

Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta

DIPLOMOVÁ PRÁCE



Bc. Kateřina Bašátková

Získávání fyziologických dat pro automatizovanou zpětnou vazbu v procesu učení

Katedra didaktiky fyziky

Vedoucí diplomové práce: doc. RNDr. Zdena Lustigová, CSc.

Studijní program: Fyzika

Studijní obor: Učitelství fyziky - matematiky pro SŠ

Praha 2012

Poděkování

Ráda bych poděkovala především vedoucí diplomové práce doc. RNDr. Zdeně Lustigové, CSc., která na mě s velkou trpělivostí a obrovskou dávkou motivace po celou dobu vzniku práce dohlížela a byla mi nejen odborným poradcem, ale také oporou. Dále bych chtěla poděkovat Mgr. Lucii Filipenské za její velkorysou výpomoc při získávání videozáznamů potřebných ke zpracování této práce.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova v Praze má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

V dne.....

podpis

Název práce: Získávání fyziologických dat pro automatizovanou zpětnou vazbu v procesu učení

Autor: Bc. Kateřina Bašátková

Katedra / Ústav: Katedra didaktiky fyziky

Vedoucí diplomové práce: doc. RNDr. Zdena Lustigová, CSc., Katedra didaktiky fyziky

Abstrakt: Diplomová práce se zabývá sběrem fyziologických dat pro automatizovanou zpětnou vazbu v procesu učení. V první polovině části práce je shrnuta teorie výzkumu fyziologických veličin a jeho uplatnění v oblasti lidského chování. Zvláštní pozornost je věnována zejména metodě sledování zraku (eye tracking) a měření srdeční frekvence (heart rate) v průběhu behaviorálních procesů. Druhá polovina práce je věnována vlastnímu výzkumu vlivu změny frekvence mrkání oka (blink rate) a frekvence srdečního rytmu v závislosti na různé míře kognitivní zátěže. Výzkum byl realizován na celkem šesti objektech. Získaná data potvrdila přímou závislost frekvence mrkání oka a frekvence srdečního rytmu na obtížnosti daného úkolu (task).

Klíčová slova: tepová frekvence, variabilita srdečního rytmu, frekvence mrkání oka, kognitivní zátěž

Title: Mining Physiological Data for Automated Educational Feedback

Author: Bc. Kateřina Bašátková

Department: Department of Physics Education

Supervisor: doc. RNDr. Zdena Lustigová, CSc., Department of Physics Education

Abstract: This thesis deals with mining physiological data for automated educational feedback. The first part summarizes former researches of physiological data and its assertion into human behaviour. Special attention is devoted especially to eye tracking and measuring heart rate during behavioral processes. The second part is dedicated to author's own research how blink rate and heart rate are influenced by the degree of cognitive load. The research was executed on six subjects. The obtained data confirm correlation of blink rate and heart rate with the difficulty of the task.

Keywords: heart rate, heart rate variability, blink rate, cognitive load,

Obsah

Úvod.....	1
1 Teoretické poznatky.....	3
1.1 Eye Tracking	3
1.1.1 Fixace	4
1.1.2 Sakády	6
1.1.3 Scanpath	7
1.1.4 Dilatace zornice.....	8
1.1.5 Frekvence mrkání oka	11
1.2 Tepová frekvence	15
1.2.1 Variabilita srdečního rytmu	17
2 Cíle a hypotézy	23
2.1 Cíl práce	23
2.2 Vědecké otázky	23
2.3 Hypotézy	23
3 Metodika	25
3.1 Charakteristika souboru.....	25
3.2 Výzkumný plán	25
3.2.1 Charakteristika použitého výzkumného plánu	26
3.2.2 Fáze použitého výzkumného plánu	26
3.2.3 Základní typy použitého výzkumného plánu	27
3.2.4 Vlastní výzkumný plán	29
4 Průběh výzkumu	32
4.1 Průběh první části výzkumu	34
4.2 Průběh druhé části výzkumu	35
4.3 Průběh třetí části výzkumu	36

4.4	Průběh čtvrté části výzkumu	37
4.5	Průběh páté části výzkumu	37
5	Zpracování dat	39
5.1	Zpracování frekvence mrkání oka	39
5.1.1	První zkoumaná osoba	39
5.1.2	Druhá zkoumaná osoba	40
5.1.3	Třetí zkoumaná osoba	42
5.1.4	Čtvrtá zkoumaná osoba	43
5.1.5	Pátá zkoumaná osoba	45
5.1.6	Šestá zkoumaná osoba	46
5.2	Zpracování frekvence srdečního rytmu	47
5.2.1	První zkoumaná osoba	50
5.2.2	Druhá testovaná osoba	53
5.2.3	Třetí testovaná osoba	56
5.2.4	Čtvrtá testovaná osoba	57
5.2.5	Pátá testovaná osoba	61
5.2.6	Šestá testovaná osoba	61
6	Výsledky a diskuze	65
6.1	Výsledky vědeckých otázek	65
6.1.1	Vědecká otázka 1	65
6.1.2	Vědecká otázka 2	66
6.1.3	Vědecká otázka 3	66
6.1.4	Vědecká otázka 4	73
6.2	Ověření hypotéz	74
6.2.1	Hypotéza 1	74
6.2.2	Hypotéza 2	77
7	Závěr	78

Seznam literatury	80
Seznam použitých zkratk.....	85
Seznam obrázků	86
Seznam grafů.....	87
Seznam tabulek	89
Příloha 1	Chyba! Záložka není definována.

Úvod

S rozvojem v oblasti informačních a komunikačních technologií rostou možnosti získávání komplexnějších fyziologických dat. Jak se lidské tělo chová, reaguje a přizpůsobuje se odlišným situacím, můžeme vyhodnocovat například pomocí analýzy změn elektrické vodivosti kůže, frekvence mrkání oka, frekvence srdečního rytmu, frekvence dýchání, elektrické aktivity mozku či elektrické aktivity svalů. Uplatnění poznatků získaných pomocí monitorování těchto veličin lze nalézt napříč několika odvětvími.

Sběr fyziologických dat se stále významněji uplatňuje v oblasti reklamy, internetového marketingu, webových aplikací, ale i v hudebním či filmovém průmyslu [14]. Řada společností podnikajících ve výše zmíněných oborech si je dobře vědoma toho, že testování produktů pomocí fyziologických veličin může mít velký vliv na jejich konečný komerční úspěch.

Analýza a sběr fyziologických dat má své široké zastoupení také v oblasti medicíny a psychologie. Fyziologická data zde podávají informace zejména o tom, jak pacient reaguje na konkrétní medikament či léčebnou terapii [21]. Například pozorování změn ve frekvenci srdečního rytmu je v oblasti medicíny natolik rozšířené, že Evropská kardiologická společnost ve spolupráci se Severoamerickou společností pro elektrofyzilogii zřídila za účelem stanovit standardy pro měření pracovní skupinu skládající se z odborníků z oblasti matematiky, inženýrství, fyziologie a klinické medicíny [8].

Fyziologická data se využívají také v oblasti tzv. Affective computing (do češtiny volně přeloženo jako „emoční výpočetní technika“), zabývající se studiem a vývojem systémů a zařízení, které dokážou rozpoznat, interpretovat, zpracovat a simulovat lidské emoce. Affective computing je důležitý zejména pro zlepšení komunikace mezi člověkem a počítačem a vývoj umělé inteligence. Jedná se o interdisciplinární vědní oblast vycházející z poznatků informatiky, psychologie, kognitivní vědy a fyziologie mající široké využití napříč oblastmi vzdělávání, sociálního monitoringu či v neposlední řadě robotiky. Affective computing byl poprvé popsán profesorkou R. Picardovou v roce 1995 [29].

Studium fyziologických veličin nachází své uplatnění i v oblasti vzdělávání. Nové technologie skýtají jedinečnou možnost reflektovat široké spektrum potřeb jedince při učebním procesu. Můžeme například monitorovat přizpůsobivost míře kognitivní zátěže [6], [12], [26]. Fyziologická data nám také podávají informace o emocích, které člověk během učebního procesu prožívá. Významu emocí při hloubkovém stylu učení je v posledních několika letech věnována zvýšená pozornost. Týmy vědců po celém světě se snaží vyvinout inteligentní tutoriální systémy se schopností rozpoznat emoční stavy vyučovaného jedince a na základě těchto stavů se osobě co nejvíce přizpůsobit [30], [33]. Fyziologická data nám tedy nejenom můžou podat informace, co se s daným jedincem děje během učebního procesu a jak reaguje na danou kognitivní zátěž, ale mohou také pomoci při vytváření účinnějších vzdělávacích systémů, materiálů a příjemnějšího prostředí pro učební proces.

Tato diplomová práce se zabývá sběrem fyziologických dat pro automatizovanou zpětnou vazbu v procesu učení. Teoretická část je věnována metodě eye tracking, což je metoda pro sledování dráhy zraku, a frekvenci srdeční činnosti. Shrnuji zde vybrané teoretické poznatky a uvádím příklady výzkumů, ve kterých jsou tyto fyziologické veličiny měřeny. V následující kapitole na základě teoretických poznatků vytyčuji cíle, hypotézy a vědecké otázky pro zvolený výzkum. V dalších kapitolách se pak věnuji samotnému výzkumu, zaměřenému konkrétně na frekvenci mrkání oka (Blink Rate, BR) a frekvenci srdečního rytmu (Heart Rate, HR).

Téma diplomové práce jsem zvolila nejen proto, že spojení fyziologických procesů s procesem učení je podnětné z hlediska behaviorálního výzkumu, ale převážně proto, že již několikátým rokem se profesně věnuji sekundárnímu vzdělávání. Diplomová práce mi dovolila nahlédnout na proces učení a vzdělávání ze zcela jiné perspektivy. Věřím, že nabyté teoretické a praktické znalosti budu schopna využít při své učitelské praxi.

1 Teoretické poznatky

1.1 Eye Tracking

Metoda Eye tracking využívá technologii pro sledování dráhy zraku jedince po jakémkoliv materiálu. Na základě této metody lze snadno zjistit, co daného jedince zaujalo, v jakém pořadí prochází pohledem zobrazený obsah, na čem se zastavil, čemu věnoval více pozornosti nebo čeho si vůbec nevšiml. Jsou zde sledovány čtyři základní elementy: body pozornosti (points of fixation), doba trvání fixace (duration of fixation), zóny zájmu (zones of interest), zóny nezájmu (zones of disinterest).

Ke snímání slouží speciální oční kamera, která přenáší pohyb oka do počítače. Na monitoru počítače je pak vidět pohybující se bod v místech, kam se respondent dívá. Nejčastějším výstupem jsou tzv. heatmaps – barevné tepelné mapy, které vykreslují intenzitu jednotlivých fixací. Ukázkou tepelné mapy představuje obrázek 1. Oční kamera má mnoho typů. Nejvíce používanými jsou přenosné kamery v podobě brýlí, helmy či klobouku. Použití tohoto typu očních kamer je často odsuzováno právě kvůli nutnosti jejich umístění na hlavě zkoumané osoby. Tím, že má daný jedinec „něco na hlavě“, je značně sníženo jeho přirozené chování, a tudíž může dojít k znehodnocení získaných dat. Na druhou stranu obrovskou výhodou těchto kamer je, že můžeme dráhu zraku snímat téměř kdekoliv. Méně používanými jsou tzv. statické kamery, kdy je kamera přímo zabudována do monitoru počítače, či je zařízení umístěno pod monitor, obrazovku, projekční plátno atp. V tomto případě zkoumaná osoba není nijak limitována tím, že by měla cokoli umístěné na hlavě, na druhou stranu je však často u těchto typů kamer vyžadována fixace hlavy, což opět snižuje míru přirozenosti chování.

Mezi nejdůležitější sledované proměnné patří:

- **Fixations** (fixace)
- **Saccades** (sakády)
- **Scanpath**
- **Pupil Dilation** (dilatace zornice)
- **Blink Rate** (frekvence mrkání oka)



Obrázek 1: Barevná tepelná mapa heatmap

Zdroj: [11]

1.1.1 Fixace

Jsou definovány jako prostorově stabilní pohledy trvající přibližně 200 – 300 milisekund. U dyslektiků může docházet k významnému prodloužení doby jednotlivých fixací [28]. Slovní spojení „stabilní pohledy“ bývá často označováno za chybné, neboť lidské oko není schopné se nacházet ve stabilní poloze. Neustále totiž vykonává tzv. konstantní třes odborně nazývaný jako nystagmus. Tyto pohyby jsou však velmi malé a jejich povaha zatím není objasněna. Fixace tedy popisují vizuální pozornost zaměřenou na konkrétní oblast. „Fixations are traditionally understood to be indicative of where a viewers’ attention is directed, and represent the instances in which information acquisition and processing is able to occur“ [32]. Jsou velmi důležitou proměnnou k získání představy o tom, které informace v daném textu jsou zkoumanou osobou vyhodnocovány a zpracovávány. Podle Vivianiho (uvedeno

v [10]) probíhají v průběhu fixací nejméně tři procesy: kódování vizuálního podnětu, odběr vzorku z periferní oblasti a plánování další fixace. Délka oční fixace je do jisté míry závislá na způsobu čtení daného textu. Nejkratší fixace nastává při tichém čtení (225 ms). Průměrné hodnoty trvání fixací při různém způsobu čtení shrnuje tabulka 1 [32].

Task	Mean fixation duration (ms)	Mean saccade size (degrees)
Silent reading	225	2 (about 8 letters)
Oral reading	275	1.5 (about 6 letters)
Visual search	275	3
Scene perception	330	4
Music reading	375	1
Typing	400	1 (about 4 letters)

Tabulka 1: Průměrné hodnoty trvání fixací při různém způsobu čtení

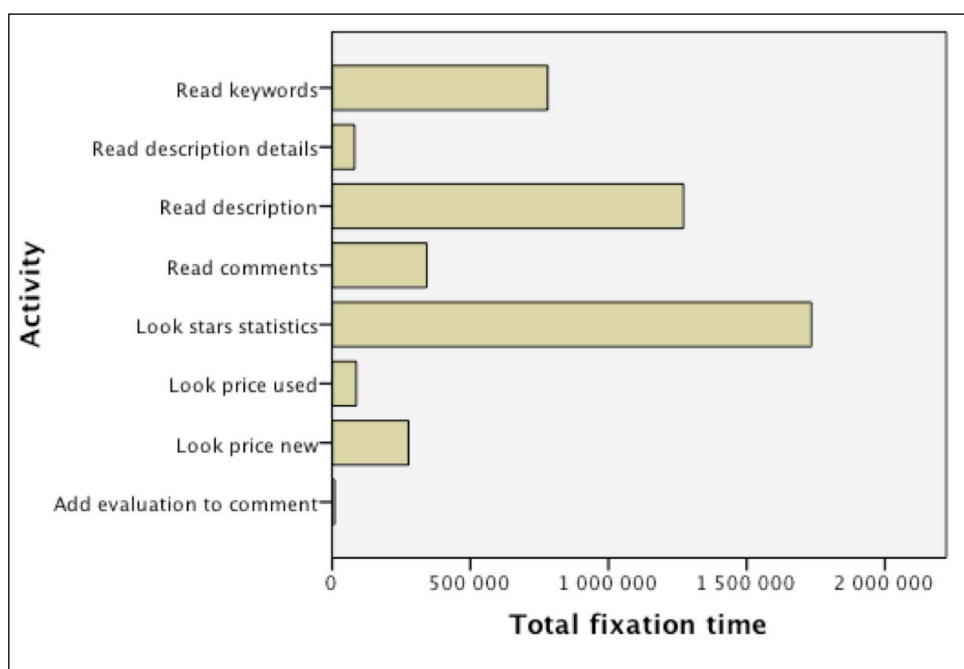
Zdroj: [32]

Rozdíly v délkách fixací se objevují i mezi běžným způsobem čtení a čtením za účelem vyhledávání informací. „It is necessary for the eye to move rapidly during reading, while in visual search and scene viewing, it is less imperative that the eye quickly scans the entire scene, but rather that the user can absorb key information from certain regions.“ [10]. Délka fixací může být také spojována s kognitivní zátěží. „There is a close connection between the amount of time spent fixated on certain items and the degree of cognitive processing“ [32].

Sledování fixací nachází obrovské využití převážně v komerční oblasti. Jejich monitorování je velmi důležitým parametrem pro vytváření reklam, webových stránek, počítačových her atp. Aude Dufresne ve své práci nazvané *Assessing Affective Reactions in HCI¹ using Physiological, Eye Tracking and Task Analysis* [7] zkoumá vedle dalších proměnných (např. krevní tlak, dilatace zornice) délku fixací jednotlivých aktivit v průběhu procházení webové stránky Amazon za účelem

¹ Human Computer Interactin – interakce člověk – počítač

nákupování knih. Délky fixací při jednotlivých aktivitách popisuje Graf 1. Délka fixací byla v této práci pozitivně spojena se zájmem o nákup knih.



Graf 1: Délky fixací při jednotlivých aktivitách realizovaných při procházení webové stránky Amazon

Zdroj: [7]

Výsledky podobných měření mohou mít velký vliv na konečnou podobu webových stránek a mohou podat důležité informace o tom, které prvky webového rozhraní hrají významnou roli při porozumění jejich obsahu.

1.1.2 Sakády

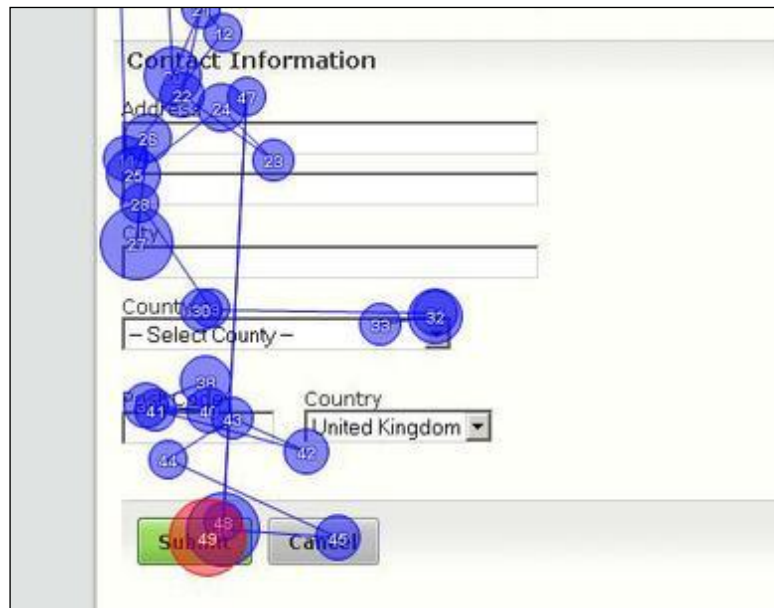
Saccades, do češtiny volně přeloženo jako skoky – sakády, jsou nepřetržité a rychlé oční pohyby, které nastávají mezi jednotlivými fixacemi. Sakády tedy popisují, jak se oko průběžně pohybuje během čtení, prohlížení, hledání informací atp. Průměrná doba trvání jedné sakády se pohybuje okolo 30 ms. Průměrná rychlost očního pohybu mezi jednotlivými sakádami se pohybuje okolo 500° za sekundu. Vzhledem k této vysoké rychlosti nemůže během jednotlivých sakád docházet ke

zpracování informací obsažených v prohlíženém textu. „This lapse of information intake is traditionally referred to as “saccadic suppression,” but because saccades represent such short time intervals, individuals are unaware of these breaks in information perception.“ [32]. Existují však názory, že např. lexikální zpracování není během sakád potlačováno. Směr a velikost sakád lze ovlivnit vlastní vůlí, ale např. při čtení vykonává oko průměrně dvě až tři sakády, aniž bychom si to uvědomovali. Sakády se rozdělují na „dopředné sakády“ směřující ve směru čtení textu a „regresní sakády“ směřující proti směru čtení. U dyslektiků může docházet k výraznému zvýšení počtu regresních sakád. [28].

1.1.3 Scanpath

Scanpath zahrnuje celou sekvenci fixací a sakád, podává tedy informace o tom, jak se oko pohybuje po dané vizuální scéně. Příklad zaznamenání scanpath popisuje obrázek 2. Scanpath poskytuje pohled na uživatelské chování v průběhu procházení vizuálního kontextu. Velmi významným faktorem ovlivňujícím scanpath může být periferní vidění uživatele. Obecně se předpokládá že pohyb scanpath není náhodný, ale naopak souvisí s uživatelskou náladou, stavem mysli, očekáváním, vzhledem vizuální scény a v neposlední řadě s předem vytyčeným cílem uživatele.

„Research also indicates that when a subject is presented with a blank screen and told to visualize a previously seen figure, the scanpath is similar to when he or she viewed the figure.“ [13]. „The scanpaths tend to drift over time for a given subject.“ [13].



