Alpha	-0,06	-0,03	-0,15	-0,10	-0,06	-0,10	-0,05	0,03	DFA
	RR	0,03	-0,03	0,01	0,14	0,13	0,00	0,00	0,02	RQA
	DET	0,02	-0,23	-0,05	0,03	0,04	0,03	-0,12	-0,07	
	ENT	0,00	-0,24	-0,05	0,03	0,04	0,04	-0,14	-0,09	
	L	-0,06	-0,10	-0,18	-0,05	0,00	-0,05	-0,09	-0,01	
	Lyap	0,03	0,17	0,07	0,00	-0,02	0,01	0,10	0,07	Lyapunov
	SD1	0,19	0,13	-0,02	-0,09	-0,07	-0,15	0,19	0,17	Poincaré plot
ACC_VEC	SD2	0,16	0,15	-0,08	-0,11	-0,09	-0,19	0,19	0,20	
	ApEn	-0,02	0,03	0,28	0,13	-0,01	0,20	0,00	-0,10	ApEn
	Alpha	-0,11	-0,07	-0,13	-0,05	0,01	-0,09	-0,09	0,00	DFA
	RR	-0,14	-0,08	-0,01	0,12	0,14	0,12	-0,12	-0,13	RQA
	DET	-0,05	0,08	-0,17	-0,09	0,09	-0,14	0,03	0,07	
	ENT	-0,05	0,08	-0,17	-0,09	0,09	-0,14	0,03	0,07	
	L	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
	Lyap	0,05	-0,01	-0,09	-0,12	-0,12	-0,11	0,01	0,07	Lyapunov

10.2 Korelace statistických hodnot a ukazatelů

Subjekt 1 – 5 minut

		Přilety	Odlety	Zápisy	Chyby	Chybovost	Úspěšnost	Přelety	Přelety – zápisy
Heart rate	Mean	-0,09	-0,30	-0,46	-0,26	0,17	-0,24	-0,21	-0,05
	Median	-0,04	-0,30	-0,42	-0,16	0,25	-0,23	-0,19	-0,02
	Std	0,00	-0,08	-0,26	-0,30	-0,15	-0,19	-0,05	0,03
RRI	Mean	0,08	0,30	0,42	0,21	-0,20	0,20	0,21	0,06
	Median	0,04	0,25	0,37	0,13	-0,25	0,20	0,16	0,03
	Std	-0,09	-0,18	-0,29	-0,29	-0,09	-0,14	-0,14	-0,05
Temperature	Mean	0,02	0,01	0,27	0,08	-0,14	0,19	0,00	-0,11
	Median	0,01	0,03	0,31	0,10	-0,17	0,22	0,01	-0,12
	Std	-0,01	-0,06	-0,34	-0,13	0,20	-0,30	0,02	0,17
Humidity	Mean	0,18	0,03	-0,25	-0,09	0,18	-0,33	0,14	0,24
	Median	0,15	0,04	-0,24	-0,10	0,17	-0,31	0,12	0,22
	Std	0,38	0,16	-0,14	-0,10	0,03	-0,39	0,33	0,41
Breath	Mean	-0,38	-0,23	-0,16	0,01	0,10	0,15	-0,33	-0,30
	Median	-0,37	-0,20	-0,19	0,00	0,14	0,11	-0,30	-0,25
	Std	-0,39	-0,27	-0,37	-0,19	0,05	0,02	-0,36	-0,26
ACC_VEC	Mean	-0,25	-0,03	-0,29	-0,17	-0,03	-0,12	-0,12	0,00
	Median	-0,19	-0,08	-0,29	-0,10	0,07	-0,12	-0,13	-0,01
	Std	-0,01	-0,17	-0,24	-0,23	-0,05	-0,12	-0,10	-0,05

Subjekt 2 – 5 minut

		Přilety	Odlety	Zápisy	Chyby	Chybovost	Úspěšnost	Přelety	Přelety – zápisy
Heart rate	Mean	-0,02	-0,05	-0,26	-0,15	-0,10	-0,22	-0,02	0,07
	Median	0,04	-0,02	-0,17	-0,03	0,05	-0,15	0,03	0,07
	Std	-0,15	0,05	-0,29	-0,17	-0,17	-0,19	-0,01	0,07
RRI	Mean	0,00	0,06	0,24	0,13	0,09	0,21	0,01	-0,07
	Median	-0,07	0,10	0,22	0,09	0,03	0,18	0,00	-0,06
	Std	-0,06	0,10	-0,23	-0,10	-0,13	-0,17	0,08	0,13
Temperature	Mean	0,18	0,12	-0,12	-0,01	0,05	-0,19	0,17	0,20
	Median	0,36	0,16	-0,04	-0,02	0,00	-0,21	0,33	0,33
	Std	-0,07	-0,12	0,11	-0,01	-0,01	0,14	-0,11	-0,14
Humidity	Mean	-0,28	-0,12	0,21	-0,01	-0,10	0,30	-0,23	-0,29
	Median	-0,44	-0,15	0,19	-0,07	-0,16	0,35	-0,37	-0,41
	Std	0,09	0,15	-0,10	-0,13	-0,08	-0,13	0,16	0,17
Breath	Mean	-0,15	-0,16	-0,10	-0,08	-0,07	0,00	-0,17	-0,12
	Median	-0,27	-0,20	-0,21	-0,10	-0,06	-0,03	-0,28	-0,19
	Std	-0,14	0,04	-0,03	-0,01	-0,03	-0,01	-0,03	-0,03
ACC_VEC	Mean	-0,04	-0,20	0,37	0,21	0,09	0,39	-0,20	-0,32
	Median	-0,08	-0,09	0,42	0,22	0,08	0,42	-0,14	-0,29
	Std	0,10	0,10	-0,20	0,02	0,11	-0,24	0,16	0,18