Obrázek 2: Ukázka zaznamenání sekvence fixací a sakád – scanpath

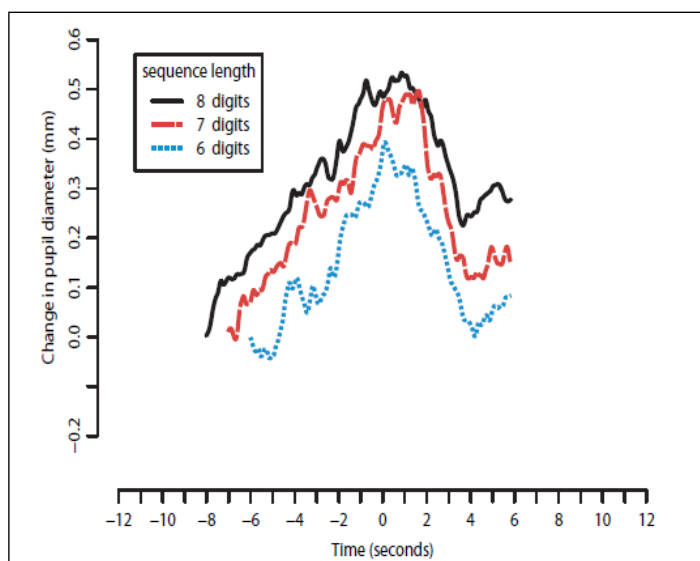
Zdroj: [9]

1.1.4 Dilatace zornice

Rozšíření oční zornice je řízeno autonomním nervovým systémem (ANS). Významnou roli zde hrají vegetativní nervy sympatikus a parasympatikus. Parasympatikus převažuje ve stavech, kdy lidský organismus střeďá či udržuje potřebnou energii, je tedy spojen se stavy klidu. Naopak dominance sympatiku nastává při stavech zvýšeného a rychlého výdeje energie a je tedy spojen se schopností reagovat na stres. Převládá-li v ANS činnost parasympatiku, oční čočka zaostřuje nablízko a oční zornice se zužují. Zaostření oční čočky na dálku a rozšíření očních zornic pak nastává, pokud v ANS převládá činnost sympatiku. Dilatace zornice tedy roste s rostoucí mírou vzrušení. Šířka oční zornice je také ovlivněna délkou oční fixace. Při rostoucí délce fixace roste dilatace zornice. Drobné krátkodobé změny v šířce zornice jsou spojeny s kognitivní zátěží. Kdykoliv si něco vybavujeme z paměti, věnujeme něčemu pozornost, hluboce přemýšlíme, naše zornice se lehce rozšíří. Tato reakce bývá nazývána task-evoked pupillary response (TEPR). „This reaction is small, usually less than 0.5 mm dilation, involuntary, and reliably associated with a broad set of cognitive processes that are characterized as cognitive load.“ [15] „The raw pupil measurement is the basis for the Index of

Cognitive Activity. The index is computed as the number of unusual increases in pupil size per second“ [17]. „Pupil size would be positive connected to subjective evaluation“ [7].

J. Klinger, R. Kumar a P. Hanrahan [15] zkoumali na osmi studentech závislost změny velikosti zornice na rostoucí míře kognitivní zátěže. V první části výzkumu se věnovali situaci, kdy se snažíme vybavovat si informace z naší paměti. Studenti měli za úkol vyslechnout si sled několika čísel a následně tento sled čísel zopakovat nahlas. Jednotlivé sledy se skládaly z 6, 7 a 8 čísel. Průměr zornice rostl se stoupající mírou obtížnosti zadání. Výsledky popisuje Graf 2. Prvních 12 sekund, v grafu vyjádřeno jako -12 – 0, odpovídá poslechové části, následných 12 sekund, v grafu vyjádřeno jako 0 – 12, odpovídá části, kdy testované osoby opakuji slyšené zadání.

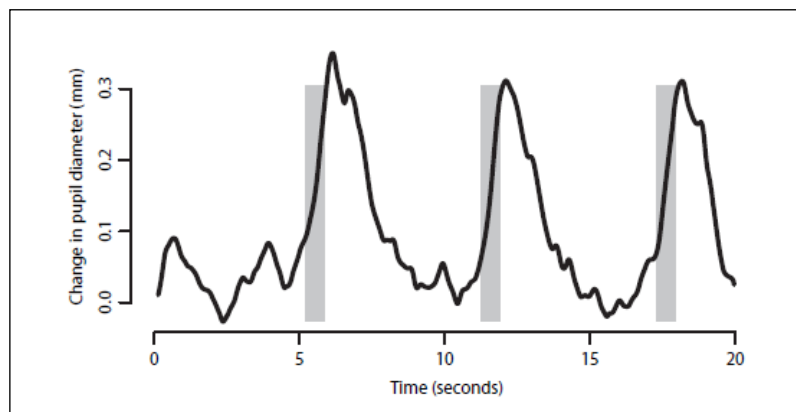


Graf 2: Změna průměru zornice při poslechu a následném zopakování různě dlouhého sledu čísel

Zdroj: [15]

Ve druhé části výzkumu testované osoby pozorně poslouchaly posloupnost čísel od 1 do 19, ve které byly schválně udělány tři chyby. Místo čísel 6, 12 a 18 byla řečena čísla jiná. Úkolem testovaných osob bylo chybu zaznamenat a pomocí myši

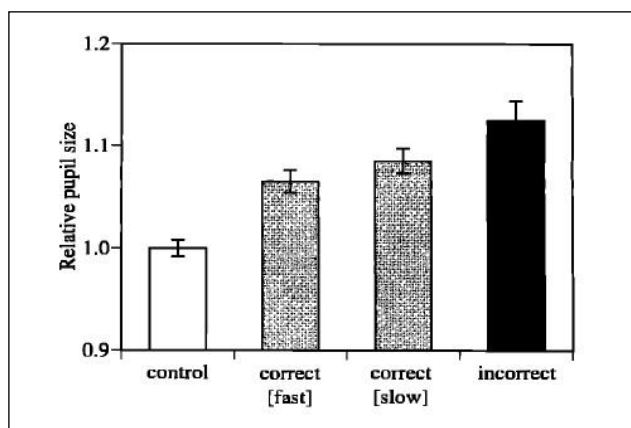
zapsat špatně vyslovené číslo na monitor počítače. Výsledky shrnuje Graf 3. Z tohoto grafu je patrné, že velikost zornice se zvětšila právě tehdy, kdy testované osoby zaznamenaly chybu v poslouchané posloupnosti.



Graf 3: Změna průměru zornice při poslechu posloupnosti čísel 0 – 20 se zaznamenanými chybami u čísel 6, 12 a 18

Zdroj: [15]

V jiném výzkumu M. Nakayama a T. Takahashi [25] sledovali, jak se velikost zornice mění v závislosti na míře obtížnosti matematického úkolu. Sedm studentů (mužů), řešilo několik příkladů z oblasti násobení. Výsledky shrnuje Graf 4. Z grafu je patrné, že při nesprávné odpovědi došlo k největšímu zvětšení zornice oproti kontrolní hodnotě a naopak při rychlé správné odpovědi se zornice rozšířila nejméně oproti kontrolní hodnotě.

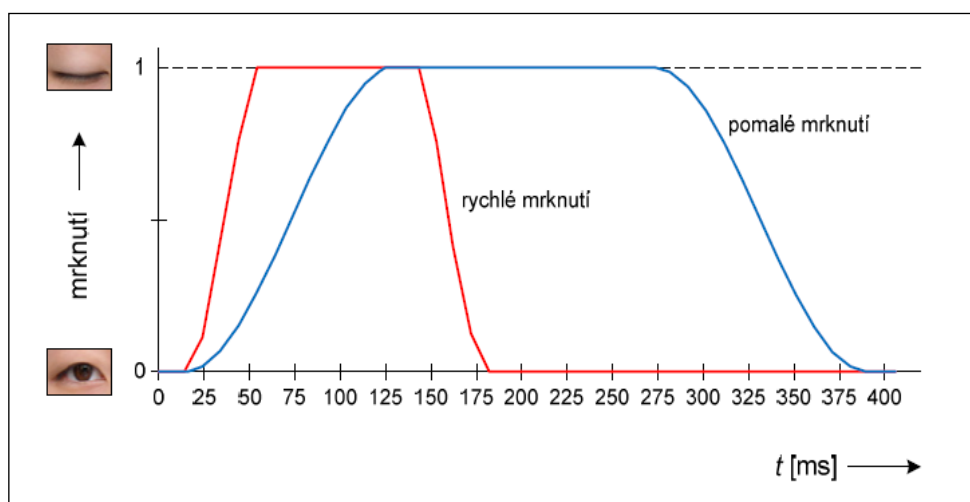


Graf 4: Změna průměru zornice v závislosti na správnosti řešení matematického úkolu

Zdroj: [25]

1.1.5 Frekvence mrkání oka

Mrknutí lze popsat jako rychlé zavření a otevření očí. Jedná se o velmi důležitou funkci očí, která napomáhá k udržování slzného filmu na povrchu rohovky a spojivek. V pauze mezi mrkáním dochází k velmi rychlému ztenčení této vrstvy. Čím větší pauza mezi mrknutími nastává, tím dochází k většímu ztenčení slzného filmu a kvůli tomu může nastat výrazná redukce vidění. Průměrná doba jednoho mrknutí trvá okolo 200 – 400 ms. Stav, kdy je zornice plně zakryta očním víčkem, průměrně trvá 100 – 150 ms. Modelový průběh mrknutí (pomalého a rychlého) popisuje obrázek 3 [36].



Obrázek 3: Modelový průběh mrknutí

Zdroj: [36]

Mrkání patří k nevědomým dějům. Proces mrknutí není zpravidla myslí zaznamenán. Průměrná frekvence mrkání (Blink rate, BR) se pohybuje v rozmezí od 2 do 10 mrknutí za minutu. Tento údaj je však pouze orientační, neboť v klidové hladině BR se vyskytují velké individuální rozdíly. Frekvence mrkání může být ovlivněna náladou, fyzickým stavem organismu, očním zraněním, některými léky nebo nemocí. Proces mrkání lze také ovlivnit vůlí, což může mít velký vliv na získaná data a jejich interpretaci. BR je také ovlivněna stářím dané osoby. Speciálně malé děti mrkají mnohem méně než dospělí jedinci. Počet mrknutí u malých dětí se

pohybuje okolo jednoho až dvou mrknutí za minutu. Předpokládá se, že děti nepotřebují tolik dávky slzného filmu jako dospělí, neboť jejich víčka lépe přiléhají oční bulvě. Některé studie také ukazují, že BR je spojena s kognitivní zátěží (citace). Průměrné hodnoty BR jsou stabilní v ranních, poledních a odpoledních hodinách. Významný nárůst v průměrné hodnotě BR se vyskytuje ve večerních hodinách [3]. G. Barbato vysvětluje nárůst průměrné hodnoty BR ve večerních hodinách následovně: „The findings are compatible with an evening increase in central dopamine activity and increase level of arousal throughout the course of the day“ [3].

K. K. Wan Wong, W. Y. Wan a S. B. Kaye v roce 2002 [38] zkoumali na vzorku devíti chirurgů, jaká bude jejich průměrná hodnota BR v průběhu obyčejného rozhovoru a v průběhu práce s očním mikroskopem. Výsledky shrnuje tabulka 2.

Surgeon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mean (SD)
Casual	17.29	17.75	7.75	17.60	27.44	24.67	11.50	13.86	12.33	16.69
Operating	9.71	9.00	0.29	7.40	1.68	8.67	1.59	3.86	0.54	4.75
p Value	0.000002	0.002	0.002	0.002	0.0001	0.001	0.00003	0.0004	0.0002	0.0003

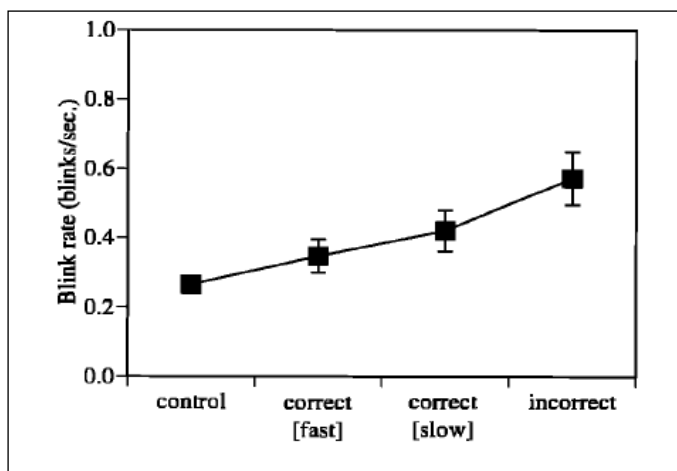
Tabulka 2: Průměrná hodnota BR [blinks/min] očních chirurgů v průběhu běžného rozhovoru a v průběhu práce s očním mikroskopem

Zdroj: [38]

Výsledkem bylo objevení statisticky významného poklesu průměrné hodnoty BR v průběhu manipulace s mikroskopem oproti průměrné hodnotě BR při běžném rozhovoru. K. K. Wan Wong vysvětluje tento pokles následovně: „Blink rate is low when information memory is operating, and cognitive processes utilising display areas accessible to visual input are disrupted during the blackout period of a blink. Blinking is thus suspended during certain cognitive activities to avoid disrupting these processes“ [38].

M. Nakayama a T. Takahashi [25] sledovali, jak se bude měnit hodnota BR v závislosti na míře obtížnosti daného matematického úkolu. Tento výzkum byl již popsán výše v části 1.1.4 v souvislosti s pozorovanou dilatací zornice. Co se týče průměrné hodnoty BR, výsledkem pozorování bylo zjištění, že průměrná hodnota BR

během nesprávných odpovědi byla až dvakrát vyšší než průměrná kontrolní hodnota BR. Výsledky shrnuje graf 5.



Graf 5: Průměrná hodnota BR v závislosti na správnosti řešení matematického úkolu

Zdroj: [25]

S. P. Marshallová v roce 2007 [17] vytvořila tři výzkumy za účelem pozorování pohybu očí. První výzkum nazvaný *Problem Solving* se skládal ze dvou pozorovaných stavů – stavu relaxace a stavu řešení matematického úkolu. Testováno bylo 30 dobrovolníků (17 mužů a 13 žen). Stav relaxace byl definován jako klidný sed v tiché místnosti a stav řešení matematického úkolu se skládal z jednoduchých příkladů týkajících se sčítání, násobení a odečítání vždy dvou čísel. Druhý výzkum nazvaný *Driving Simulation* se skládal opět ze dvou pozorovaných stavů. V tomto výzkumu bylo pozorováno 11 dobrovolníků (5 mužů a 6 žen). První část se týkala simulované jízdy autem v běžném dopravním provozu, druhá část se také zaměřovala na simulovanou jízdu v běžném dopravním provozu, avšak testované osobě bylo zadáno několik kognitivních úkolů (opakování slyšených slov, generování slyšených slov apod.). Třetí výzkum pojmenovaný *Visual Search* se skládal z jednoduchého vyhledávání informací na dané téma opakované v několika dnech vždy jednou a toutéž osobou, která na začátku každého měření podávala podrobné informace o její míře denní únavy. Výsledky všech tří výzkumů shrnuje tabulka 3.

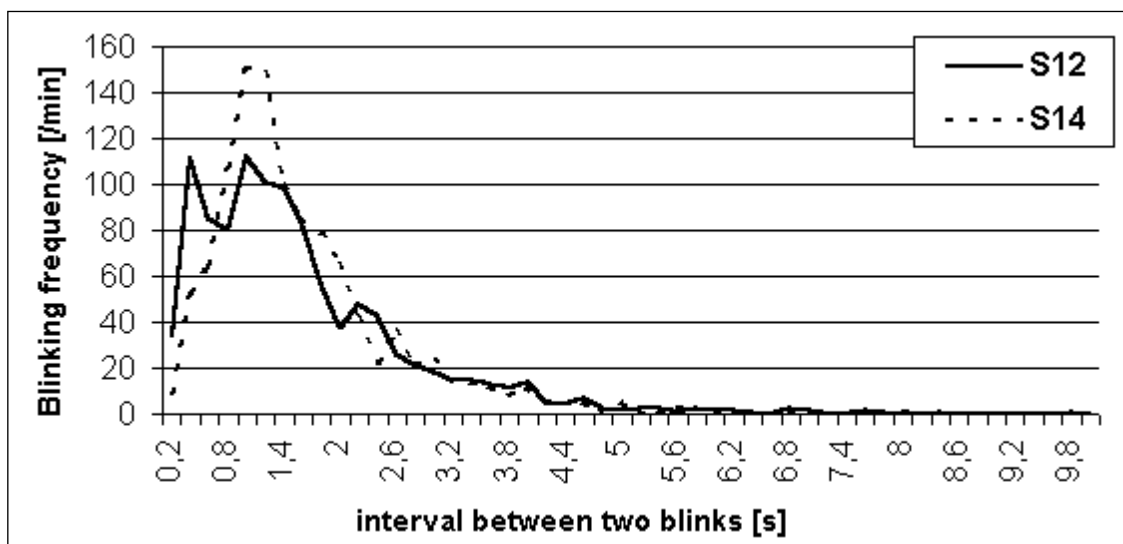
Eye Metric	Study 1		Study 2		Study 3	
	State 1 Relaxed	State 2 Engaged	State 1 Focused	State 2 Distracted	State 1 Alert	State 2 Fatigued
ICA Left	0.144 (0.29)	0.280 (0.38)	0.740 (0.32)	0.669 (0.33)	0.370 (0.35)	0.280 (0.33)
ICA Right	0.158 (0.29)	0.324 (0.40)	0.865 (0.23)	0.825 (0.27)	0.250 (0.34)	0.220 (0.30)
Blink Left	0.080 (0.17)	0.140 (0.20)	0.090 (0.11)	0.140 (0.15)	0.153 (0.22)	0.067 (0.10)
Blink Right	0.090 (0.19)	0.150 (0.21)	0.130 (0.12)	0.170 (0.16)	0.137 (0.21)	0.063 (0.09)
Move Left	0.621 (0.17)	0.550 (0.20)	0.501 (0.11)	0.452 (0.13)	0.411 (0.19)	0.554 (0.11)
Move Right	0.604 (0.19)	0.522 (0.21)	0.476 (0.11)	0.435 (0.13)	0.425 (0.19)	0.562 (0.12)
Divergence	0.146 (0.14)	0.192 (0.19)	0.049 (0.05)	0.041 (0.04)	0.279 (0.11)	0.191 (0.06)

Tabulka 3: Průměrné hodnoty chování očí ve všech třech výzkumech S. P. Marshallové

Zdroj: [17]

Z tabulky 3 je patrné, že průměrná hodnota BR jak pravého (Blink Right) tak levého (Blink Left) oka vždy vzrostla s kognitivní zátěží (Study 1, Study 2) a zároveň průměrná hodnota BR obou očí významně poklesla v závislosti na míře únavy testované osoby (Study 3).

R. Bittner, P. Smrčka, M. Pavelka, P. Vysoký a L. Poušek v roce 2001 [5] na vzorku 10 dobrovolníků sledovali vliv únavy u profesionálních řidičů na průměrnou hodnotu BR, rychlost mrkání a délku intervalu mezi dvěma po sobě jdoucími mrknutími. Ve skupině deseti dobrovolníků byli za ospalé řidiče označeni ti, jejichž spánkový deficit dosahoval 24 – 48 hodin. V tomto výzkumu nebyly zjištěny žádné statisticky významné rozdíly v průměrné hodnotě BR mezi ospalými a bdělými řidiči. Bylo však zjištěno, že průměrná rychlost mrknutí je významně nižší u ospalých řidičů než u bdělých. Rozdíly v délkách intervalů mezi dvěma mrknutími u ospalých a bdělých řidičů popisuje graf 6.