Subjekt 3 – 5 minut

		Přilety	Odlety	Zápisy	Chyby	Chybovost	Úspěšnost	Přelety	Přelety – zápisy
Heart rate	Mean	-0,29	-0,39	-0,21	0,02	0,07	0,03	-0,39	-0,09
	Median	-0,33	-0,41	-0,19	0,06	0,06	0,07	-0,41	-0,12
	Std	0,27	0,20	-0,06	-0,38	-0,26	-0,20	0,28	0,27
RRI	Mean	0,31	0,42	0,19	-0,04	-0,05	-0,06	0,42	0,12
	Median	0,29	0,41	0,23	-0,04	-0,06	-0,02	0,40	0,09
	Std	0,10	0,20	0,12	-0,20	-0,15	-0,04	0,21	0,15
Temperature	Mean	0,37	0,30	0,21	0,16	0,14	-0,03	0,39	0,12
	Median	0,27	0,28	0,27	0,22	0,20	0,04	0,31	0,02
	Std	-0,17	0,05	0,14	0,17	0,18	0,10	-0,09	-0,19
Humidity	Mean	-0,11	-0,19	-0,15	-0,33	-0,28	-0,04	-0,15	-0,02
	Median	-0,14	-0,17	-0,21	-0,28	-0,19	-0,06	-0,17	-0,01
	Std	0,10	0,17	0,23	-0,09	-0,12	0,02	0,19	0,02
Breath	Mean	-0,44	-0,40	-0,20	-0,06	-0,09	0,13	-0,48	-0,18
	Median	-0,43	-0,39	-0,20	-0,06	-0,10	0,12	-0,48	-0,18
	Std	0,23	0,17	-0,02	-0,10	-0,01	-0,19	0,28	0,22
ACC_VEC	Mean	0,03	-0,04	-0,15	-0,06	-0,03	-0,10	-0,04	0,05
	Median	0,02	-0,01	-0,19	-0,06	0,01	-0,11	-0,02	0,05
	Std	0,11	0,01	0,02	-0,30	-0,21	-0,03	0,04	0,03

Subjekt 4 – 5 minut

		Přilety	Odlety	Zápisy	Chyby	Chybovost	Úspěšnost	Přelety	Přelety – zápisy
Heart rate	Mean	0,15	0,37	0,25	0,08	-0,11	-0,04	0,28	0,20
	Median	0,14	0,40	0,24	0,02	-0,17	-0,05	0,29	0,22
	Std	0,41	0,25	0,18	-0,05	-0,21	-0,10	0,40	0,31
RRI	Mean	-0,17	-0,38	-0,25	-0,10	0,09	0,05	-0,30	-0,21
	Median	-0,13	-0,41	-0,18	-0,19	-0,01	0,08	-0,32	-0,23
	Std	0,23	0,19	0,19	-0,08	-0,20	-0,04	0,23	0,17
Temperature	Mean	0,16	0,10	0,06	-0,05	-0,16	-0,08	0,15	0,17
	Median	0,38	0,18	0,13	0,06	-0,06	-0,12	0,36	0,27
	Std	-0,01	-0,01	-0,06	-0,02	0,06	0,04	0,01	-0,05
Humidity	Mean	-0,13	-0,14	-0,06	0,12	0,20	0,07	-0,15	-0,15
	Median	-0,23	-0,05	-0,05	0,06	0,14	0,06	-0,19	-0,15
	Std	0,23	0,13	0,02	-0,02	-0,09	-0,04	0,24	0,15
Breath	Mean	0,14	0,12	-0,09	-0,22	-0,17	-0,16	0,16	0,12
	Median	0,15	0,06	-0,10	-0,29	-0,22	-0,15	0,12	0,10
	Std	0,26	0,25	-0,15	0,01	0,05	-0,33	0,31	0,31
ACC_VEC	Mean	-0,51	-0,45	-0,11	0,01	0,03	0,33	-0,60	-0,49
	Median	-0,53	-0,43	-0,05	0,06	0,06	0,36	-0,60	-0,51
	Std	0,18	0,26	0,08	0,16	0,00	-0,11	0,27	0,19

Subjekt 1 – 60 minut

		Přílety	Odlety	Zápisy	Chyby	Chybovost	Úspěšnost	Přelety	Přelety – zápisy
Heart rate	Mean	-0,20	-0,40	-0,40	-0,63	0,40	-0,60	-0,20	-0,40
	Median	0,40	0,20	0,00	-0,32	-0,20	-0,80	0,40	0,20
	Std	0,80	1,00	0,40	0,32	-1,00	-0,40	0,80	1,00
RRI	Mean	-0,40	-0,20	0,00	0,32	0,20	0,80	-0,40	-0,20
	Median	-0,40	-0,20	0,00	0,32	0,20	0,80	-0,40	-0,20
	Std	1,00	0,80	0,80	0,63	-0,80	-0,20	1,00	0,80
Temperature	Mean	-0,40	-0,20	0,00	0,32	0,20	0,80	-0,40	-0,20
	Median	0,20	0,40	0,40	0,63	-0,40	0,60	0,20	0,40
	Std	0,80	0,40	0,60	0,32	-0,40	-0,40	0,80	0,40
Humidity	Mean	0,40	0,80	-0,20	-0,32	-0,80	-0,80	0,40	0,80
	Median	0,40	0,80	-0,20	-0,32	-0,80	-0,80	0,40	0,80
	Std	0,20	0,40	-0,40	-0,63	-0,40	-1,00	0,20	0,40
Breath	Mean	-0,20	-0,40	-0,40	-0,63	0,40	-0,60	-0,20	-0,40
	Median	-0,40	-0,80	-0,20	-0,32	0,80	0,00	-0,40	-0,80
	Std	0,40	0,20	0,00	-0,32	-0,20	-0,80	0,40	0,20
ACC_VEC	Mean	-1,00	-0,80	-0,80	-0,63	0,80	0,20	-1,00	-0,80
	Median	-0,20	-0,40	-0,40	-0,63	0,40	-0,60	-0,20	-0,40
	Std	0,00	0,60	-0,40	-0,32	-0,60	-0,40	0,00	0,60