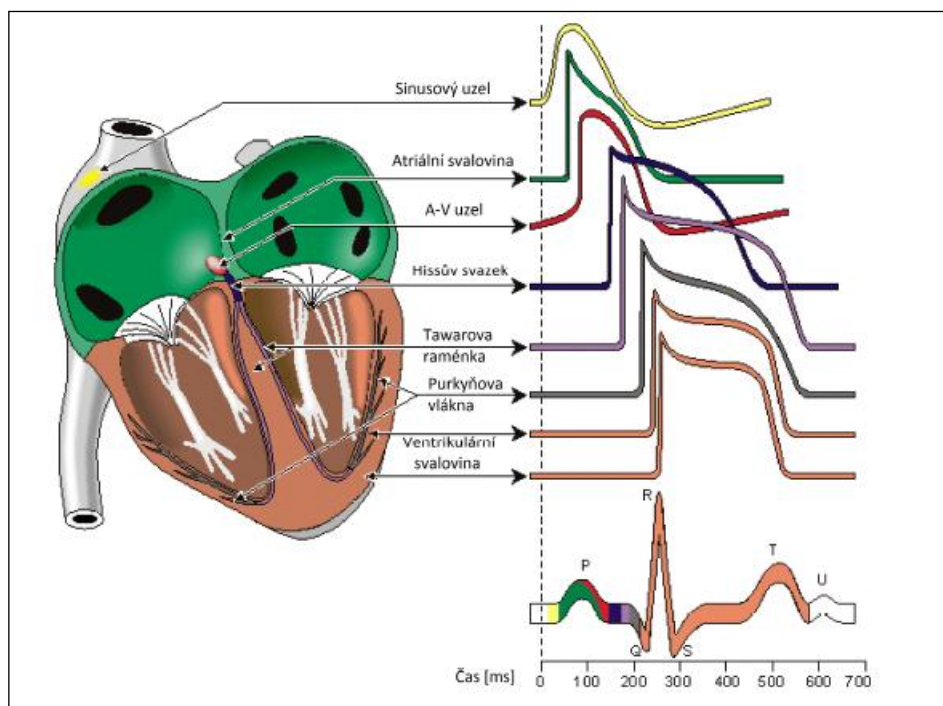
Graf 6: Rozdíl v délkách intervalů mezi dvěma mrknutími u bdělých (alert) a ospalých (drowsy) řidičů

Zdroj: [5]

1.2 Tepová frekvence

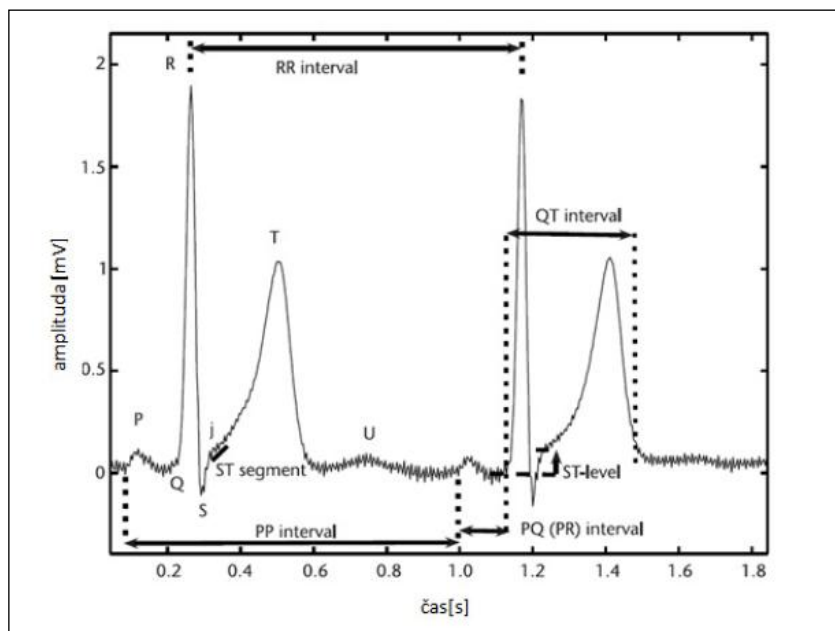
Heart rate (HR), neboli tepová frekvence, je definována jako počet tepů (stahů) srdce za jednu minutu. Klidová hladina tepové frekvence se u zdravých lidí pohybuje mezi 70 – 80 tepy za jednu minutu. Tepová frekvence nižší než 60 tepů za minutu bývá označována jako bradykardie, větší než 100 tepů za minutu jako tachykardie. Srdce je lidským orgánem, který dokáže reagovat, jak na podněty vznikající přímo v srdci, tak na podněty z vnějšího prostředí. Srdeční výdej se přizpůsobuje potřebám organismu změnami tepového objemu a tepové frekvence. Celá činnost srdce je doprovázena vznikem elektrického signálu, jehož grafický záznam se nazývá elektrokardiogram – EKG. Nejčastěji bývá tento signál snímán pomocí elektrod umístěných na povrchu těla pacienta.

Při činnosti srdce vznikají na lidském těle zaznamatelné elektrické potenciály, které mají velikost řádově v elektroltech. Elektrokardiogram slouží ke snímání tohoto signálu. Křivka EKG vznikne součtem akčních potenciálů v jednotlivých částech srdce. Vznik křivky EKG popisuje obrázek 4. Základní popis vln, kmitů a intervalů křivky EKG popisuje obrázek 5.



Obrázek 4: Vznik křivky EKG

Zdroj: [37]



Obrázek 5: Základní popis vln, kmitů a intervalů křivky EKG

Zdroj: [35]

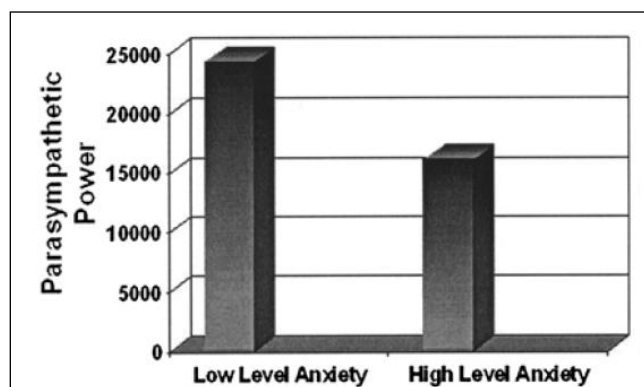
Typické délky jednotlivých intervalů EKG: PR 0,12 – 0,2 s, QRS do 0,1 s, QT do 0,43 s. Jak již bylo zmíněno výše, činnost srdce se přizpůsobuje změnám v lidském organismu. Během zvyšující se tepové frekvence dochází v průběhu křivky EKG k následujícím projevům. [37]

- Zkracuje se průměrná celková délka QRS cyklu.
- PR segment se zkracuje a klesá jeho amplituda.
- Výška P vlny se zvyšuje.
- Zvyšuje se amplituda Q vlny (roste její záporná hodnota).
- Při vysokých srdečních frekvencích klesá amplituda R vlny.
- Dochází k posunům ST intervalu.
- Zvyšuje se amplituda T vlny a dochází k jejímu posunu do středu QRS komplexu.
- QT interval se zkracuje.

1.2.1 Variabilita srdečního rytmu

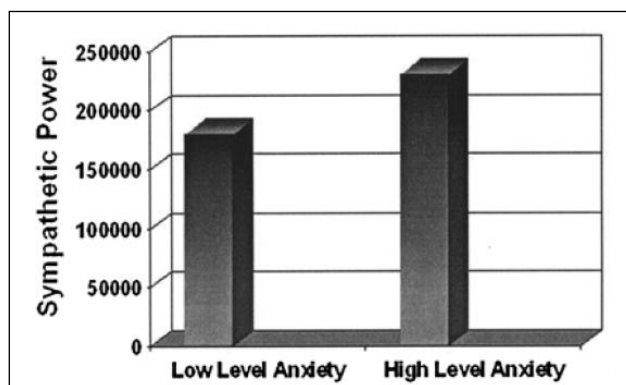
Srdeční rytmus není za fyziologických podmínek zcela pravidelný. Tyto přirozené změny srdečního rytmu se nazývají Heart Rate Variability (HRV), neboli variabilita srdečního rytmu. HRV se zpravidla vynáší jako závislost okamžitého HR na čase, případně jako závislost intervalů mezi každými dvěma po sobě jdoucími R vlnami na čase. HRV je možné sledovat a vyhodnocovat z několika biologických veličin, které přímo určují, nebo doprovázejí srdeční činnost. HRV je tedy možné detekovat pomocí elektrického signálu EKG, ve kterém zaznamenáváme jednotlivé R vlny. Dále pomocí akustického signálu tzv. fonokardiogramu (FKG), či pomocí pulzní vlny (pletysmografického signálu) snímané například z konečku prstu ruky nebo ušního lalůčku. Nejčastěji bývá HRV vyhodnocována z dlouhodobých (24 hodinových) či krátkodobých (cca 5 minutových) záznamů EKG. HRV je ovlivněna

autonomním nervovým systémem, fyziologickým a emocionálním stavem, denní aktivitou, věkem a tempem životního stylu. U zdravého jedince existuje přímá spojitost mezi HRV a dýcháním. Okamžité srdeční tempo roste při nádechu a klesá při výdechu. Tento jev se odborně nazývá koherence srdečního rytmu (coherent heart rate patterns) a je projevem rovnovážného stavu ANS. Větší HRV znamená větší adaptivitu srdce na okolní podmínky. Naopak menší HRV reflektuje, že srdce a nervový systém nereagují snadno na vnější změny. Menší HRV se projevuje s rostoucím věkem, dále se často vyskytuje u jedinců s nedostatkem pohybu a u jedinců s některými srdečními nemocemi. Menší HRV se také objevuje při častém a dlouhodobém vystavování se stresovým situacím, při některých panických, neurotických a fobických poruchách. Vzhledem k tomu, že je HRV ovlivněna činností ANS, významnou roli zde hrají vegetativní nervy sympatikus a parasympatikus. Parasympatikus převažuje ve stavech, kdy lidský organismus střeďá či udržuje potřebnou energii, je tedy spojen se stavy klidu, naopak dominance sympatika nastává při stavech zvýšeného a rychlého výdeje energie, je tedy spojen se schopností reagovat na stres. Parasympatikus tedy zpomaluje HR a prodlužuje se RR interval. Sympatikus má za následek zrychlení HR a zkracuje se RR interval. HRV je tedy vhodným nástrojem pro odlišení pozitivních a negativních emocí. Projev parasympatika a sympatika v závislosti na míře negativních emocí popisuje graf 7 a graf 8.



Graf 7: Projev parasympatika v závislosti na míře negativní emoce

Zdroj: [31]



Graf 8: Projev sympatika v závislosti na míře negativní emoce

Zdroj: [31]

Při zkoumání vlivu parasympatika a sympatika je často prováděna spektrální analýza HRV. Spektrum frekvencí HRV je pak rozděleno do tří hlavních skupin [8]:

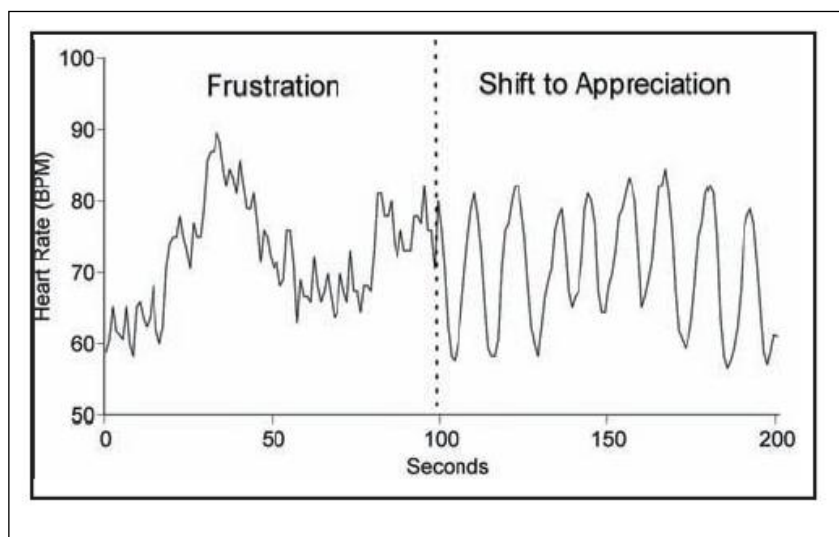
LF – low frequency 0,01 – 0,04 Hz,

MF – medium frequency 0,04 – 0,15 Hz,

HF – high frequency 0,15 – 0,5 Hz.

Oblast LF je primárně spojena s aktivitou sympatika, oblast HF je pak primárně spojena s aktivitou parasympatika a oblast MF dobře popisuje změny mezi emocionálními stavy, protože se jedná o oblast, kde není dominantní ani sympatikus, ani parasympatikus. Poměr LF/HF pak určuje rovnováhu mezi aktivitou sympatika a parasympatika [20]

Jak již bylo zmíněno výše, HRV se mění v závislosti na emocích, které člověk prožívá. „Specifically, during the experience of negative emotions such as anger, frustration, or anxiety, heart rhythms become more erratic or disordered, indicating less synchronization in the reciprocal action between the parasympathetic and sympathetic branches of the autonomic nervous system. In contrast, sustained positive emotions, such as appreciation, love, or compassion, are associated with a highly ordered or coherent pattern in the heart rhythms, reflecting greater synchronization between the two branches of the autonomic nervous system“ [19]. Vliv emocí na HRV popisuje graf 9.



Graf 9: Změna okamžitého HR v závislosti na druhu pozorovaných emocí

Zdroj: [19]

R. McCraty, M. Atkinson, W. A. Tiller, G. Rein, A. D. Watkins v roce 1995 [20] zkoumali na 24 zdravých subjektech (9 mužů, 14 žen) s průměrným věkem okolo 39 let rozdíly v rovnováze aktivity parasympatika a sympatika mezi pětiminutovou klidovou hladinou a pětiminutovým emocionálním stavem. Aktivita sympatika a parasympatika byla měřena pomocí spektrální analýzy HRV. Zkoumané osoby byly náhodně rozděleny do dvou skupin nezávisle na věku a pohlaví. Osoby v jedné skupině (12 osob) byly požádány o umělé vyvolání pozitivní emoce (appreciation) a osoby ve druhé skupině (12 osob) o vyvolání negativní emoce (anger). Vyvolání těchto dvou emocí všichni účastníci výzkumu trénovali několik měsíců předem, a to pomocí tzv. metody freeze-frame. Výsledky shrnuje tabulka 4 a tabulka 5.

Variable	Baseline	During Anger	Wilcoxon W	Wilcoxon T	p Value	Change Scores	t	p Value
LF	0.025 ± 0.008	0.072 ± 0.029	78	0	<0.01	0.047 ± 0.029	5.651	0.0001
MF	0.01 ± 0.004	0.019 ± 0.006	76	1	<0.01	0.009 ± 0.007	4.643	0.0007
HF	0.023 ± 0.011	0.025 ± 0.012	28	25	NS	0.002 ± 0.013	0.625	0.5446
LF + MF + HF	0.058 ± 0.018	0.116 ± 0.04	78	0	<0.01	0.058 ± 0.036	5.593	0.0002
LF/HF	1.312 ± 0.573	3.277 ± 1.721	78	0	<0.01	1.956 ± 1.5	4.537	0.0008
MF/(LF + HF)	0.214 ± 0.064	0.212 ± 0.09	-8	35	NS	-0.002 ± 0.11	-0.054	0.9582
HR	68.51 ± 9.67	72.42 ± 8.68	78	0	<0.01	3.917 ± 9.829	1.38	0.1949
HR SD	3.37 ± 0.63	5.08 ± 1.12	78	0	<0.01	1.710 ± 1.187	4.992	0.0004

Values are expressed as mean ± SD unless otherwise noted.
 HF = high-frequency power; HR = heart rate; LF = low-frequency power; MF = medium-frequency power.

Tabulka 4: Vliv negativní emoce (anger) na průběh HR

Zdroj: [20]

Variable	Baseline	During Appreciation	Wilcoxon W	Wilcoxon T	p Value	Change Scores	t	p Value
LF	0.025 ± 0.014	0.052 ± 0.044	66	6	<0.01	0.027 ± 0.03	3.098	0.0101
MF	0.023 ± 0.016	0.173 ± 0.169	78	0	<0.01	0.150 ± 0.166	3.141	0.0094
HF	0.019 ± 0.013	0.031 ± 0.025	56	11	<0.05	0.012 ± 0.02	2.011	0.0695
LF + MF + HF	0.067 ± 0.037	0.256 ± 0.203	78	0	<0.01	0.189 ± 0.19	3.434	0.0056
LF/HF	1.588 ± 0.633	2.024 ± 1.075	26	26	NS	0.436 ± 1.24	1.219	0.2482
MF/(LF + HF)	0.538 ± 0.251	2.636 ± 3.244	78	0	<0.01	2.097 ± 3.179	2.285	0.0431
HR	73.599 ± 9.675	73.867 ± 9.283	0	39	NS	0.268 ± 10.414	0.089	0.9305
HR SD	3.391 ± 0.836	5.968 ± 2.189	78	0	<0.01	2.577 ± 2.18	4.095	0.0018

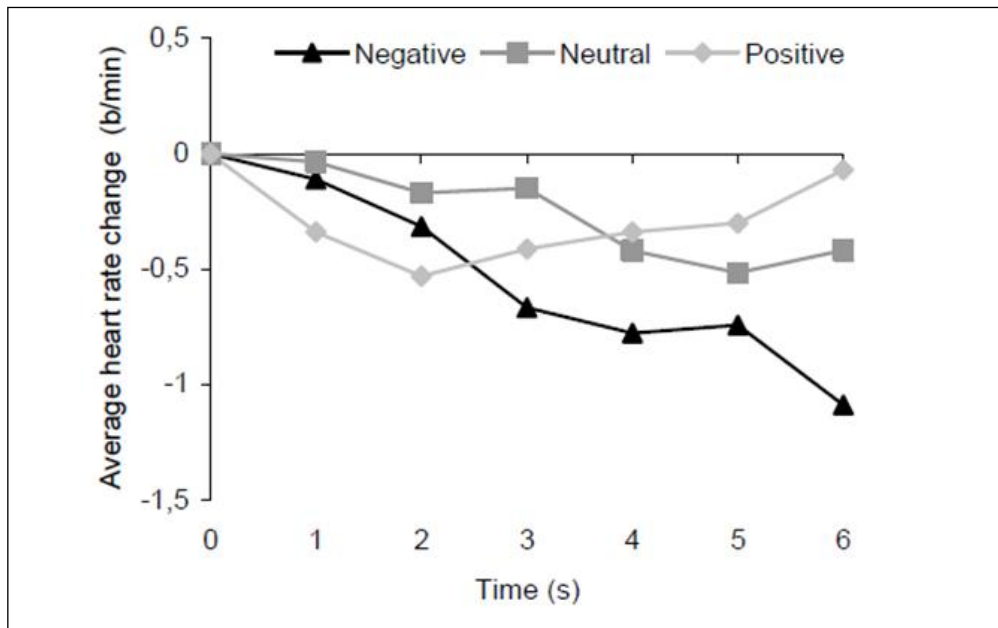
Values are expressed as mean ± SD unless otherwise noted.
Abbreviations as in Table I.

Tabulka 5: Vliv pozitivní emoce (appreciation) na průběh HR

Zdroj: [20]

Dle výše uvedených tabulek se průměrná hodnota HR téměř nemění během pozitivní emoce (appreciation) a roste během negativní emoce (anger). Nárůst průměrné hodnoty HR během negativní emoce není však nijak významný v porovnání s klidovou hladinou (baseline) HR. Během negativní emoce (anger) dochází k významnému nárůstu průměrné hodnoty LF bez významných změn v průměrné hodnotě HF, což vede k nárůstu průměrné hodnoty LF/HF. Naopak během kladné emoce (appreciation) dochází jak k nárůstu průměrné hodnoty LF, tak i k nárůstu průměrné hodnoty HF, což znamená, že průměrná hodnota poměru LF/HF se nijak významně nemění. Průměrná hodnota MF významně vzrostla jak během kladné emoce (appreciation), tak stejně během záporné emoce (anger). Všechny průměrné hodnoty byly stanoveny pomocí tzv. Wilcoxon Signed Rank – Sum Test.

Jenni Anttonen a Veikko Surakka v roce 2005 [2] zkoumali na 24 zdravých subjektech (9 mužů, 15 žen) změnu průměrné hodnoty HR v závislosti na negativních, pozitivních a neutrálních emocích. Experiment se skládal ze tří čtyřminutových bloků: poslechové, vizuální a audiovizuální stimulace. Jednotlivé bloky experimentu byly vždy odděleny jednodominutovým odpočinkem. Každý blok obsahoval pět negativních, pět pozitivních a pět neutrálních stimulací dlouhých cca 6 sekund oddělených 10 sekundovou pauzou. Výsledky experimentu popisuje graf 10.



Graf 10: Změna průměrné hodnoty HR v závislosti na druhu vyvolaných emocí

Zdroj: [2]

Průměrná hodnota HR, jak ukazuje graf 10, obecně při všech měřeních klesá. Nebyly nalezeny statisticky významné rozdíly v pozitivních a neutrálních stimulacích, stejně jako v negativních a neutrálních stimulacích. U výsledků tohoto experimentu je třeba přihlídnout k faktu, že se vždy jedná o velmi krátké časové intervaly (6 sekund), ve kterých jsou jednotlivé emoce pomocí různých stimulací navozovány, také je potřeba brát v úvahu, že pauzy mezi jednotlivými stimulacemi jsou také velmi krátké (10 sekundové pauzy, 1 minutový odpočinek).

2 Cíle a hypotézy

2.1 Cíl práce

Úkolem diplomové práce bylo sledování fyziologických dat v průběhu procesu učení. Na základě prostudované literatury byly za pozorované fyziologické veličiny vybrány frekvence srdeční činnosti (HR) a frekvence mrkání oka (BR). Proces učení byl pak simulován počítáním příkladů z malé a velké násobilky.

Cíl práce byl tedy stanoven takto: Analyzovat a interpretovat změny frekvence srdeční činnosti a frekvence mrkání oka v závislosti na obtížnosti daného matematického úkolu.

2.2 Vědecké otázky

- 1) Jaké strategie řešení se budou vyskytovat při řešení příkladů z velké násobilky?
- 2) Jaké strategie rozhodování o správnosti výsledku se budou vyskytovat při řešení příkladů z velké násobilky?
- 3) Jak se celkový čas potřebný k řešení příkladů generovaných počítačem liší v závislosti:
 - a. na obtížnosti příkladů?
 - b. na pohlaví zkoumaných osob?
 - c. na typu dosaženého vzdělání zkoumaných osob?
 - d. na typu zaměstnání zkoumaných osob?
- 4) Budou se vyskytovat genderové rozdíly v průměrné hodnotě klidové hladiny BR?