Subjekt 2 – 60 minut

		Přilety	Odlety	Zápisy	Chyby	Chybovost	Úspěšnost	Přelehy	Přelehy – zápisy
Heart rate	Mean	-0,40	-0,20	-0,40	-0,32	0,32	-0,20	-0,40	-0,20
	Median	0,32	0,63	-0,32	-0,83	-0,50	-0,63	0,32	0,63
	Std	0,40	0,80	-0,40	-0,95	-0,63	-0,80	0,40	0,80
RRI	Mean	-0,20	-0,40	0,20	0,63	0,32	0,40	-0,20	-0,40
	Median	-0,32	-0,63	0,32	0,83	0,50	0,63	-0,32	-0,63
	Std	0,80	1,00	0,00	-0,74	-0,95	-0,60	0,80	1,00
Temperature	Mean	-0,40	-0,20	-0,40	0,11	0,32	-0,20	-0,40	-0,20
	Median	0,95	0,95	0,32	-0,50	-1,00	-0,32	0,95	0,95
	Std	0,40	0,20	0,40	-0,11	-0,32	0,20	0,40	0,20
Humidity	Mean	0,40	0,20	0,40	-0,11	-0,32	0,20	0,40	0,20
	Median	-0,63	-0,95	0,21	0,78	0,83	0,74	-0,63	-0,95
	Std	0,40	0,20	0,40	-0,11	-0,32	0,20	0,40	0,20
Breath	Mean	0,20	0,40	-0,20	-0,63	-0,32	-0,40	0,20	0,40
	Median	-0,80	-0,40	-0,80	-0,32	0,63	-0,40	-0,80	-0,40
	Std	0,40	0,20	0,40	-0,11	-0,32	0,20	0,40	0,20
ACC_VEC	Mean	-0,40	-0,80	0,40	0,95	0,63	0,80	-0,40	-0,80
	Median	-0,40	-0,80	0,40	0,95	0,63	0,80	-0,40	-0,80
	Std	-0,60	0,00	-1,00	-0,63	0,32	-0,80	-0,60	0,00

Subjekt 3 – 60 minut

		Přilety	Odlety	Zápisy	Chyby	Chybovost	Úspěšnost	Přelety	Přelety – zápisy
Heart rate	Mean	-0,40	-0,80	-0,20	0,00	0,80	0,80	-0,40	-0,80
	Median	-0,40	-0,80	-0,20	0,00	0,80	0,80	-0,40	-0,80
	Std	0,40	0,80	-0,20	-0,80	-0,80	-0,80	0,40	0,80
RRI	Mean	0,20	0,40	0,40	0,60	-0,40	-0,40	0,20	0,40
	Median	0,40	0,80	0,20	0,00	-0,80	-0,80	0,40	0,80
	Std	0,40	0,80	-0,20	-0,80	-0,80	-0,80	0,40	0,80
Temperature	Mean	-0,40	-0,20	0,00	0,80	0,20	0,20	-0,40	-0,20
	Median	0,20	0,40	0,40	0,60	-0,40	-0,40	0,20	0,40
	Std	0,20	0,40	0,40	0,60	-0,40	-0,40	0,20	0,40
Humidity	Mean	0,40	0,80	-0,20	-0,80	-0,80	-0,80	0,40	0,80
	Median	0,32	0,63	-0,32	-0,95	-0,63	-0,63	0,32	0,63
	Std	0,20	0,40	-0,40	-1,00	-0,40	-0,40	0,20	0,40
Breath	Mean	0,40	0,20	0,00	-0,80	-0,20	-0,20	0,40	0,20
	Median	-0,40	-0,80	-0,20	0,00	0,80	0,80	-0,40	-0,80
	Std	1,00	0,80	0,80	-0,20	-0,80	-0,80	1,00	0,80
ACC_VEC	Mean	0,00	0,60	-0,40	-0,40	-0,60	-0,60	0,00	0,60
	Median	0,00	0,60	-0,40	-0,40	-0,60	-0,60	0,00	0,60
	Std	0,40	0,80	-0,20	-0,80	-0,80	-0,80	0,40	0,80

Subjekt 4 – 60 minut

		Přilety	Odlety	Zápisy	Chyby	Chybovost	Úspěšnost	Přelehy	Přelehy – zápisy
Heart rate	Mean	0,40	0,20	0,40	0,20	-0,40	-0,40	0,40	0,20
	Median	0,40	0,20	0,40	0,20	-0,40	-0,40	0,40	0,20
	Std	0,80	1,00	0,80	-0,60	-0,80	-0,80	0,80	1,00
RRI	Mean	-0,40	-0,20	-0,40	-0,20	0,40	0,40	-0,40	-0,20
	Median	-0,80	-0,40	-0,80	-0,40	0,20	0,20	-0,80	-0,40
	Std	0,40	0,80	0,40	-0,80	-1,00	-1,00	0,40	0,80
Temperature	Mean	-0,40	-0,20	-0,40	-0,20	-0,40	-0,40	-0,40	-0,20
	Median	0,63	0,95	0,63	-0,74	-0,95	-0,95	0,63	0,95
	Std	0,40	0,20	0,40	0,20	0,40	0,40	0,40	0,20
Humidity	Mean	-0,20	-0,40	-0,20	0,40	0,80	0,80	-0,20	-0,40
	Median	-0,63	-0,95	-0,63	0,74	0,95	0,95	-0,63	-0,95
	Std	0,20	0,40	0,20	-0,40	0,00	0,00	0,20	0,40
Breath	Mean	0,40	0,80	0,40	-0,80	-0,60	-0,60	0,40	0,80
	Median	0,40	0,80	0,40	-0,80	-0,60	-0,60	0,40	0,80
	Std	0,80	1,00	0,80	-0,60	-0,80	-0,80	0,80	1,00
ACC_VEC	Mean	-1,00	-0,80	-1,00	0,00	0,40	0,40	-1,00	-0,80
	Median	-1,00	-0,80	-1,00	0,00	0,40	0,40	-1,00	-0,80
	Std	0,40	0,80	0,40	-0,80	-1,00	-1,00	0,40	0,80