2.3 Hypotézy

- 1) Průměrná hodnota BR zkoumaných osob za časový interval potřebný k vyřešení 20 příkladů s rostoucí obtížností zadání matematického úkolu roste.

- 2) Při vyšší kognitivní zátěži se periodicitu srdečního rytmu naruší zejména v oblasti vyšších frekvencí.

3 Metodika

3.1 Charakteristika souboru

Ve výzkumu bylo zkoumáno 6 zdravých osob (3 muži a 3 ženy) s průměrným věkem ($27,33 \pm 1,97$) let. Charakteristiku zkoumaného souboru popisuje tabulka 6. Všichni účastníci byli informováni, že výsledky zkoumání budou použity pouze pro vědecké účely.

Zkoumaná osoba	Pohlaví	Věk	Dominantní hemisféra	Dosažené vzdělání	Obor dosaženého vzdělání	Zaměstnání	Četnost práce s počítačem	Četnost počítání z paměti
1	Muž	27	Pravá	Mgr.	Fyzika	PhD. student / Manažer	Denně	Denně
2	Muž	26	Pravá	Bc.	Mezinárodní teritoriální studia	Student	Denně	Vůbec
3	Muž	26	Pravá	Mgr.	Mezinárodní teritoriální studia	Student/ Číšník	Denně	Denně
4	Žena	30	Pravá	Mgr.	Přírodovědná geografie	Koordinátorka vzdělávacích projektů	Denně	Vůbec
5	Žena	30	Pravá	Mgr.	Sociologie	Koordinátorka vzdělávacích projektů	Denně	Vůbec
6	Žena	25	Pravá	Mgr.	Matematika - Fyzika	PhD. student	Denně	Několikrát týdně

Tabulka 6: Charakteristika zkoumaného souboru

3.2 Výzkumný plán

Jako výzkumný plán byl použit tzv. Single Sample Research Design (SSRD). SSRD je velmi často užívaným výzkumným plánem převážně v oblastech psychologie, vzdělávání a v oblasti výzkumu lidského chování.

3.2.1 Charakteristika použitého výzkumného plánu

Dle Ottenbacher, 1986 a Bloom & Fischer, 1982 (uvedeno v [23]) je SSRD definován jako: „*SSRD involves studying a single individual or system by taking repeated measurements of 1 or more dependent variables and systematically applying and sometimes, withdrawing or varying the independent variable.*“

SSRD je vhodným výzkumným plánem, zejména pokud při daném výzkumu nelze zajistit homogenní testovaný vzorek, chceme vhodně demonstrovat individuální rozdíly či je náš výzkum pouze pilotním výzkumem, na kterém chceme ověřit správnost vědeckého postupu. V neposlední řadě SSRD využijeme, pokud chceme některá měření provádět opakovaně, a to v různých situacích za účelem následného porovnání.

3.2.2 Fáze použitého výzkumného plánu

SSRD se vždy skládá minimálně ze dvou fází.

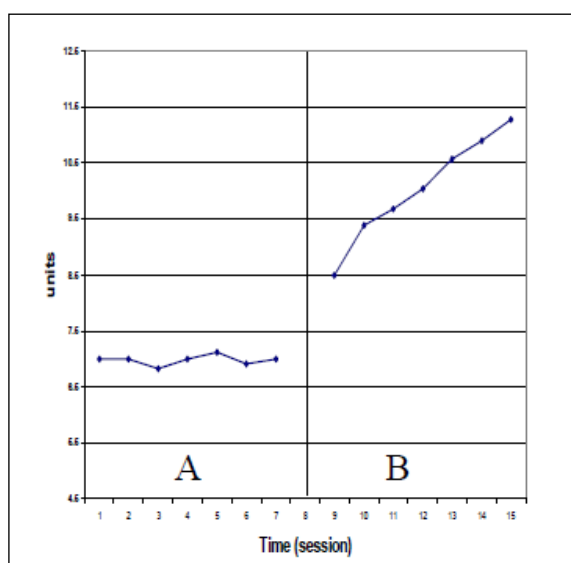
První z těchto fází bývá nazývána jako fáze baseline, nebo také jako fáze A. Během této fáze je závislá proměnná měřena bez jakéhokoliv dalšího zásahu. Výsledkem měření je křivka, případně soubor dat, který porovnáváme s následně měřenou zátěží. Tato křivka (soubor dat) se zpravidla pojmenovává právě baseline. Fáze A je často prováděna opakovaně z důvodu nabytí jistoty, že daná testovaná osoba, respektive testovaný předmět jsou zcela v klidu. Pokud se v našem výzkumu vyskytuje N závislých proměnných, měli bychom během fáze A naměřit N baselines.

Druhá z těchto fází bývá nazývána jako fáze intervention (treatment), nebo také jako fáze B. Během této fáze je závislá proměnná měřena již v konkrétní zkoumané situaci. Výsledná křivka (soubor dat) bývá často nazývána treatment. Fáze B může být stejně jako fáze A prováděna opakovaně, nebo se také může skládat z několika dílčích částí, kde v každé z těchto částí dojde ke změně zkoumané situace. Pokud to podmínky výzkumu dovolují, měla by být fáze B přibližně stejně dlouhá jako fáze A.

3.2.3 Základní typy použitého výzkumného plánu

Simple Design

Simple design je nejjednodušší variantou SSRD. V tomto designu je měřena 1 křivka (soubor dat) baseline ve fázi A a jedna křivka (soubor dat) treatment ve fázi B. Schematické znázornění popisuje obrázek 6. Tento typ tedy slouží k jednoduchým výzkumům, kde nám pouze stačí porovnat průběh závislé proměnné v klidové situaci a průběh závislé proměnné v konkrétní zkoumané situaci.



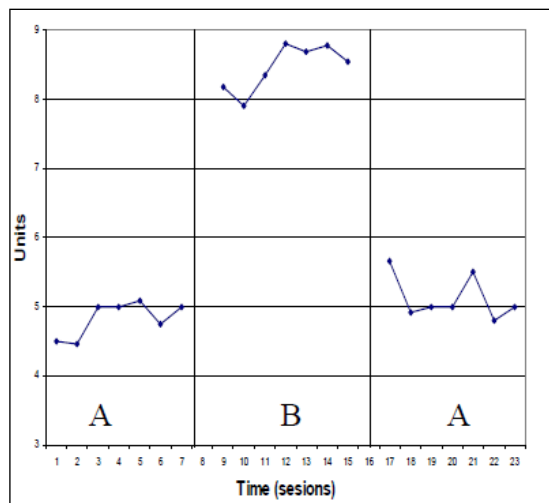
Obrázek 6: Schematické znázornění Simple Designu

Zdroj: [23]

Withdrawal Design

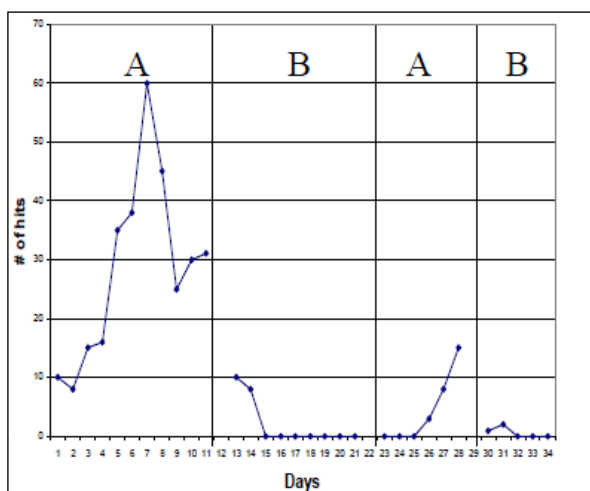
Tento typ SSRD se skládá buď pouze ze tří fází: fáze A, fáze B a opět z fáze A. Je zde tedy zaznamenávána dvakrát křivka (soubor dat) baseline a jednou křivka (soubor dat) treatment. Nebo ze čtyř fází: fáze A, fáze B, fáze A a opět fáze B. V tomto případě je pak dvakrát zaznamenávána křivka baseline a dvakrát křivka treatment. Schématické znázornění popisují obrázky 7, 8. Withdrawal design se používá převážně kvůli kontrole, zda samotná aktivní fáze výzkumu danou testovanou osobu, případně předmět nijak neovlivnila, nebo naopak, jak se aktivní fáze projevila na změně křivky baseline. U tohoto typu designu je potřeba správně

interpretovat naměřená data. Převážně u výzkumů prováděných na poli medicíny či vzdělávání může fáze B v podobě např. aplikace léků, či aplikace vzdělávací metody statisticky významně změnit průběh křivky baseline.



Obrázek 7: Schematické znázornění Withdrawal designu se třemi fázemi

Zdroj: [23]

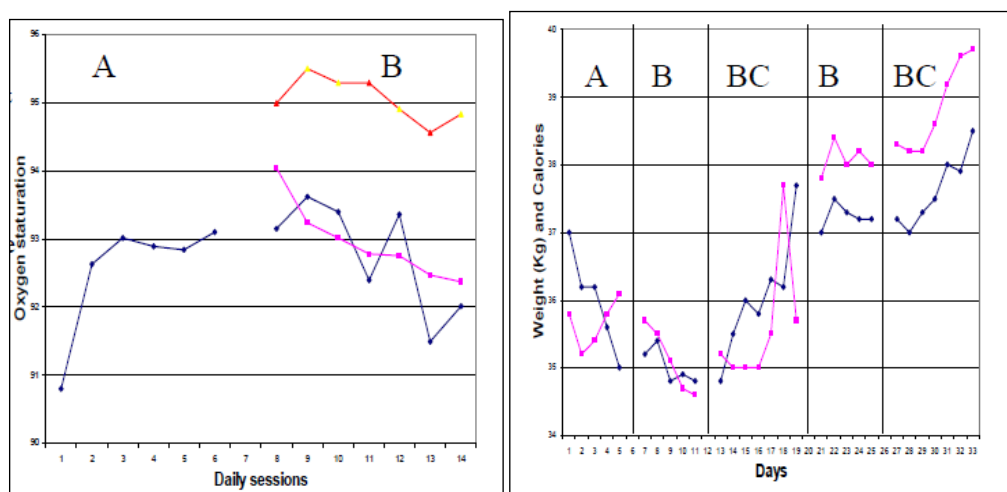


Obrázek 8: Schematické znázornění Withdrawal designu se čtyřmi fázemi

Zdroj: [23]

Multiple Treatment Designs, Multiple Baseline Designs

U toho typu SSRD je buď měřeno několik různých křivek treatment ve fázi B, či několik křivek baseline ve fázi A, nebo několik různých křivek ve fázi B a zároveň několik křivek baseline ve fázi A (obrázek 9). Multiple Treatment Design se často používá v oblasti medicíny převážně u výzkumů testujících účinky medikamentů. Ve fázi B je tak jednou testované osobě podán medikament a jednou namísto medikamentu pouze placebo. Velkou nevýhodou Multiple Treatment Design je, že aby mohlo být několikrát provedeno měření křivky treatment, je potřeba nemalých časových prodlev mezi jednotlivými měřeními. Tyto prodlevy pak můžou mít velký vliv na získaná data. Multiple Baseline Design je používán v situacích, kdy měříme více závislých proměnných. Nachází tedy uplatnění převážně na poli výzkumu lidského chování, kde je testované osobě měřeno několik fyziologických veličin zároveň.

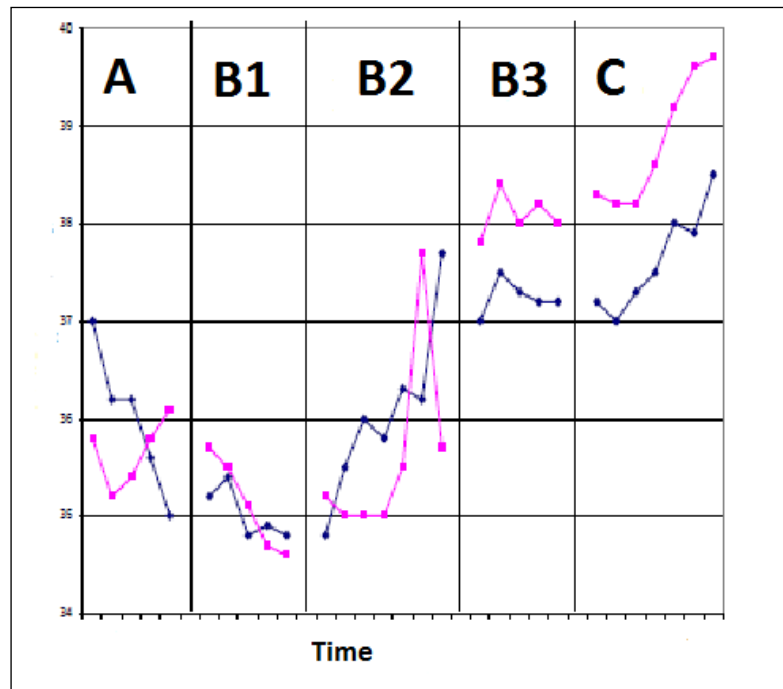


Obrázek 9: Schematické znázornění Multiple Treatment Designs a Multiple Baseline Designs

Zdroj: [23]

3.2.4 Vlastní výzkumný plán

Pro naše účely byl použit SSRD skládající se ze tří fází (fáze A, fáze B, fáze C). Schéma použitého SSRD popisuje obrázek 10.



Obrázek 10: Schematické znázornění použitého výzkumného plánu

Fáze A – byly měřeny dvě křivky baseline pro dvě závislé proměnné. Testovaným osobám byla měřena klidová hladina Heart Rate a klidová hladina Blink Rate. V této fázi testované osoby pouze seděly v klidu na židli.

Fáze B – byla rozdělena do tří částí (B1, B2 B3), v každé z těchto částí byly dvě závislé proměnné měřeny v průběhu odlišné kognitivní zátěže.

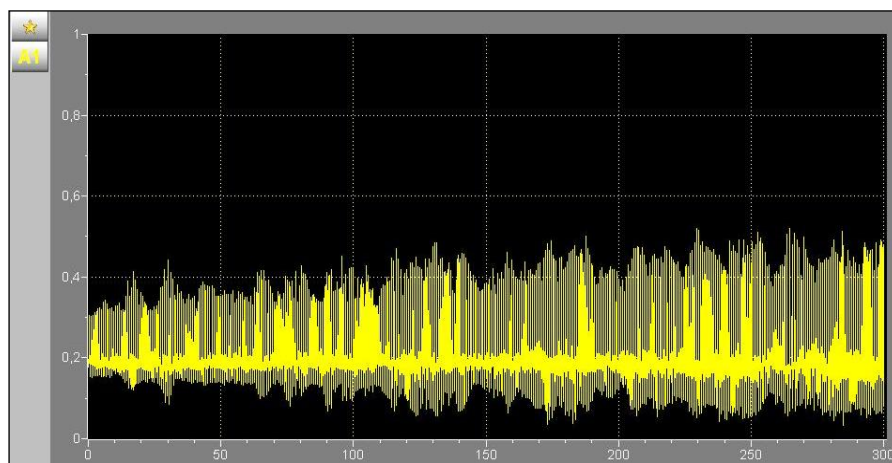
Fáze B1 – Testovaným osobám byla měřena Heart Rate a Blink Rate v průběhu řešení příkladů z malé násobilky generovaných počítačem.

Fáze B2 – Testovaným osobám byla měřena Heart Rate a Blink Rate v průběhu řešení příkladů z velké násobilky generovaných počítačem.

Fáze B3 – Testovaným osobám byla měřena Heart Rate a Blink Rate v průběhu řešení náhodně kombinovaných příkladů z malé a velké násobilky zadávaných ústně.

Fáze C – odpovídala řízenému rozhovoru, během kterého byla opět měřena Heart Rate a Blink Rate zkoumané osoby.

Ukázku hrubých dat HR a BR měřených během všech částí experimentu popisují obrázky 11, 12 a 13.



Obrázek 11: Ukázka měřených hrubých dat HR během našeho výzkumu



Obrázek 12: Ukázka měřených hrubých dat HR během našeho výzkumu – detail



Obrázek 13: Ukázka měřených hrubých dat BR během našeho výzkumu

4 Průběh výzkumu

Výzkum probíhal na katedře didaktiky fyziky Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy. Z důvodu časové náročnosti nemohla všechna měření probíhat ve stejnou dobu. Celý výzkum byl tedy rozdělen do čtyř částí realizovaných během čtyř dní. Snažili jsme se však vždy o maximální zajištění stejných podmínek průběhu výzkumu. Klimatické a laboratorní podmínky jednotlivých měřících dnů shrnují tabulky 7, 8, 9 a 10.

Datum	19. 1 2012
Čas měření	16:00 - 17:00
Teplota místnosti	20 °C
Denní teplotní podmínky	0 - 4 °C
Rychlost větru	4 - 8 m.s ⁻¹
BIO zátěž	stupeň č. 1 - mírná zátěž

Tabulka 7: Klimatické a laboratorní podmínky prvního měření

Datum	16. 2 2012
Čas měření	13:00 - 15:00
Teplota místnosti	19 °C
Denní teplotní podmínky	-2 - 0°C
Rychlost větru	4 - 9 m.s ⁻¹
BIO zátěž	stupeň č. 2 - střední zátěž

Tabulka 8: Klimatické a laboratorní podmínky druhého měření

Datum	22. 2 2012
Čas měření	15:00 - 17:00
Teplota místnosti	20 °C
Denní teplotní podmínky	4 - 8 °C
Rychlost větru	4 - 8 m.s ⁻¹
BIO zátěž	stupeň č. 2 - střední zátěž

Tabulka 9: Klimatické a laboratorní podmínky třetího měření

Datum	23. 2 2012
Čas měření	17:00 - 18:00
Teplota místnosti	21 °C
Denní teplotní podmínky	9 - 13 °C
Rychlost větru	4 - 9 m.s ⁻¹
BIO zátěž	stupeň č. 1 - mírná zátěž

Tabulka 10: Klimatické a laboratorní podmínky čtvrtého měření

Všechna měření byla rozdělena do pěti částí:

- 1 Měření klidové hladiny BR a HR.
- 2 Měření HR a BR v průběhu řešení příkladů z malé násobilky generované počítačem.
- 3 Měření HR a BR v průběhu řešení příkladů z velké násobilky generované počítačem.
- 4 Měření HR a BR v průběhu řešení kombinovaných příkladů z malé a velké násobilky zadávaných ústně.
- 5 Měření HR a BR v průběhu rozhovoru.

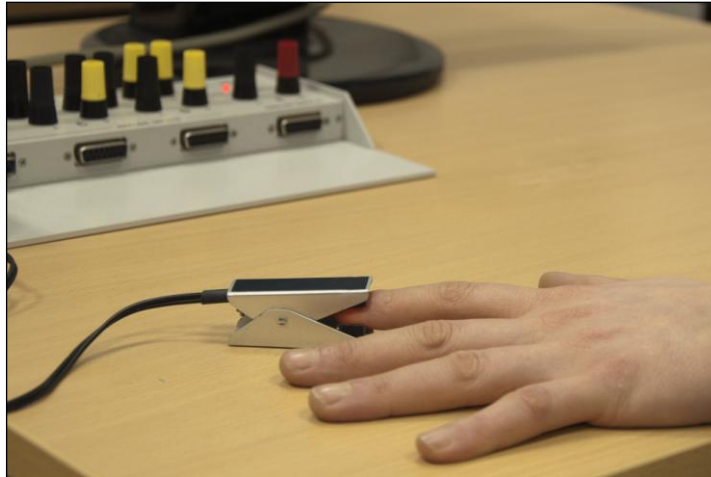
4.1 Průběh první části výzkumu

V této části výzkumu byla jednotlivým testovaným osobám po dobu dvou minut měřena klidová hladina srdeční frekvence (HR) a klidová hladina frekvence mrkání oka (BR). V průběhu tohoto měření testované osoby seděly nečinně v klidu na židli. HR byla vždy snímána z ukazováčku levé ruky pomocí optického čidla systému ISES² (obrázek 14 a 15), které je velice citlivé na vnější otřesy a na umělé osvětlení místnosti. Z těchto důvodů byly testované osoby vždy požádány, aby levou ruku ponechaly volně položenou na stole a snažily se s ní během měření nehýbat, dále byla jejich levá ruka zakryta černou textilií z důvodů citlivosti čidla na umělé osvětlení místnosti. BR byla monitorována pomocí digitální kamery, která byla nainstalována tak, aby byl nahráván obraz obličeje testované osoby, ze kterého byla následně odečítaná BR.



Obrázek 14: Optické čidlo systému ISES použité ve výzkumu ke snímání HR

² Inteligentní školní experimentální systém



Obrázek 15: Optické čidlo systému ISES použité ve výzkumu ke snímání HR

4.2 Průběh druhé části výzkumu

V této části výzkumu testované osoby řešily 20 příkladů z malé násobilky. Příklady byly generovány počítačem. Každý příklad byl vždy zadán tak, že testované osoby měly rozhodnout o správnosti výsledku příkladu a své rozhodnutí potvrdit pomocí myši buď tlačítkem „OK“, pokud byl výsledek nabídnutý počítačem správný, či tlačítkem „NE“, pokud byl výsledek nesprávný. Ukázkou příkladu popisuje obrázek 16.