Medián korelací

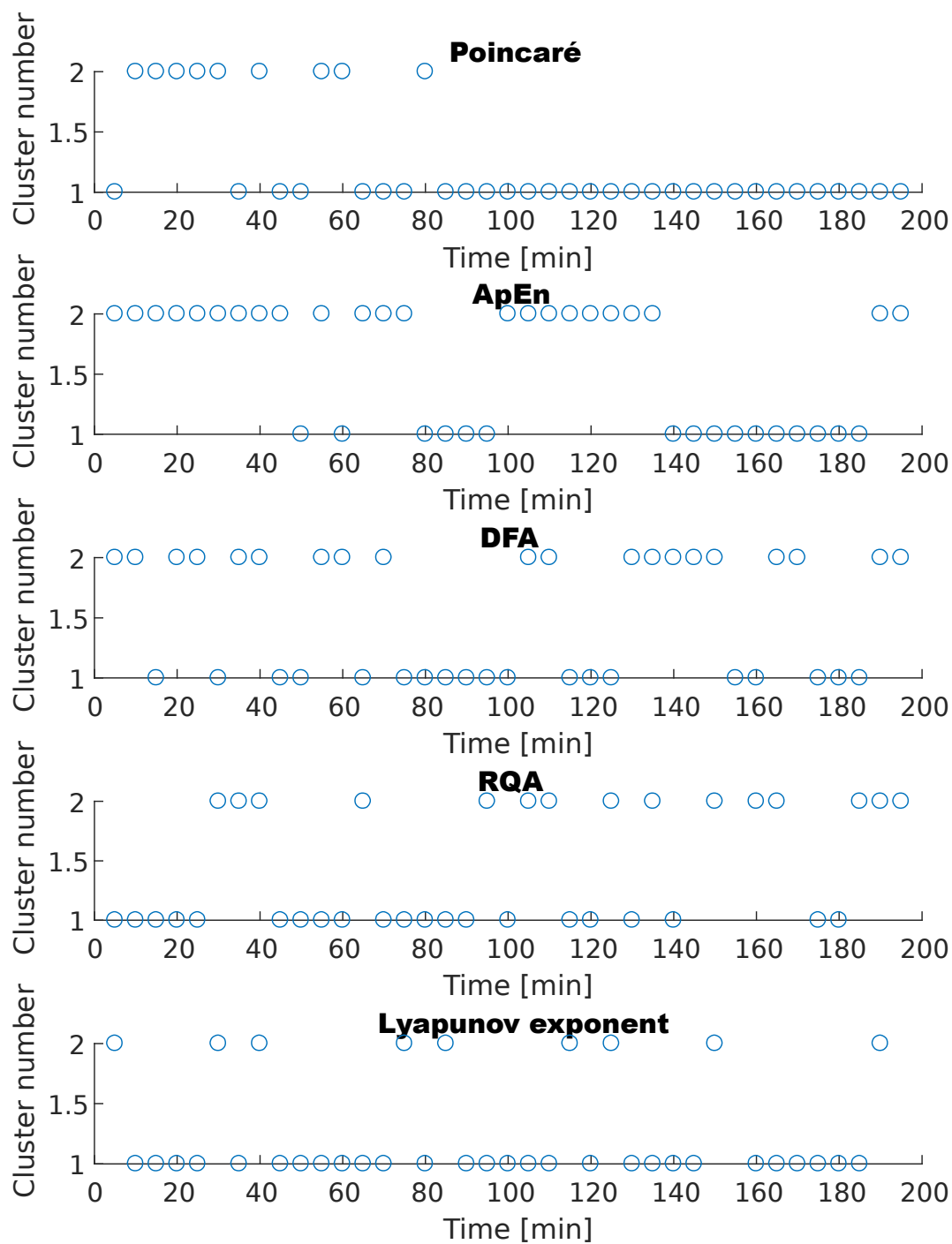
		Přílety	Odlety	Zápisy	Chyby	Chybovost	Úspěšnost	Přelety	Přelety – zápisy
Heart rate	Mean	-0,06	-0,18	-0,23	-0,07	-0,02	-0,13	-0,12	0,01
	Median	0,00	-0,16	-0,18	0,00	0,05	-0,10	-0,08	0,03
	Std	0,14	0,12	-0,16	-0,23	-0,19	-0,19	0,13	0,17
RRI	Mean	0,04	0,18	0,22	0,04	0,02	0,13	0,11	0,00
	Median	-0,01	0,18	0,23	0,02	-0,04	0,13	0,08	-0,01
	Std	0,02	0,14	-0,06	-0,15	-0,14	-0,09	0,14	0,14
Temperature	Mean	0,17	0,11	0,14	0,03	-0,04	-0,06	0,16	0,14
	Median	0,31	0,17	0,20	0,08	-0,03	-0,04	0,32	0,14
	Std	-0,04	-0,03	0,02	-0,02	0,12	0,07	-0,04	-0,09
Humidity	Mean	-0,12	-0,13	-0,11	-0,05	0,04	0,01	-0,15	-0,08
	Median	-0,19	-0,10	-0,13	-0,08	-0,01	0,00	-0,18	-0,08
	Std	0,17	0,16	-0,04	-0,09	-0,09	-0,09	0,22	0,16
Breath	Mean	-0,27	-0,19	-0,13	-0,07	-0,08	0,06	-0,25	-0,15
	Median	-0,32	-0,20	-0,20	-0,08	-0,08	0,04	-0,29	-0,18
	Std	0,04	0,11	-0,09	-0,06	0,02	-0,10	0,12	0,10
ACC_VEC	Mean	-0,15	-0,12	-0,13	-0,02	0,00	0,11	-0,16	-0,16
	Median	-0,13	-0,08	-0,12	0,00	0,06	0,13	-0,13	-0,15
	Std	0,11	0,05	-0,09	-0,10	-0,02	-0,11	0,10	0,11

Průměr korelací

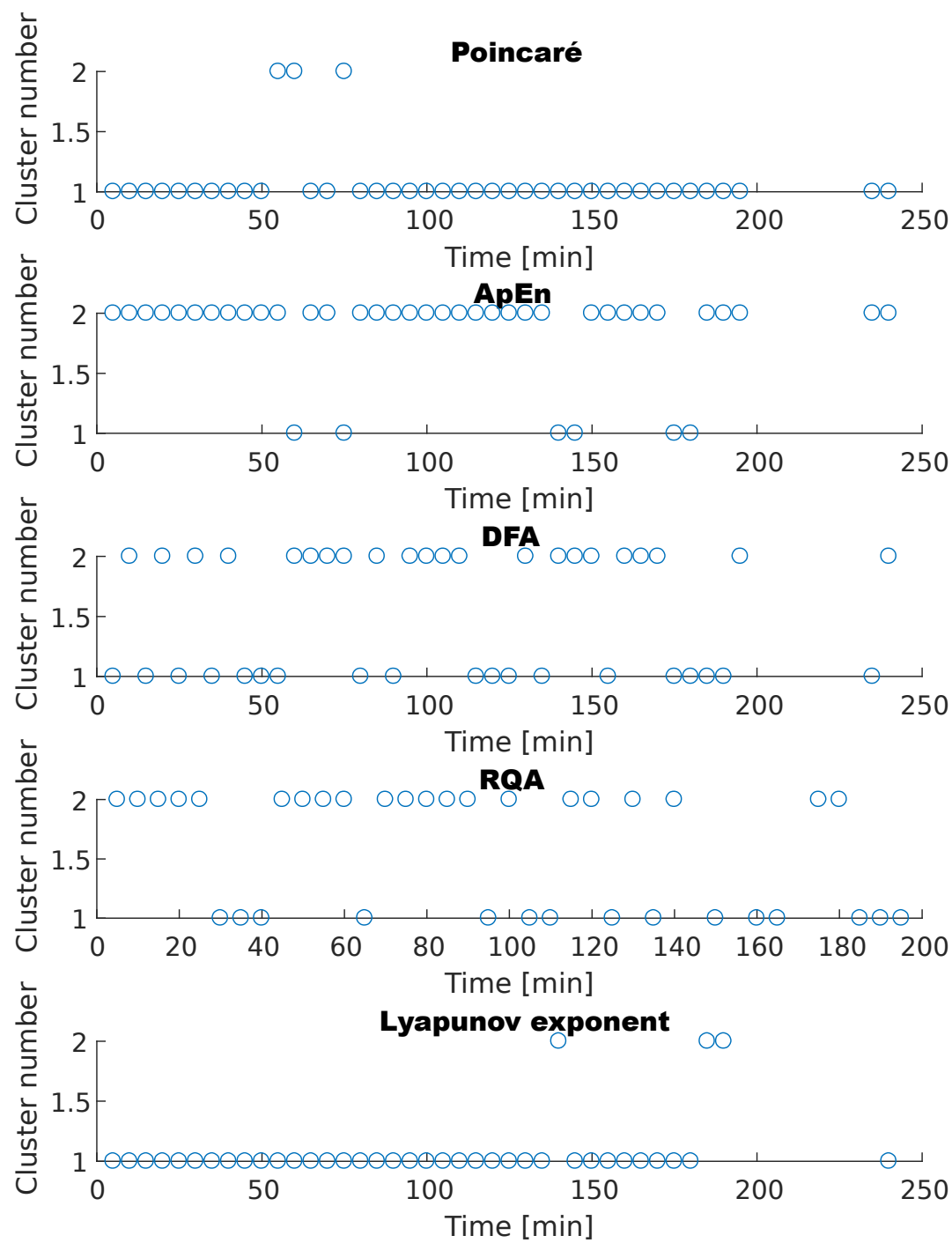
		Přilety	Odlety	Zápisy	Chyby	Chybovost	Úspěšnost	Přelety	Přelety – zápisy
Heart rate	Mean	-0,06	-0,09	-0,17	-0,08	0,00	-0,11	-0,09	0,03
	Median	-0,05	-0,08	-0,14	-0,03	0,05	-0,09	-0,07	0,04
	Std	0,13	0,11	-0,11	-0,22	-0,20	-0,17	0,16	0,17
RRI	Mean	0,05	0,10	0,15	0,05	-0,02	0,10	0,08	-0,02
	Median	0,04	0,09	0,16	0,00	-0,07	0,11	0,06	-0,04
	Std	0,04	0,08	-0,05	-0,17	-0,14	-0,10	0,09	0,10
Temperature	Mean	0,18	0,13	0,11	0,04	-0,02	-0,03	0,18	0,09
	Median	0,25	0,16	0,17	0,09	-0,01	-0,02	0,25	0,12
	Std	-0,06	-0,03	-0,04	0,00	0,11	-0,01	-0,04	-0,05
Humidity	Mean	-0,09	-0,10	-0,06	-0,08	0,00	0,00	-0,10	-0,05
	Median	-0,17	-0,08	-0,08	-0,10	-0,01	0,01	-0,15	-0,09
	Std	0,20	0,15	0,00	-0,08	-0,06	-0,14	0,23	0,19
Breath	Mean	-0,21	-0,16	-0,14	-0,09	-0,06	0,03	-0,21	-0,12
	Median	-0,23	-0,18	-0,18	-0,11	-0,06	0,01	-0,24	-0,13
	Std	-0,01	0,05	-0,14	-0,07	0,02	-0,13	0,05	0,06
ACC_VEC	Mean	-0,19	-0,18	-0,04	0,00	0,01	0,13	-0,24	-0,19
	Median	-0,19	-0,15	-0,03	0,03	0,06	0,14	-0,22	-0,19
	Std	0,10	0,05	-0,08	-0,09	-0,04	-0,13	0,09	0,09