5 x 5 = 26

Špatně:
Správně:

Reset

Obrázek 16: Modelový příklad z malé násobilky použitý ve výzkumu

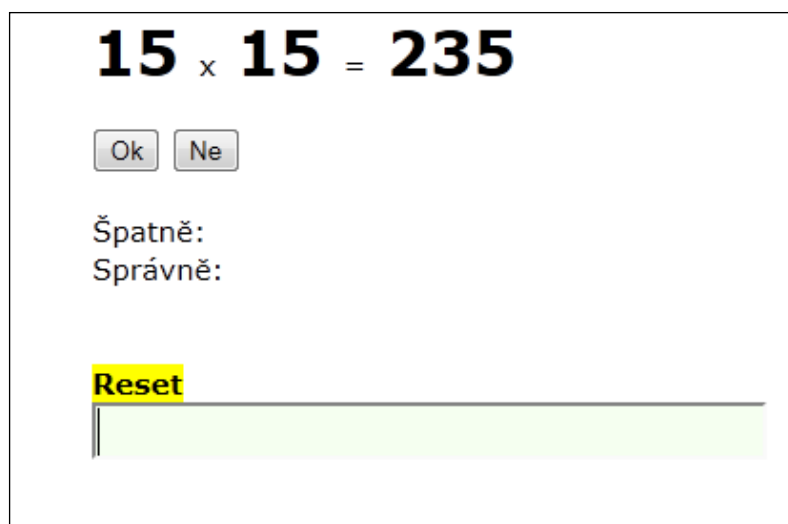
Během řešení prvního příkladu se v poli pod tlačítkem reset začal odpočítávat čas. Z tohoto údaje jsme pak byli schopni zjistit průměrné časové rozpětí potřebné k vyřešení 20 příkladů z malé násobilky. Dále se na obrazovce objevoval počet správně vyřešených příkladů a počet nesprávně vyřešených příkladů.

Během řešení těchto příkladů byla testovaným osobám opět měřena HR a BR. Způsoby měření se shodovaly se způsoby použitými v první části výzkumu. Testované osoby byly tedy opět požádány, aby nehýbaly s rukou, na které bylo umístěno optické čidlo ke snímání HR, a jejich ruka s čidlem byla opět přikryta černou textilií. BR byla opět monitorována pomocí digitální kamery.

4.3 Průběh třetí části výzkumu

V této části výzkumu řešily testované osoby 20 příkladů z velké násobilky, které byly, stejně jako ve 2. části výzkumu, generovány počítačem. Postup řešení byl shodný s postupem při řešení příkladů z malé násobilky. Dále bylo opět možné odečítat celkový čas potřebný k vyřešení všech 20 příkladů a počet správných a nesprávných řešení. Ukázkou příkladu popisuje obrázek 17.

Testovaným osobám byla opět po celou dobu řešení snímána HR i BR. Postup získávání těchto dat byl shodný s postupem v 1. a 2. části výzkumu.



Obrázek 17: Modelový příklad z velké násobilky použitý ve výzkumu

4.4 Průběh čtvrté části výzkumu

Ve čtvrté části výzkumu bylo testovaným osobám zadáno 20 náhodně vybraných příkladů z malé i velké násobilky. Všechny příklady byly zadány ústně a testovaní jedinci opět měli rozhodnout o jejich správnosti. Po celou dobu řešení byla opět měřena testovaným osobám HR a BR. Postupy měření těchto proměnných se znovu shodovaly s postupy použitými v předchozích částech výzkumu.

4.5 Průběh páté části výzkumu

Pátá, poslední část výzkumu probíhala v podobě řízeného rozhovoru, během kterého byla testovaným osobám opět měřena HR a BR. Rozhovor se skládal ze dvou částí. První část rozhovoru se týkala obecných informací o testované osobě (věk, dosažené vzdělání, povolání, dominantní hemisféra, jak často daný jedinec pracuje s počítačem apod.). Druhá část rozhovoru se pak týkala průběhu samotného experimentu. Testovaným osobám byly kladeny otázky typu: *Jak moc vás optické čidlo omezovalo při plnění jednotlivých částí? Nerozptyloval/neznervózňoval vás ubíhající čas na obrazovce? Která část výzkumu se vám zdála být nejjednodušší a která naopak nejtěžší?* Data získaná při rozhovoru sloužila jednak k poskytnutí informací o testovaném vzorku, jednak ke správné interpretaci naměřených dat. Videozáznam rozhovoru a taktéž i videozáznamy jednotlivých měření z důvodu ochrany osobních dat testovaných osob nejsou k této práci přiloženy. Zpracování všech pořizovaných rozhovorů lze v textové podobě nalézt v příloze 1.

Uspořádání průběhu výzkumu ilustruje obrázek 18.



Obrázek 18: Ilustrační fotografie popisující uspořádání experimentu

5 Zpracování dat

5.1 Zpracování frekvence mrkání oka

Frekvence mrkání oka byla měřena pomocí videozáznamu. Testované osoby byly po celou dobu experimentu natáčeny na videokameru, kamera byla nastavena tak, aby byl testované osobě zabírán obličej. Z daného videozáznamu byla následně odečítána průměrná hodnota BR pro každou z pěti částí experimentu. Průměrná hodnota BR byla stanovena jako počet mrknutí (blinks) za minutu. Pro každou testovanou osobu v každé části experimentu byla průměrná hodnota BR počítána vždy pětkrát z důvodu nutnosti získat co nejpřesnější data. Odečítání mrkání z videozáznamu není nejpřesnější metodou. Přesnost výsledků může ovlivnit samotné mrkání osoby, která záznam zpracovává, dále udržení pozornosti a v poslední řadě převážně u osob s vyšší frekvencí mrkání odlišení úplného mrknutí oka od pouhého přivření oka. Z těchto důvodů, jak již bylo uvedeno, byla data zpracovávána vždy pětkrát. Průměrná hodnota BR byla pak určena jako aritmetický průměr těchto pěti zpracování. Z důvodů velkých individuálních rozdílů v průměrné klidové hladině BR není možné data zpracovávat tak, že by byla stanovena průměrná hodnota BR pro každou část experimentu ze všech získaných průměrných hodnot BR u jednotlivých zkoumaných osob. Průměrná hodnota BR v jednotlivých částech výzkumu byla tedy určena vždy pro každou testovanou osobu zvlášť.

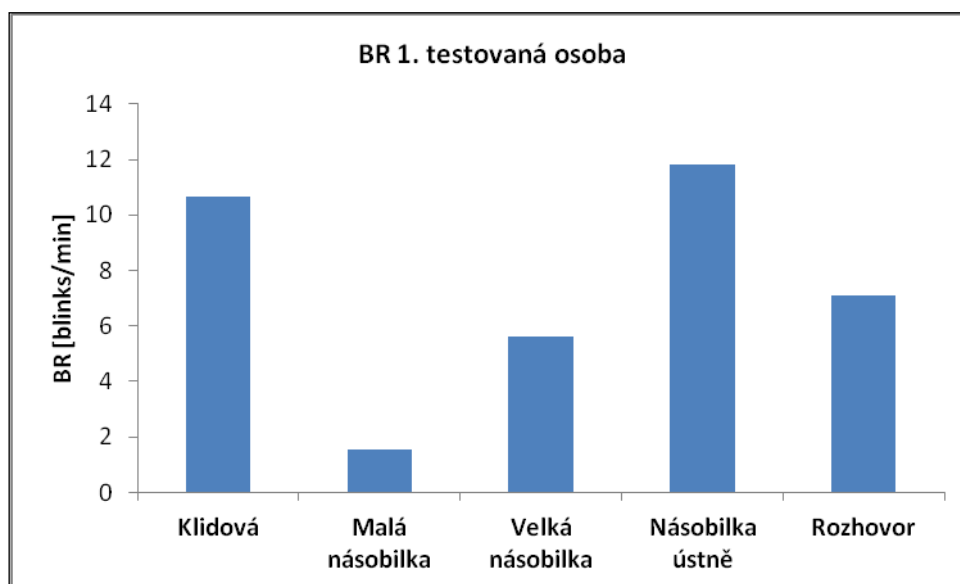
5.1.1 První zkoumaná osoba

Výsledky zpracování průměrných hodnot BR 1. zkoumané osoby v jednotlivých částech výzkumu popisuje tabulka 11. Průměrné hodnoty BR v jednotlivých částech výzkumu 1. zkoumané osoby popisuje graf 11.

Zpracování	BR klidová [blinks / min]	BR malá násobilka [blinks / min]	BR velká násobilka [blinks / min]	BR násobilka ústně [blinks / min]	BR rozhovor [blinks / min]
------------	------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------

1.	11,27	1,54	5,68	12,31	7,32
2.	9,77	1,54	5,92	11,41	6,68
3.	10,52	1,54	5,18	12,01	7,01
4.	10,52	1,54	5,43	11,71	7,17
5.	11,27	1,54	5,92	11,71	7,32
Aritmetický průměr	10,67	1,54	5,63	11,83	7,10
Směrodatná odchylka	0,56	0,00	0,29	0,31	0,24

Tabulka 11: Určení průměrných hodnot BR v jednotlivých částech výzkumu 1. zkoumané osoby



Graf 11: Průměrné hodnoty BR v jednotlivých částech výzkumu 1. zkoumané osoby

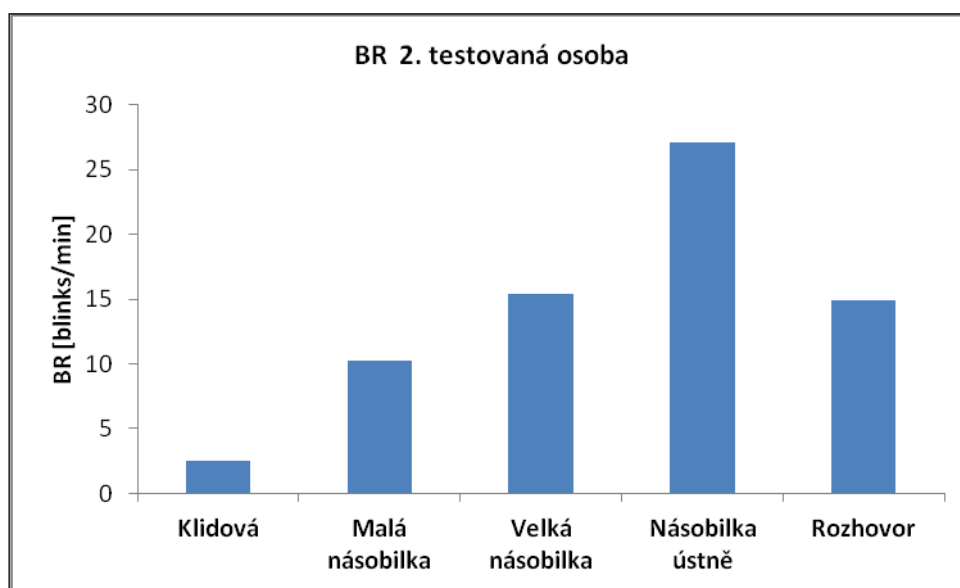
Z grafu 11 a tabulky 11 je patrné, že u zkoumané osoby č. 1 došlo ke snížení průměrné hodnoty BR v průběhu počítání příkladů z malé násobilky oproti průměrné hodnotě klidové hladiny BR. Porovnáme-li průměrné hodnoty BR ve 2., ve 3. a ve 4. části výzkumu, je patrné, že s rostoucí mírou obtížnosti zadání vzrostla průměrná hodnota BR. V poslední části výzkumu došlo ke snížení průměrné hodnoty BR oproti průměrné hodnotě BR ve 4. části výzkumu.

5.1.2 Druhá zkoumaná osoba

Výsledky zpracování průměrných hodnot BR 2. zkoumané osoby v jednotlivých částech výzkumu popisuje tabulka 12. Průměrné hodnoty BR v jednotlivých částech výzkumu 2. zkoumané osoby popisuje graf 12.

Zpracování	BR klidová [blinks/min]	BR malá násobilka [blinks/min]	BR velká násobilka [blinks/min]	BR násobilka ústně [blinks/min]	BR rozhovor [blinks/min]
1.	2,61	10,52	15,71	27,19	15,48
2.	2,11	9,86	15,17	27,74	14,43
3.	2,61	10,52	15,00	26,28	14,96
4.	2,61	10,52	15,71	26,88	14,17
5.	2,61	9,86	15,54	27,49	15,48
Aritmetický průměr	2,51	10,26	15,43	27,12	14,90
Směrodatná odchylka	0,20	0,32	0,29	0,51	0,53

Tabulka 12: Určení průměrných hodnot BR v jednotlivých částech výzkumu 2. zkoumané osoby



Graf 12: Průměrné hodnoty BR v jednotlivých částech výzkumu 2. zkoumané osoby

Z grafu 12 a tabulky 12 je patrné, že u zkoumané osoby č. 2 došlo ke zvýšení průměrné hodnoty BR v průběhu počítání příkladů z malé násobilky oproti průměrné hodnotě

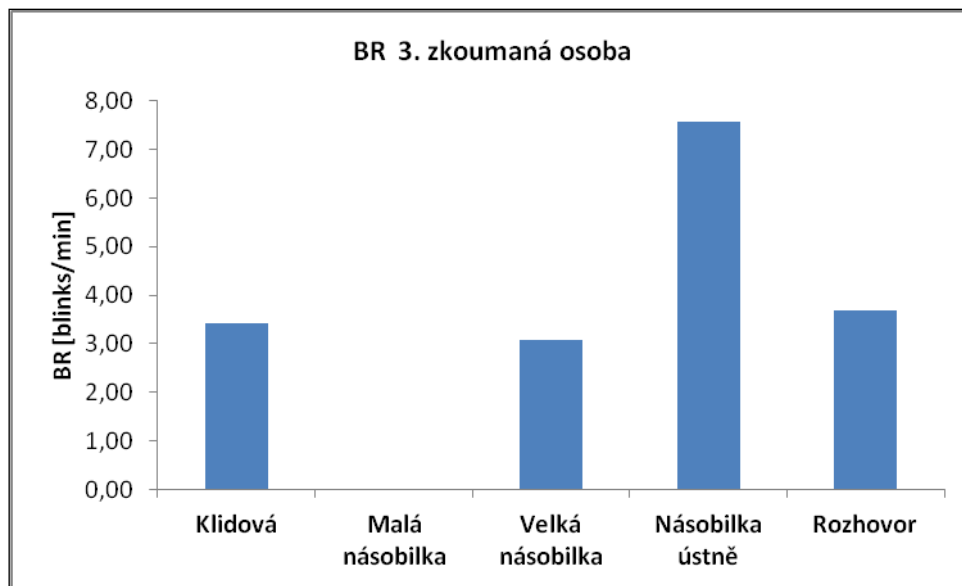
klidové hladiny BR. Porovnáme-li průměrné hodnoty BR ve 2., ve 3. a ve 4. části výzkumu, je patrné, že s rostoucí mírou obtížnosti zadání vzrostla průměrná hodnota BR. V poslední části výzkumu došlo ke snížení průměrné hodnoty BR oproti průměrné hodnotě BR ve 4. části výzkumu.

5.1.3 Třetí zkoumaná osoba

Výsledky zpracování průměrných hodnot BR 3. zkoumané osoby v jednotlivých částech výzkumu popisuje tabulka 13. Průměrné hodnoty BR v jednotlivých částech výzkumu 3. zkoumané osoby popisuje graf 13.

Zpracování	BR klidová [blinks/min]	BR malá násobilka [blinks/min]	BR velká násobilka [blinks/min]	BR násobilka ústně [blinks/min]	BR rozhovor [blinks/min]
1.	3,64	0,00	3,16	7,64	3,87
2.	3,12	0,00	2,71	7,96	3,38
3.	3,12	0,00	3,16	7,32	3,63
4.	3,64	0,00	3,16	7,64	3,63
5.	3,64	0,00	3,16	7,32	3,87
Aritmetický průměr	3,43	0,00	3,07	7,58	3,68
Směrodatná odchylka	0,25	0,00	0,18	0,24	0,18

Tabulka 13: Určení průměrných hodnot BR v jednotlivých částech výzkumu 3. zkoumané osoby



Graf 13: Průměrné hodnoty BR v jednotlivých částech výzkumu 3. testované osoby

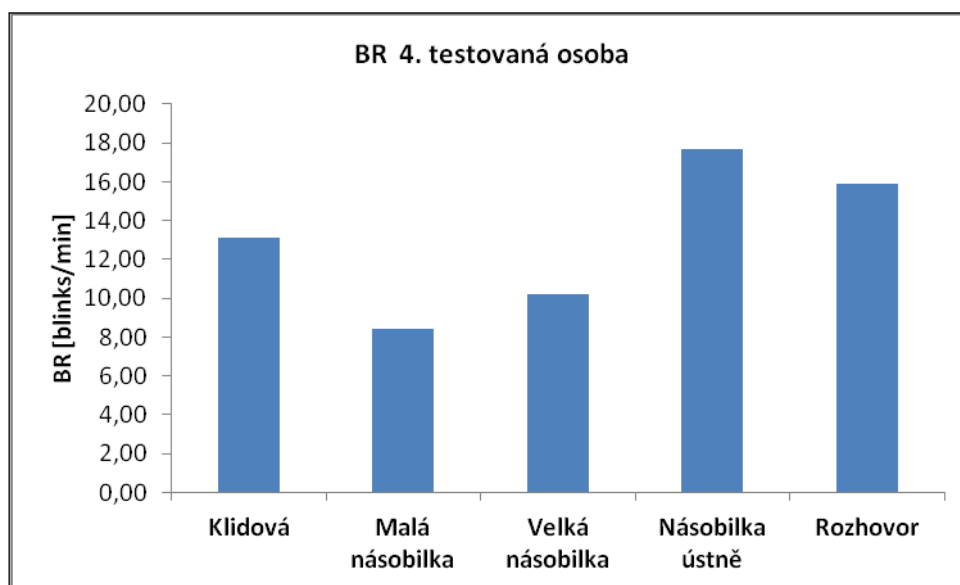
Z grafu 13 a tabulky 13 je patrné, že u zkoumané osoby č. 3 došlo ke snížení průměrné hodnoty BR v průběhu počítání příkladů z malé násobilky oproti průměrné hodnotě klidové hladiny BR. V této části výzkumu testovaná osoba č. 3 nemrkla ani jednou. Porovnáme-li průměrné hodnoty BR ve 2., ve 3. a ve 4. části výzkumu, je patrné, že s rostoucí mírou obtížnosti zadání vzrostla průměrná hodnota BR. V poslední části výzkumu došlo ke snížení průměrné hodnoty BR oproti průměrné hodnotě BR ve 4. části výzkumu.

5.1.4 Čtvrtá zkoumaná osoba

Výsledky zpracování průměrných hodnot BR 4. zkoumané osoby v jednotlivých částech výzkumu popisuje tabulka 14. Průměrné hodnoty BR v jednotlivých částech výzkumu 4. zkoumané osoby popisuje graf 14.

Zpracování	BR klidová [blinks/min]	BR malá násobilka [blinks/min]	BR velká násobilka [blinks/min]	BR násobilka ústně [blinks/min]	BR rozhovor [blinks/min]
1.	13,87	9,09	10,63	18,31	15,71
2.	12,91	7,50	10,12	17,58	15,91
3.	12,91	9,09	10,12	17,21	16,3
4.	12,44	7,5	9,57	17,21	16,11
5.	13,39	9,09	10,63	17,95	15,32
Aritmetický průměr	13,10	8,45	10,21	17,65	15,87
Směrodatná odchylka	0,49	0,78	0,39	0,43	0,34

Tabulka 14: Určení průměrných hodnot BR v jednotlivých částech výzkumu 4. zkoumané osoby



Graf 14: Průměrné hodnoty BR v jednotlivých částech výzkumu 4. zkoumané osoby

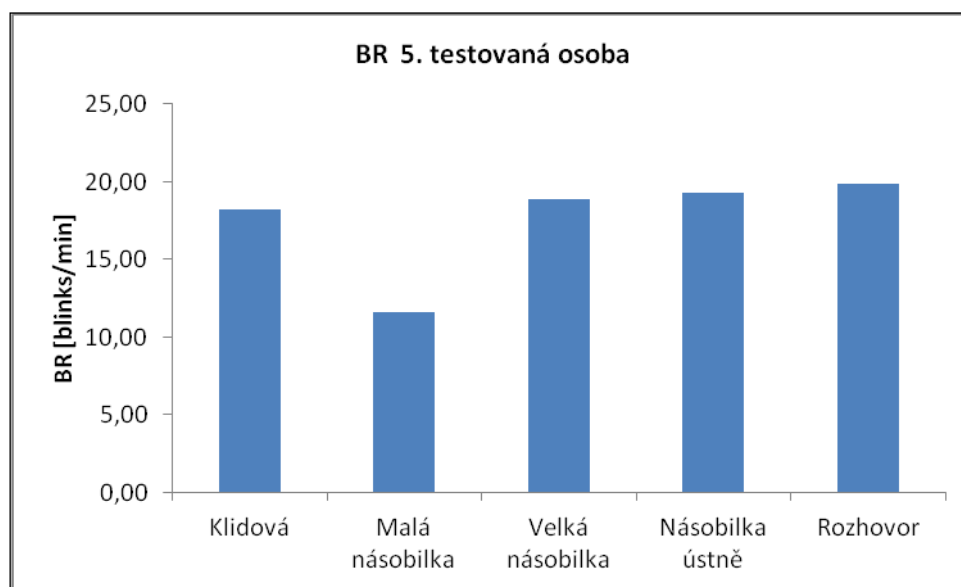
Z grafu 14 a tabulky 14 je patrné, že u zkoumané osoby č. 4 došlo ke snížení průměrné hodnoty BR v průběhu počítání příkladů z malé násobilky oproti průměrné hodnotě klidové hladiny BR. Porovnáme-li průměrné hodnoty BR ve 2., ve 3. a ve 4. části výzkumu, je patrné, že s rostoucí mírou obtížnosti zadání vzrostla průměrná hodnota BR. V poslední části výzkumu došlo ke snížení průměrné hodnoty BR oproti průměrné hodnotě BR ve 4. části výzkumu.