10.3 Grafy výsledných klasifikací k-means

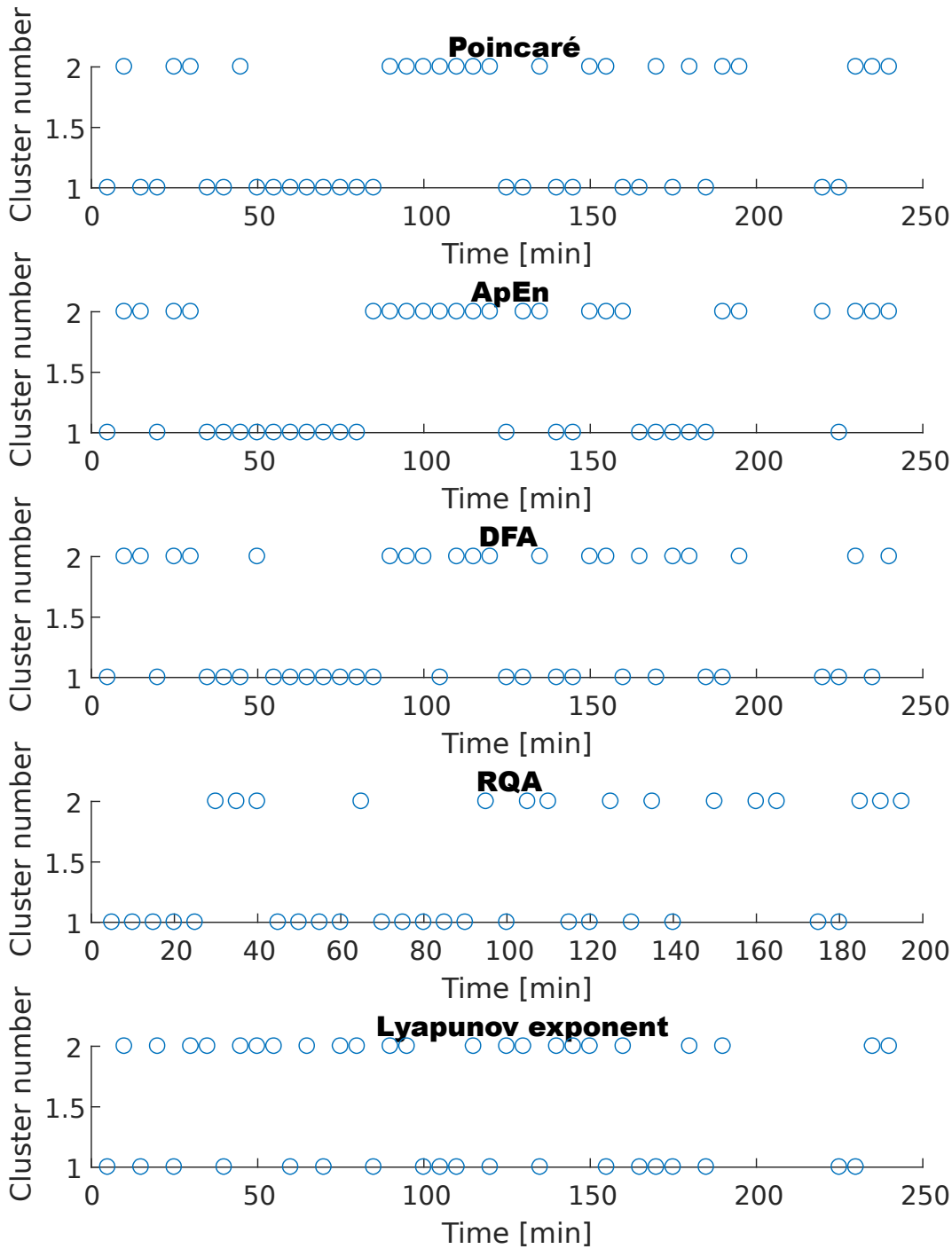
Subjekt 1



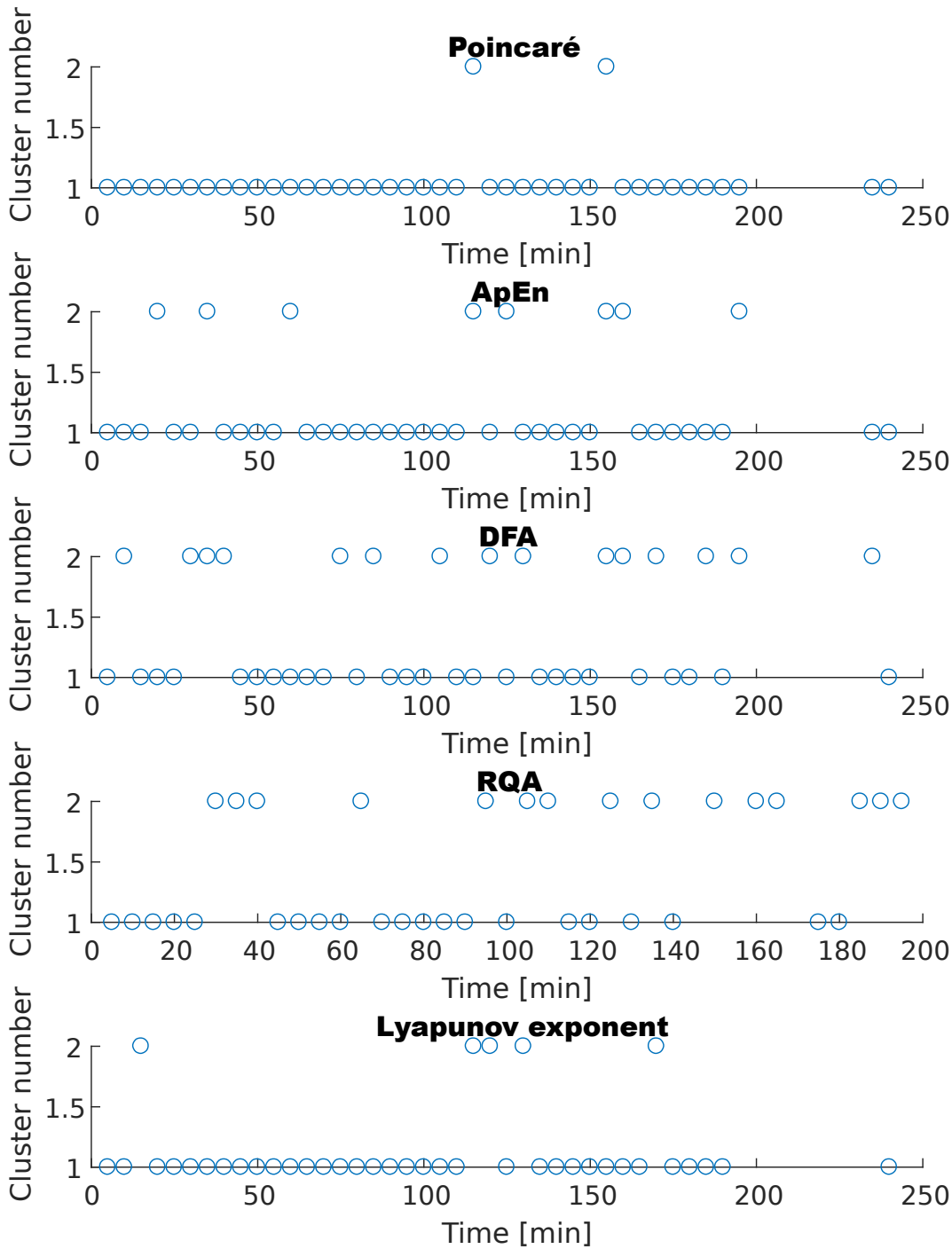
Subjekt 2



Subjekt 3

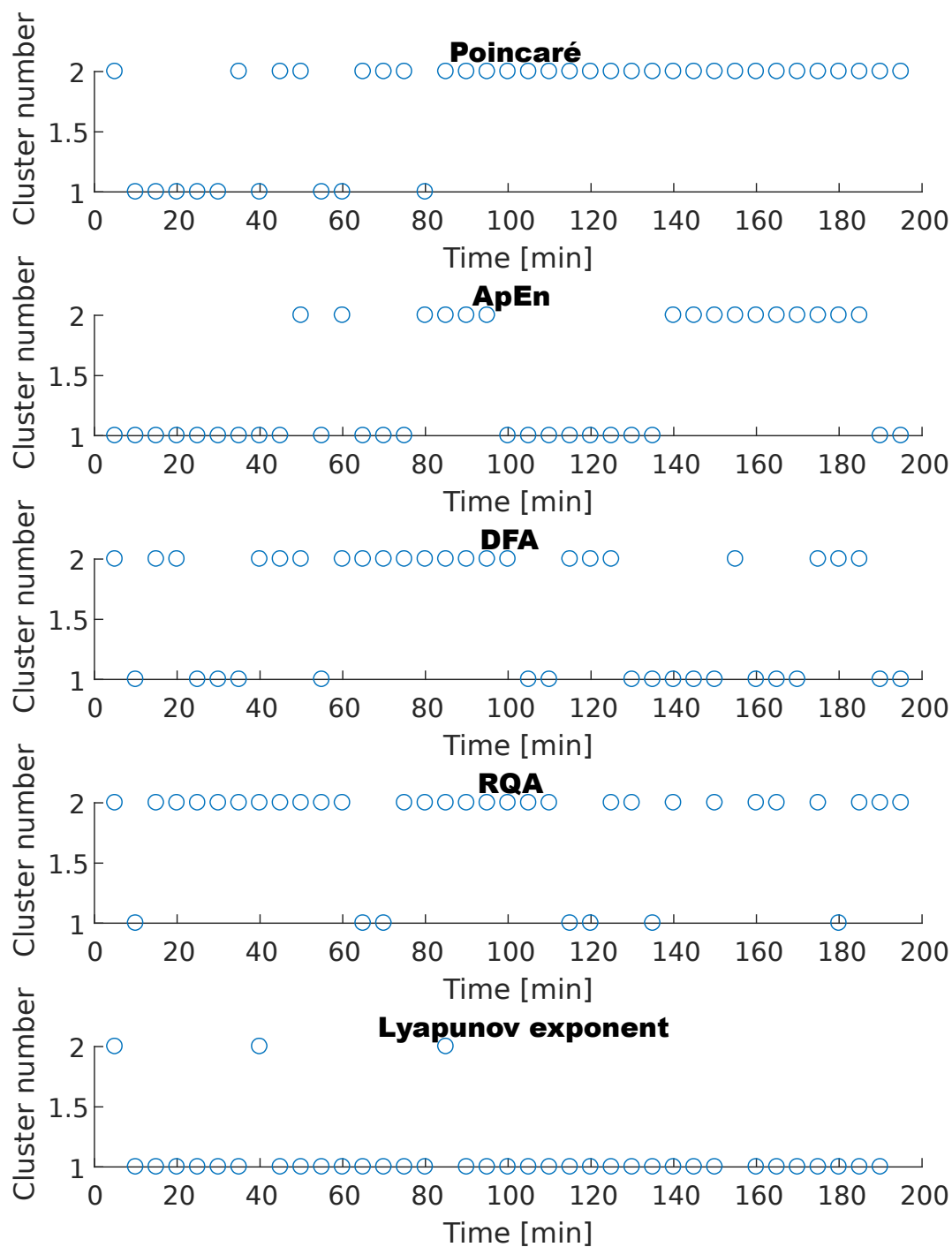


Subjekt 4

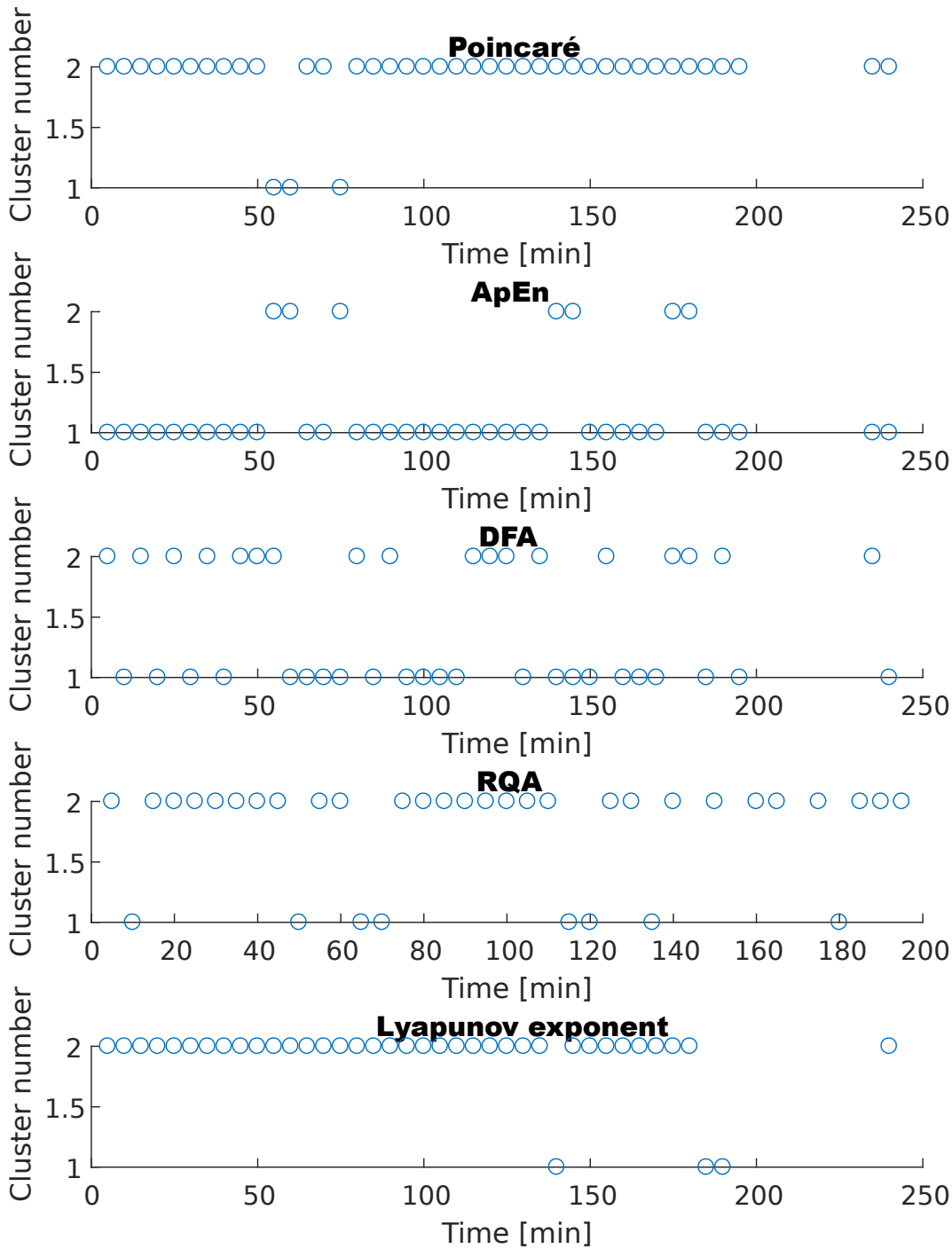