5.1.5 Pátá zkoumaná osoba

Výsledky zpracování průměrných hodnot BR 5. zkoumané osoby v jednotlivých částech výzkumu popisuje tabulka 15. Průměrné hodnoty BR v jednotlivých částech výzkumu 5. zkoumané osoby popisuje graf 15.

Zpracování	BR klidová [blinks/min]	BR malá násobilka [blinks/min]	BR velká násobilka [blinks/min]	BR násobilka ústně [blinks/min]	BR rozhovor [blinks/min]
1.	18,65	10,81	19,25	19,34	20,35
2.	18,13	10,81	18,24	18,88	19,68
3.	18,65	12,16	19,59	19,11	20,13
4.	17,61	12,16	18,58	19,58	19,46
5.	18,13	12,16	18,91	19,34	19,91
Aritmetický průměr	18,23	11,62	18,91	19,25	19,91
Směrodatná odchylka	0,39	0,66	0,48	0,24	0,32

Tabulka 15: Určení průměrných hodnot BR v jednotlivých částech výzkumu 5. zkoumané osoby



Graf 15: Průměrné hodnoty BR v jednotlivých částech výzkumu 5. zkoumané osoby

Z grafu 15 a tabulky 15 je patrné, že u zkoumané osoby č. 5 došlo ke snížení průměrné hodnoty BR v průběhu počítání příkladů z malé násobilky oproti průměrné hodnotě klidové

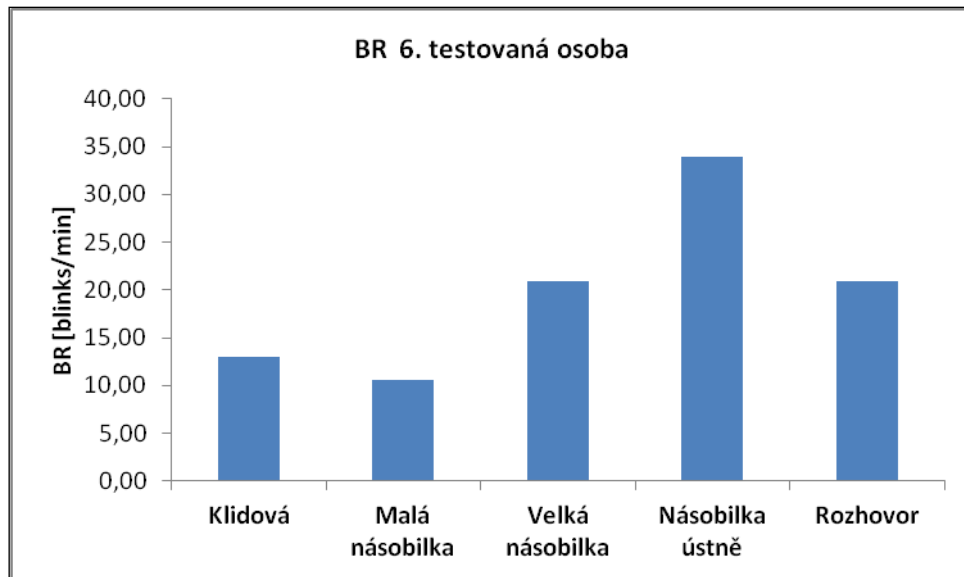
hladiny BR. Porovnáme-li průměrné hodnoty BR ve 2., ve 3. a ve 4. části výzkumu, je patrné, že s rostoucí mírou obtížnosti zadání vzrostla průměrná hodnota BR. Rozdíly v průměrných hodnotách BR ve 3. a ve 4. části výzkumu však nejsou statisticky nijak významné. V poslední části výzkumu došlo opět ke zvýšení průměrné hodnoty BR oproti průměrné hodnotě BR ve 4. části výzkumu. Tento rozdíl však není nijak statisticky významný.

5.1.6 Šestá zkoumaná osoba

Výsledky zpracování průměrných hodnot BR 6. zkoumané osoby v jednotlivých částech výzkumu popisuje tabulka 16. Průměrné hodnoty BR v jednotlivých částech výzkumu 6. zkoumané osoby popisuje graf 16.

Zpracování	BR klidová [blinks/min]	BR malá násobilka [blinks/min]	BR velká násobilka [blinks/min]	BR násobilka ústně [blinks/min]	BR rozhovor [blinks/min]
1.	13,95	11,11	21,22	34,27	20,35
2.	12,21	9,72	21,46	33,71	21,57
3.	12,79	9,72	20,97	34,84	20,45
4.	13,37	11,11	20,73	32,86	21,01
5.	12,79	11,11	20,48	33,99	21,2
Aritmetický průměr	13,02	10,55	20,97	33,93	20,92
Směrodatná odchylka	0,59	0,68	0,35	0,65	0,46

Tabulka 16: Určení průměrných hodnot BR v jednotlivých částech výzkumu 6. zkoumané osoby



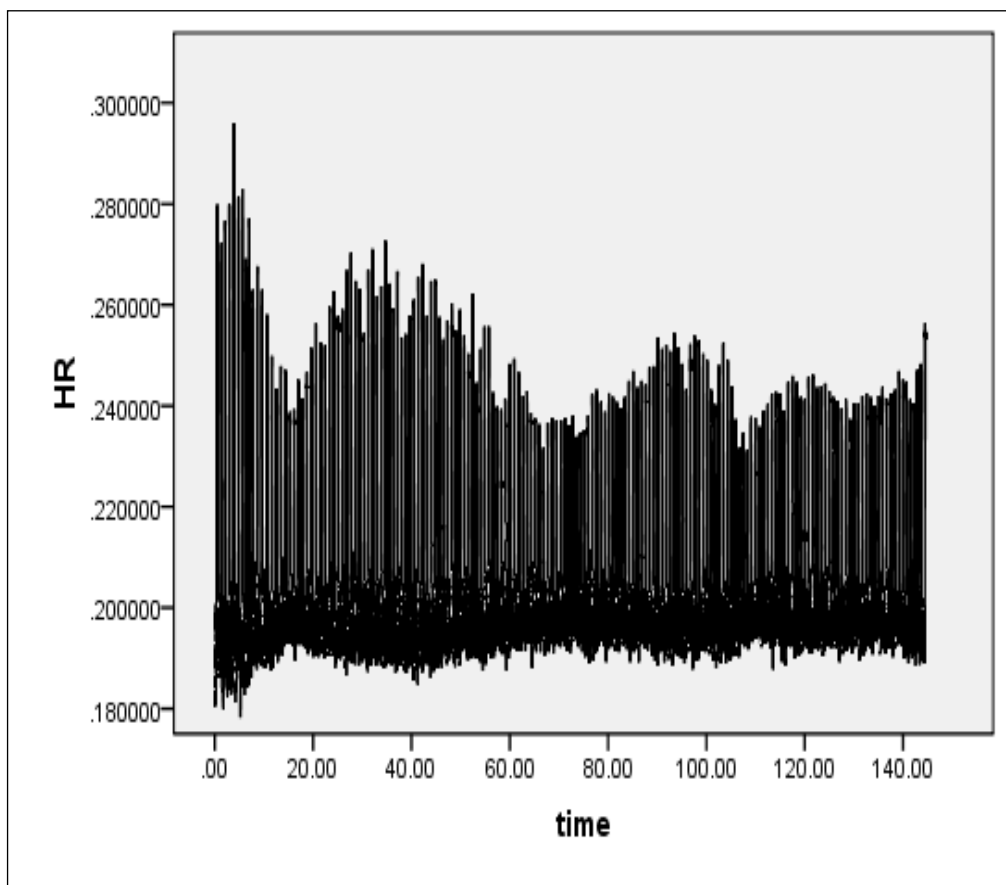
Graf 16: Průměrné hodnoty BR v jednotlivých částech výzkumu 5. zkoumané osoby

Z grafu 16 a tabulky 16 je patrné, že u zkoumané osoby č. 6 došlo ke snížení průměrné hodnoty BR v průběhu počítání příkladů z malé násobilky oproti průměrné hodnotě klidové hladiny BR. Porovnáme-li průměrné hodnoty BR ve 2., ve 3. a ve 4. části výzkumu, je patrné, že s rostoucí mírou obtížnosti zadání vzrostla průměrná hodnota BR. V poslední části výzkumu došlo ke snížení průměrné hodnoty BR oproti průměrné hodnotě BR ve 4. části výzkumu.

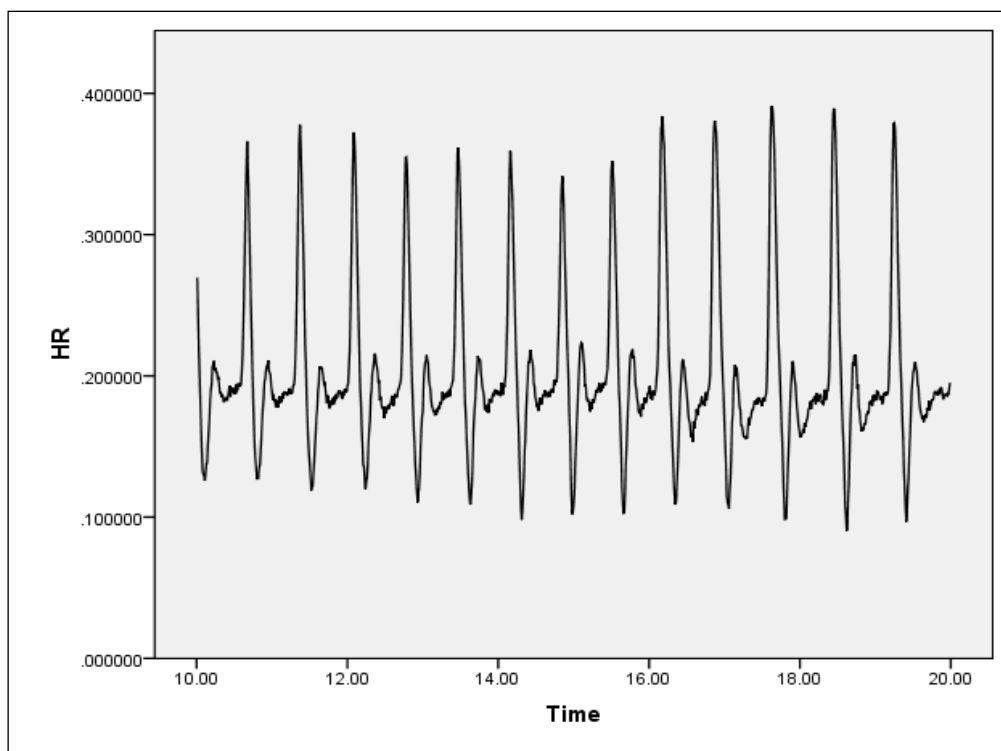
5.2 Zpracování frekvence srdečního rytmu

Srdeční frekvence byla snímána pomocí optického čidla, konkrétně snímače pulzu systému ISES. Jak již bylo popsáno v kapitole 4, srdeční frekvence byla měřena všem účastníkům v každé z dílčích částí výzkumu. Vzhledem k tomu, že HR byla snímána s vzorkovací frekvencí 100 Hz, získali jsme z každého měření velké množství dat. Pokud jsme tato data vynesli do grafu, obdrželi jsme pouze velmi nepřehledný, nicneřikající obrázek, ze kterého není vůbec jasné, co se s danou testovanou osobou v průběhu daných částí

výzkumu děje (graf 17). Stejně tak z dat nevyčteme nic, ani pokud se blíže podíváme například na průběh HR v rozmezí 10 –20 sekund (graf 18).



Graf 17: Ukázka hrubého zpracování průběhu frekvence srdečního rytmu



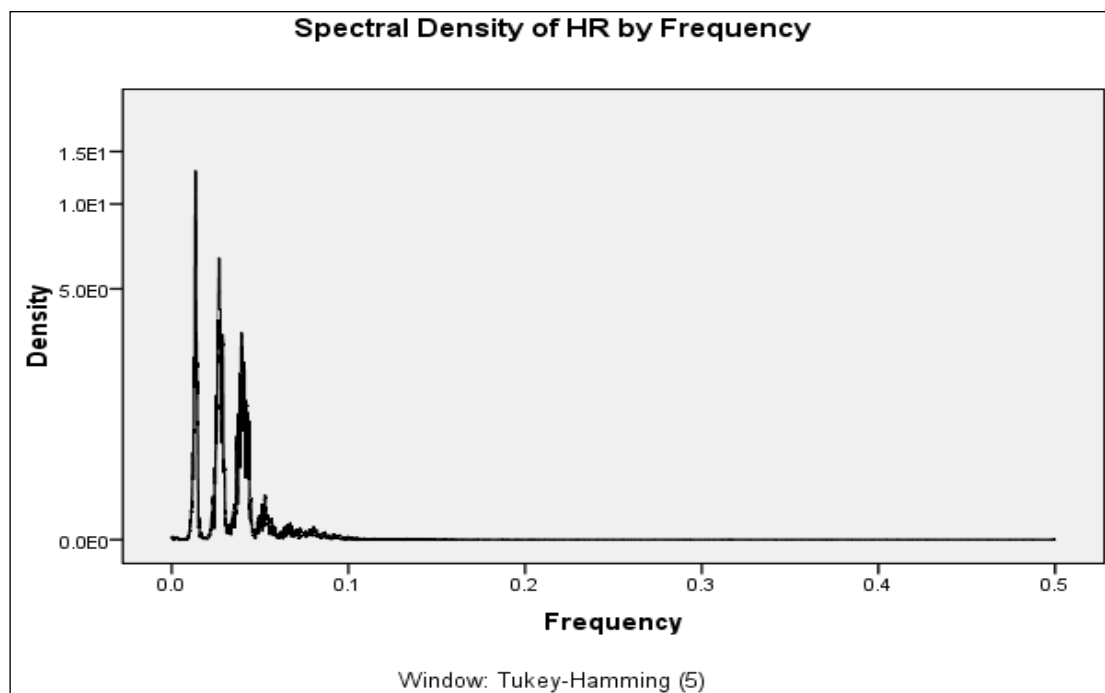
Graf 18: Ukázka hrubého zpracování průběhu frekvence srdečního rytmu detail (rozmezí 10 – 20 sekund)

Naměřená data jsme tedy zpracovali pomocí spektrální analýzy, konkrétně výkonovou spektrální hustotou HR (Power Spectral Density, PSD) v programu SPSS³. Tato statistická metoda nám umožnila rozdělit signál HR do jednotlivých frekvencí. U každé testované osoby jsme pak porovnávali PSD signálu HR v jednotlivých částech výzkumu.

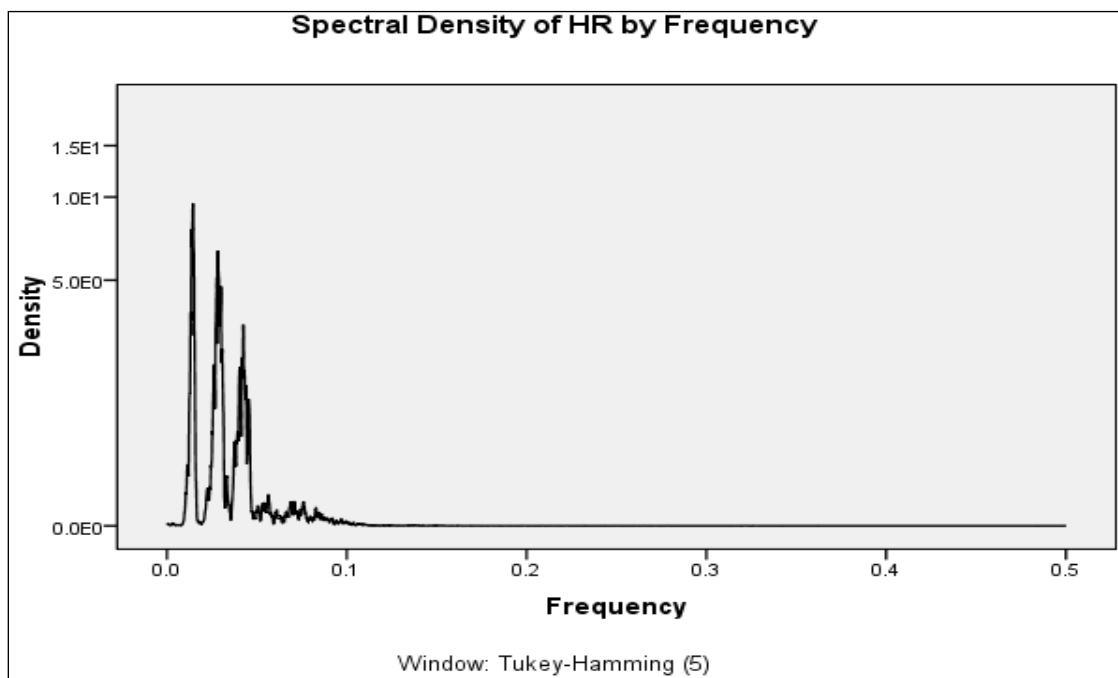
³ Statistical Package for the Social Sciences – statistický software

5.2.1 První zkoumaná osoba

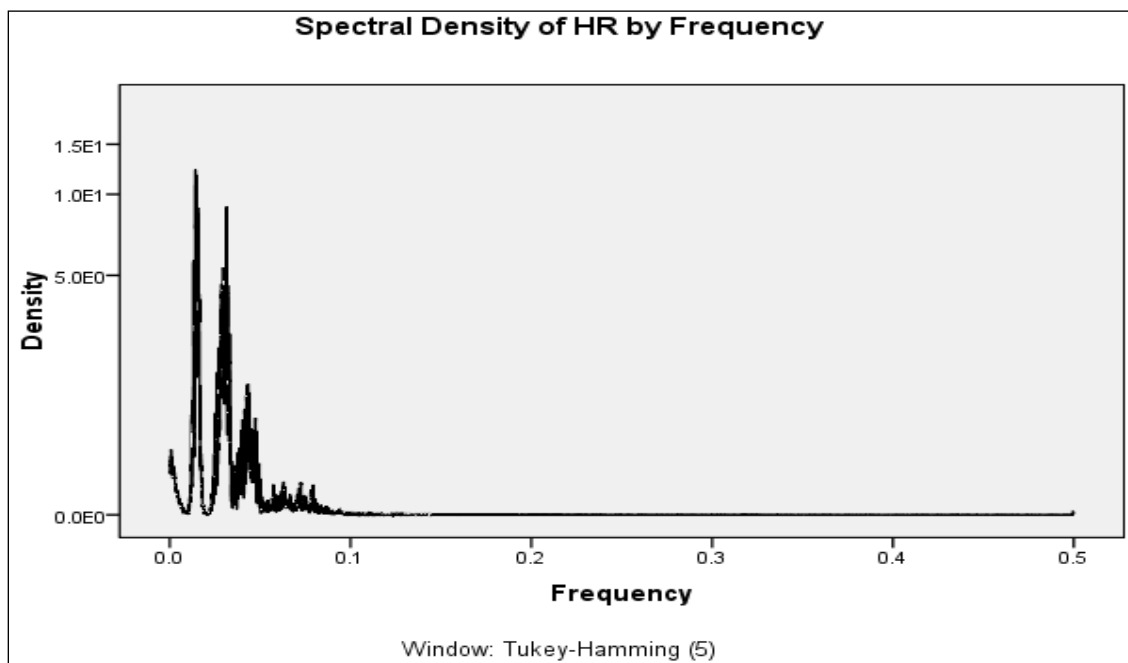
PSD jednotlivých signálů HR ve všech částech výzkumu 1. zkoumané osoby shrnují grafy 19, 20, 21, 22 a graf 23.