10.4 Grafy výsledných klasifikací samoorganizujících se map

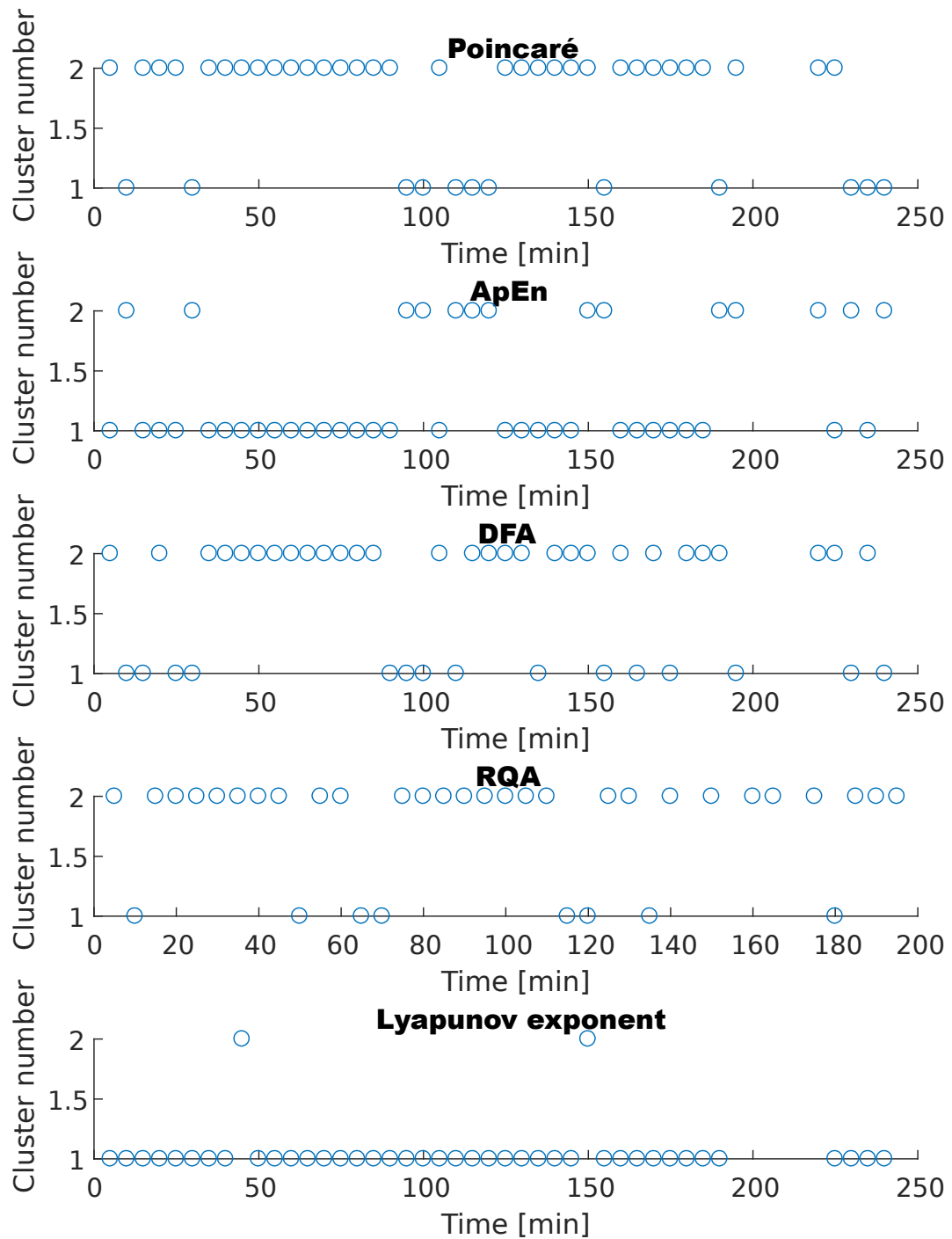
Subjekt 1



Subjekt 2



Subjekt 3



Subjekt 4