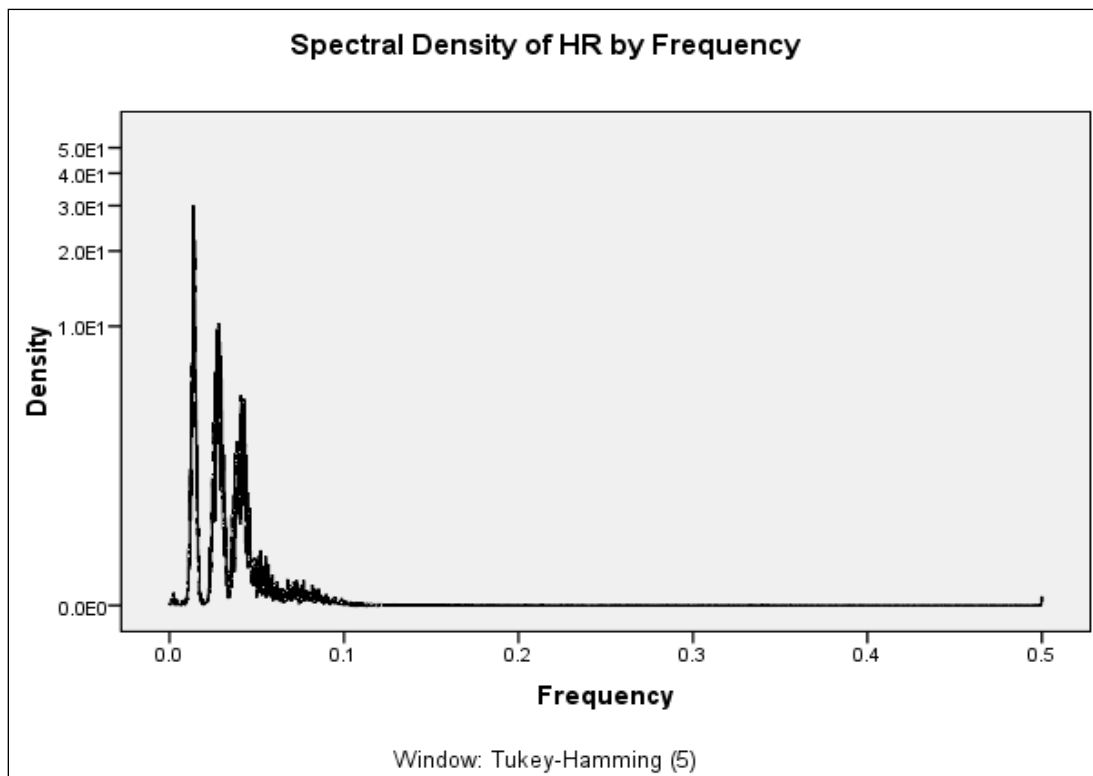
Graf 19: Spektrální analýza signálu HR 1. zkoumané osoby v 1. části výzkumu



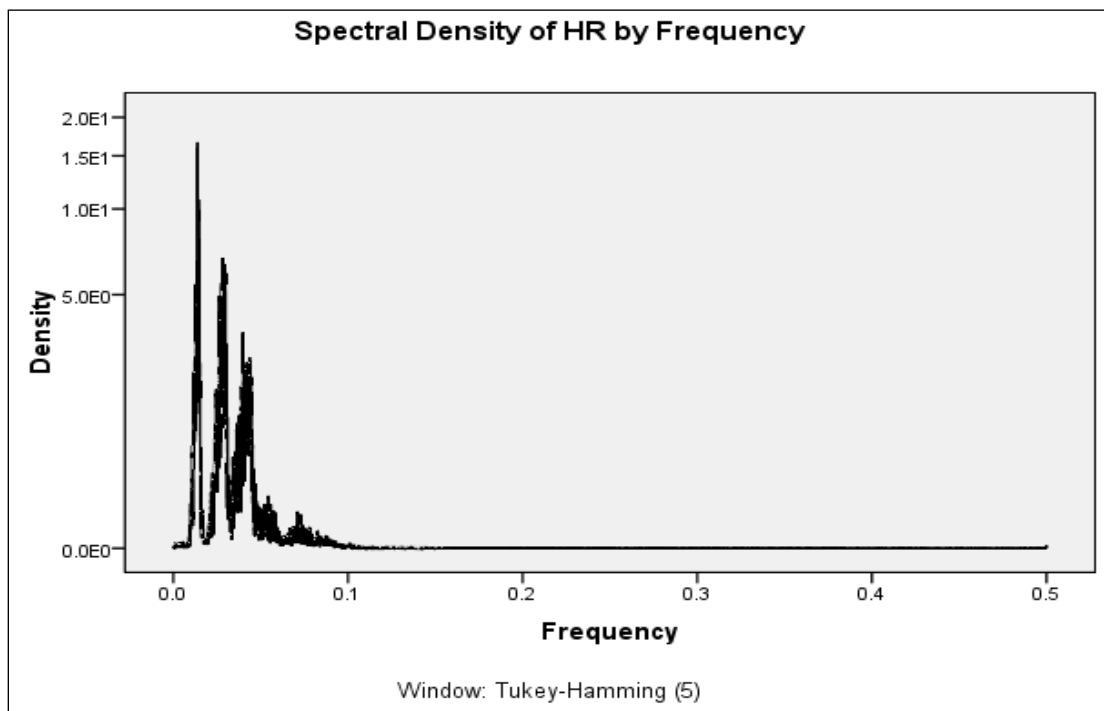
Graf 20: Spektrální analýza signálu HR 1. zkoumané osoby ve 2. části výzkumu



Graf 21: Spektrální analýza signálu HR 1. zkoumané osoby ve 3. části výzkumu



Graf 22: Spektrální analýza signálu HR 1. zkoumané osoby ve 4. části výzkumu

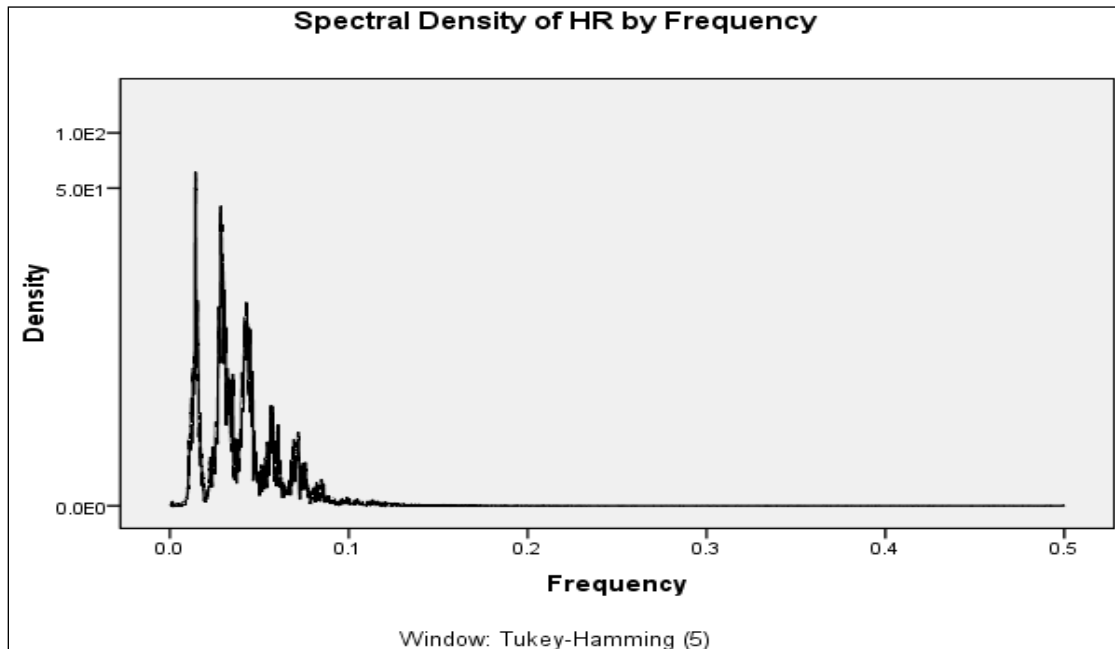


Graf 23: Spektrální analýza signálu HR 1. zkoumané osoby v 5. části výzkumu

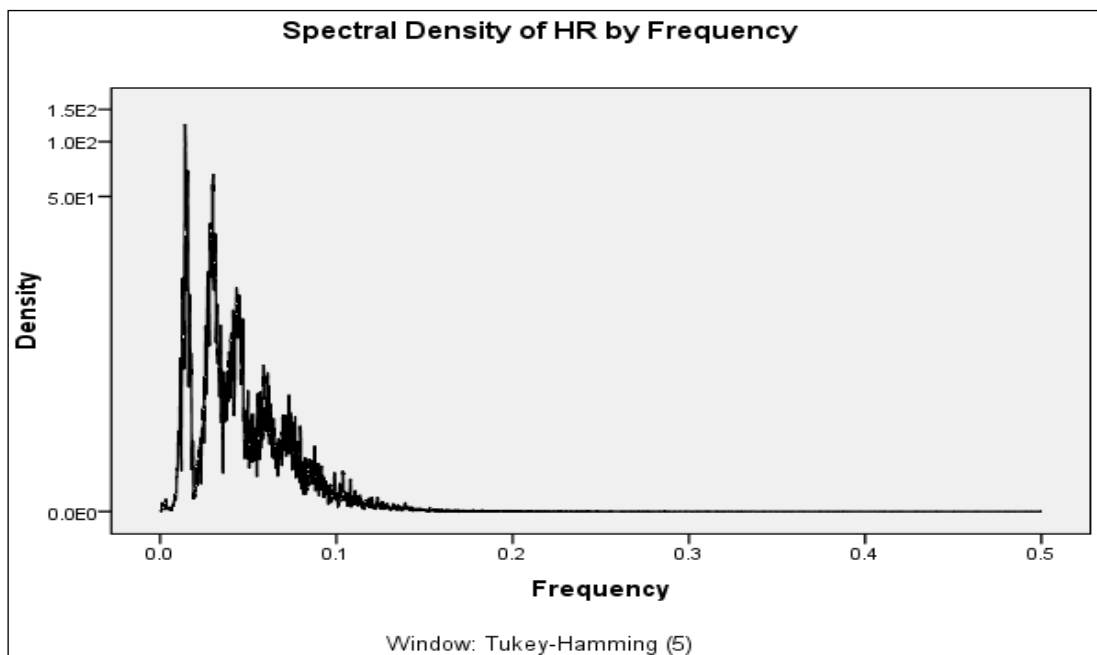
Výsledky u testované osoby č. 1 ukazují, že v průběhu malé násobilky došlo ke snížení variability vyšších frekvencí HR oproti variabilitě vyšších frekvencí v průběhu klidové hladiny HR. Naopak v průběhu řešení příkladů z velké násobilky a v průběhu řešení kombinovaných příkladů z malé a velké násobilky zadávaných ústně došlo ke zvýšení variability vyšších frekvencí HR oproti klidové hladině HR. Získané výsledky jsou v souladu s výsledky, které jsme obdrželi zpracováním frekvence mrkání oka v jednotlivých částech výzkumu u této testované osoby. Co se týče rozložení frekvencí HR v průběhu řízeného rozhovoru, opět došlo ke zvýšení variability vyšších frekvencí oproti variabilitě vyšších frekvencí v klidové hladině HR.

5.2.2 Druhá testovaná osoba

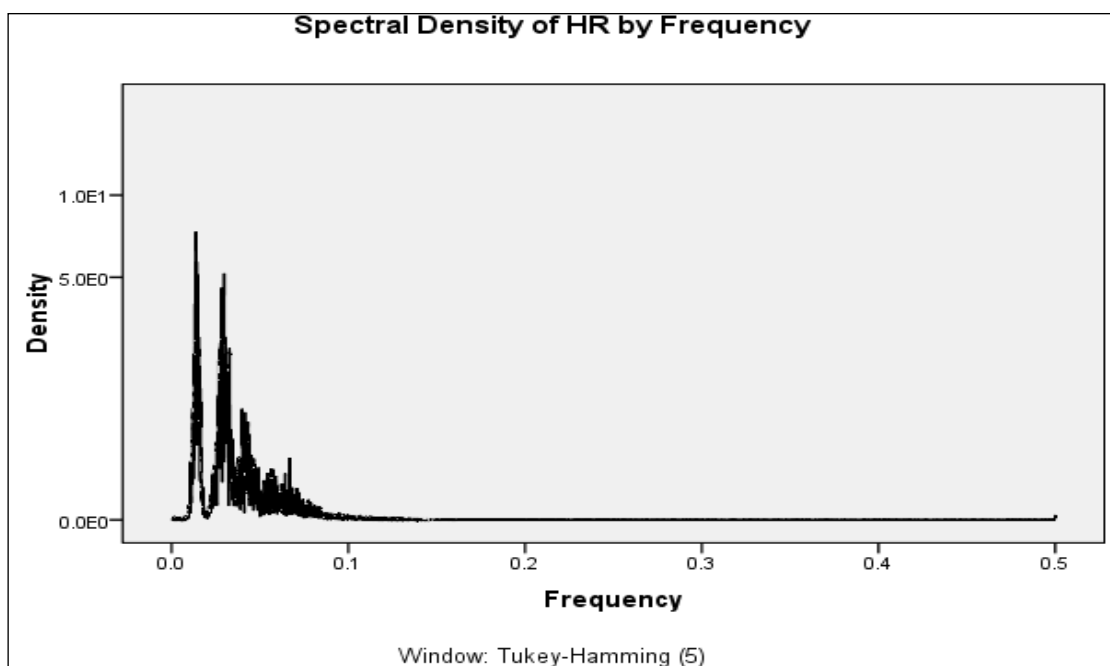
PSD jednotlivých signálů HR ve všech částech výzkumu 2. zkoumané osoby shrnují grafy 24, 25, 26, 27 a graf 28.



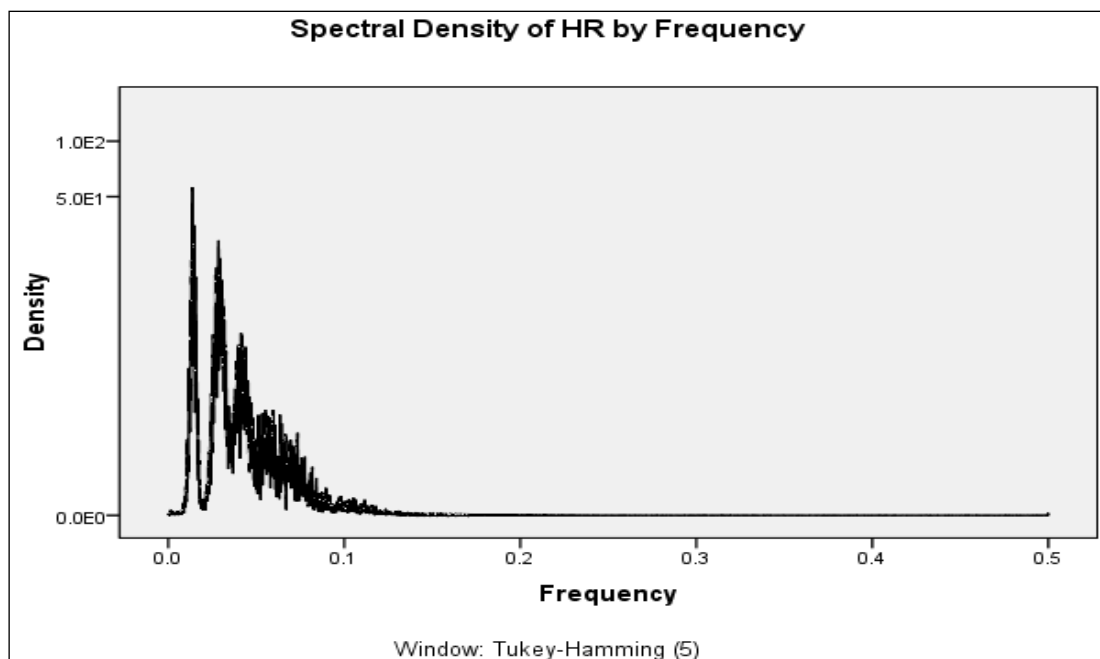
Graf 24: Spektrální analýza signálu HR 2. zkoumané osoby v 1. části výzkumu



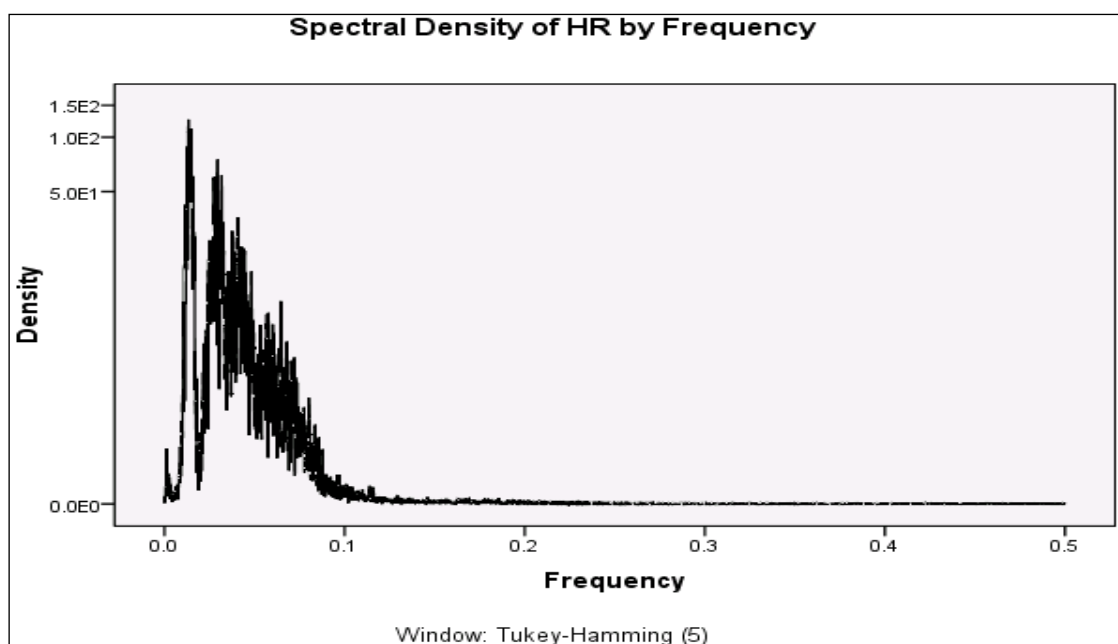
Graf 25: Spektrální analýza signálu HR 2. zkoumané osoby ve 2. části výzkumu



Graf 26: Spektrální analýza signálu HR 2. zkoumané osoby ve 3. části výzkumu



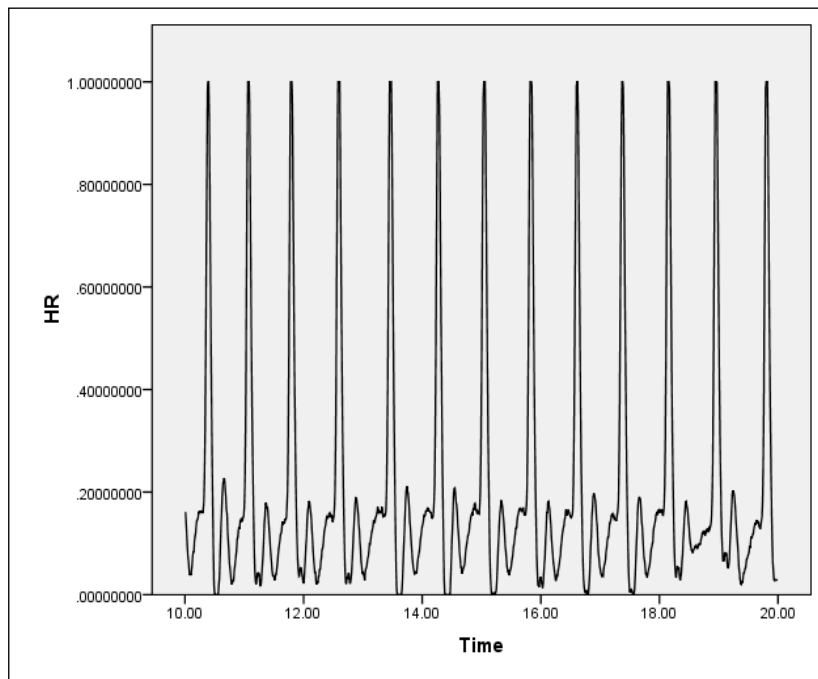
Graf 27: Spektrální analýza signálu HR 2. zkoumané osoby ve 4. části výzkumu



Graf 28: Spektrální analýza signálu HR 2. zkoumané osoby v 5. části výzkumu

Výsledky u testované osoby č. 3 ukazují, že v průběhu malé násobilky došlo ke zvýšení variability vyšších frekvencí HR oproti variabilitě vyšších frekvencí v průběhu klidové hladiny HR. Stejně tak, v průběhu řešení příkladů z velké násobilky a v průběhu

řešení kombinovaných příkladů z malé a velké násobilky zadávaných ústně, došlo ke zvýšení variability vyšších frekvencí HR oproti klidové hladině HR. Získané výsledky jsou (stejně jako u testované osoby č. 1) v souladu s výsledky, které jsme obdrželi zpracováním frekvence mrkání oka v jednotlivých částech výzkumu. Co se týče rozložení frekvencí HR v průběhu řízeného rozhovoru, opět došlo ke zvýšení variability frekvencí HR oproti variabilitě frekvencí v klidové hladině HR. Získané výsledky z Grafu 28, popisující rozložení frekvencí HR během řízeného rozhovoru testované osoby č. 3, však nelze považovat za vhodné k dalšímu zpracování. Při hlubším pohledu do hrubých dat a následnému přiblížení průběhu HR v rozmezí 10 – 20 sekund bylo zjištěno, že se v získaných hodnotách HR často vyskytovaly hodnoty nula (graf 29), což neodpovídá teoretickým předpokladům průběhu HR.

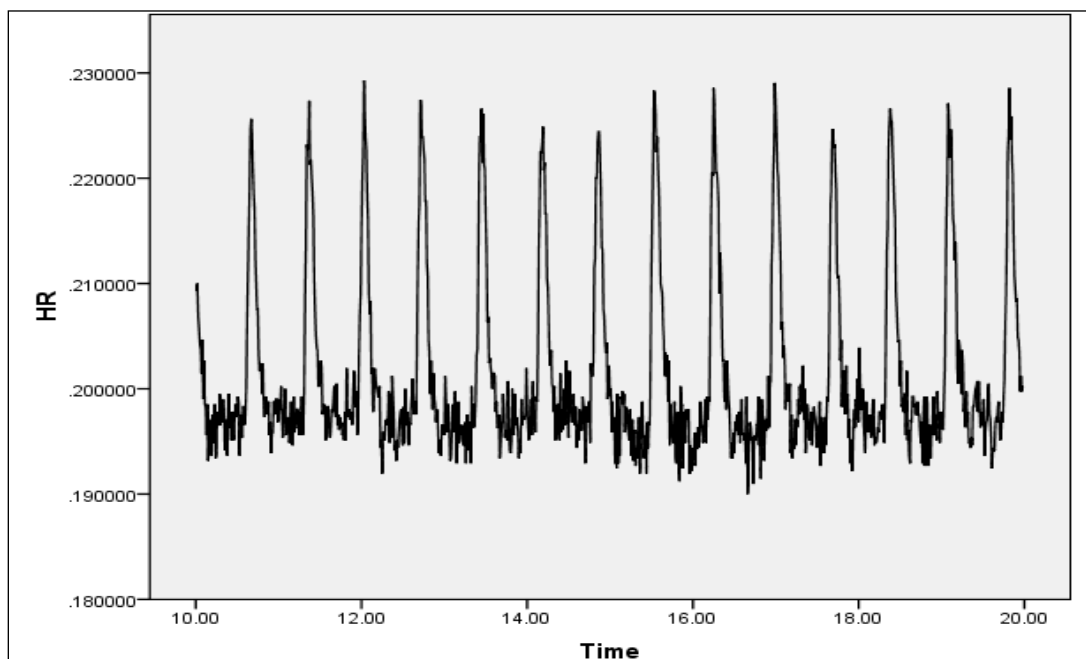


Graf 29: Detail průběhu HR u zkoumané osoby č. 2 v průběhu 5. části výzkumu

5.2.3 Třetí testovaná osoba

U testované osoby č. 3 po hlubším nahlédnutí do dat, bylo zjištěno, že získaná data neodpovídají teoretickým předpokladům průběhu HR. V signálu se vyskytuje šum (graf 30), což může být způsobené jednak tím, že optické čidlo bylo rušeno jinými signály z okolí, nebo tím, že testovaná osoba byla k optickému čidlu špatně připojena, případně během měření

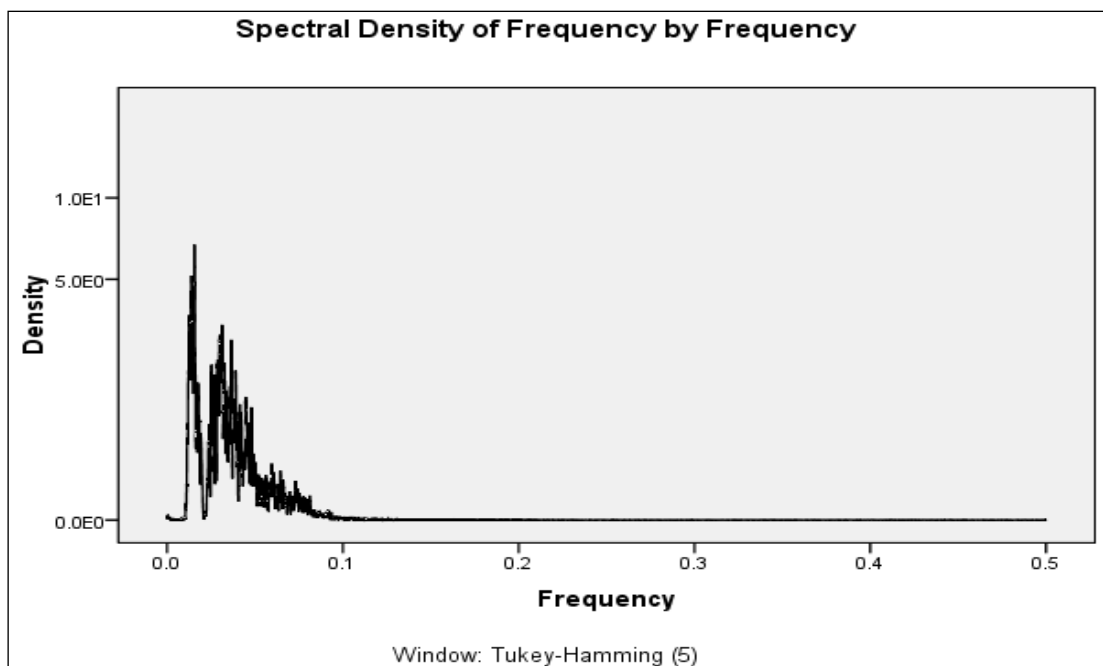
příliš pohybovala rukou, na které bylo optické čidlo umístěno. Data u této osoby nebyla zpracována pomocí PSD.



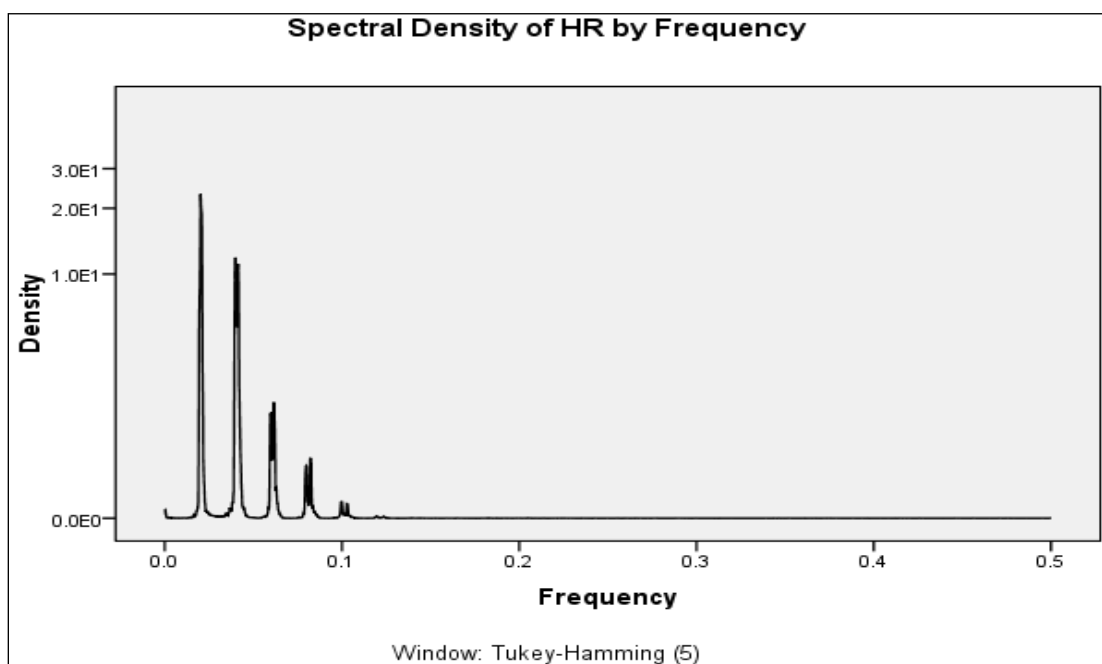
Graf 30: Detail průběhu signálu HR u 3. zkoumané osoby

5.2.4 Čtvrtá testovaná osoba

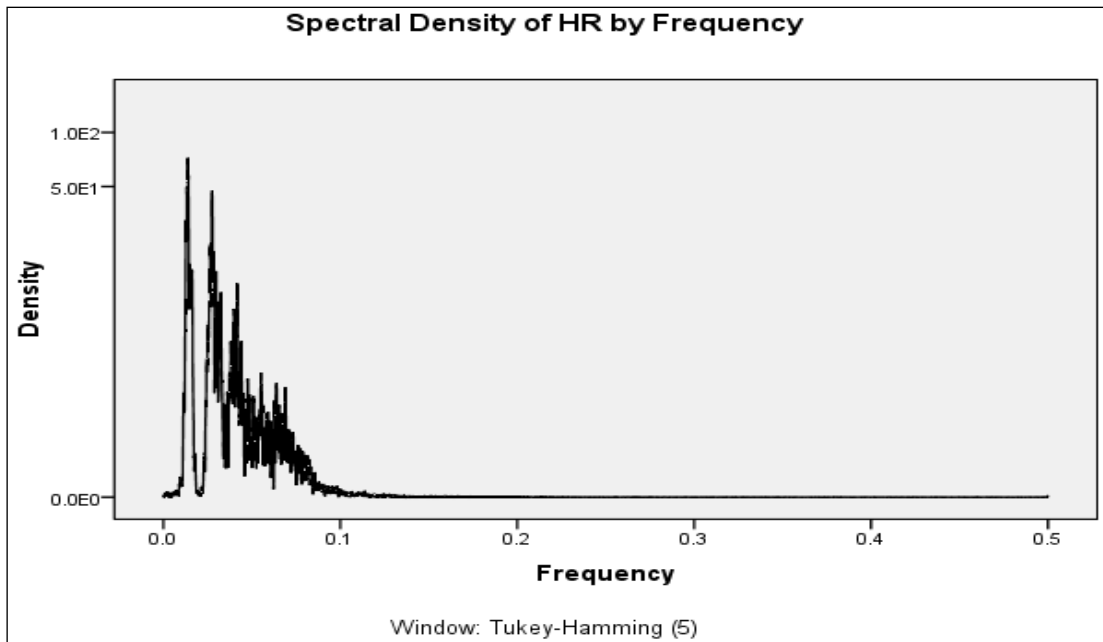
PSD jednotlivých signálů HR ve všech částech výzkumu 4. zkoumané osoby shrnují grafy 31, 32, 33, 34 a graf 35.



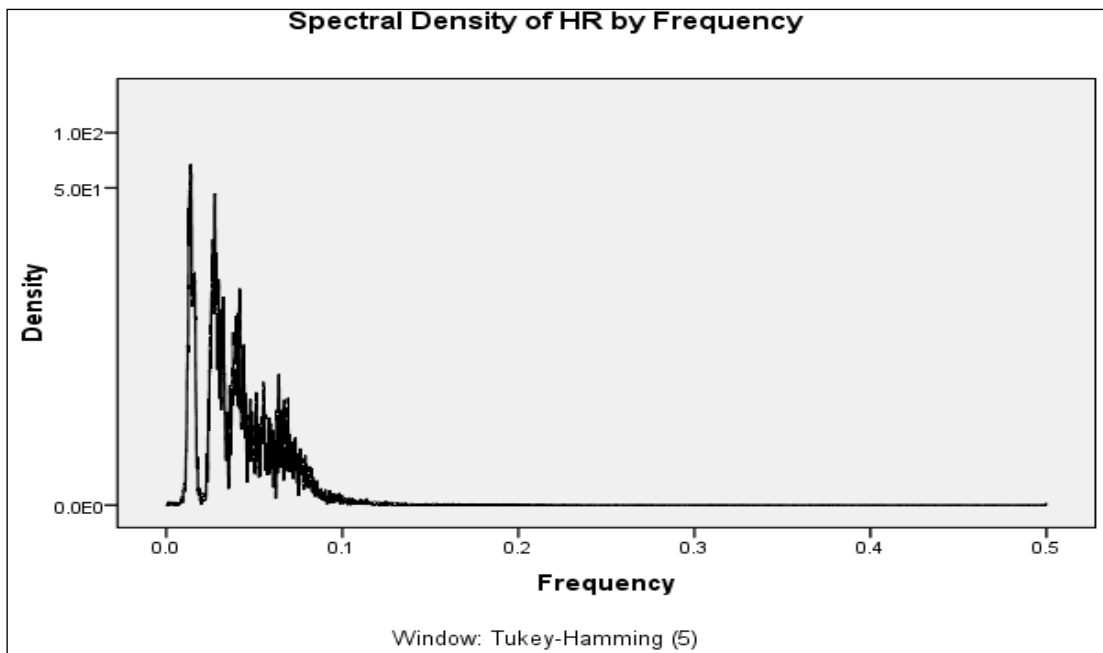
Graf 31: Spektrální analýza signálu HR 4. zkoumané osoby v 1. části výzkumu



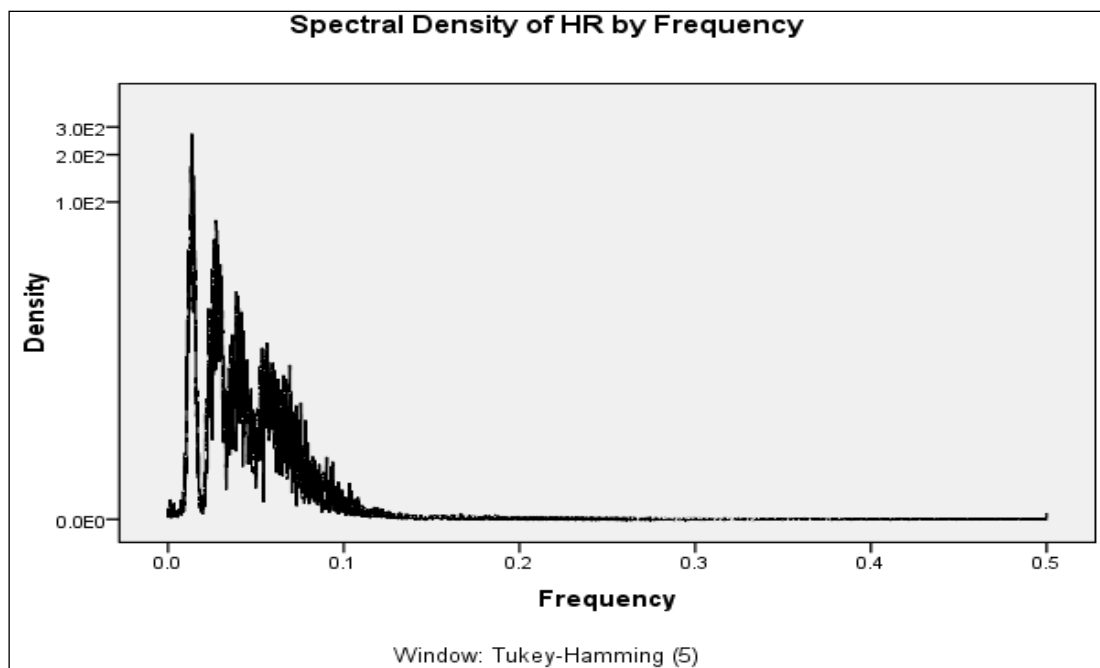
Graf 32: Spektrální analýza signálu HR 4. zkoumané osoby ve 2. části výzkumu



Graf 33: Spektrální analýza signálu HR 4. zkoumané osoby ve 3. části výzkumu

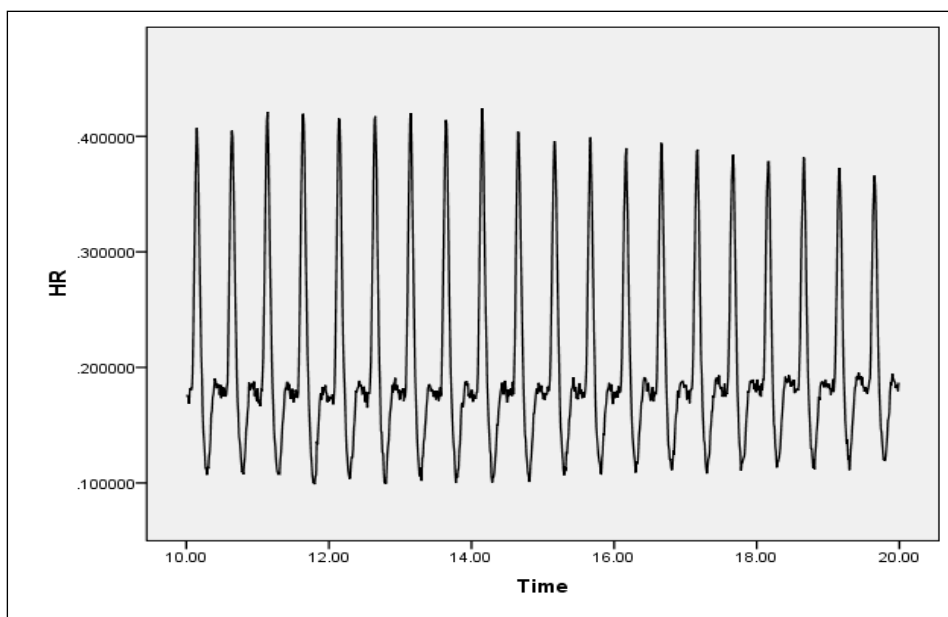


Graf 34: Spektrální analýza signálu HR 4. zkoumané osoby ve 4. části výzkumu



Graf 35: Spektrální analýza signálu HR 4. zkoumané osoby v 5. části výzkumu

Výsledky u testované osoby č. 4 ukazují, že v průběhu malé násobilky došlo k podezřele rovnoměrnému rozložení hustoty frekvencí HR. Při hlubším pohledu do hrubých dat získaných v této části výzkumu jsme zjistili, že průběh HR neodpovídá teoretickým předpokladům (graf 36). Výsledky získané zpracováním tohoto souboru dat nelze tedy brát za vhodné k dalšímu zpracování. V průběhu řešení příkladů z velké násobilky a v průběhu řešení kombinovaných příkladů z malé a velké násobilky zadávaných ústně, došlo ke zvýšení variability vyšších frekvencí HR oproti klidové hladině HR. Tyto získané výsledky jsou v souladu s výsledky získanými z měření BR během daných částí výzkumu. Při zpracování dat z části řízeného rozhovoru jsme narazili na stejný problém jako u zkoumané osoby č. 3 (graf 30). Tyto výsledky tedy nepovažujeme za vhodné k dalšímu zpracování.



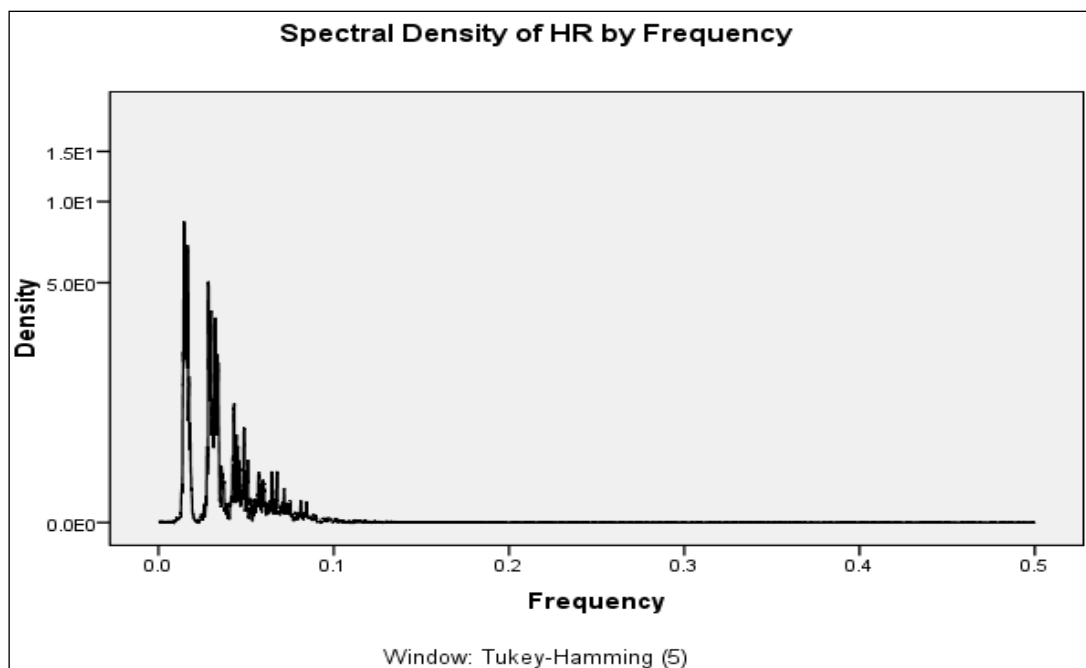
Graf 36: Detail průběhu signálu HR 4. zkoumané osoby v průběhu 2. části výzkumu

5.2.5 Pátá testovaná osoba

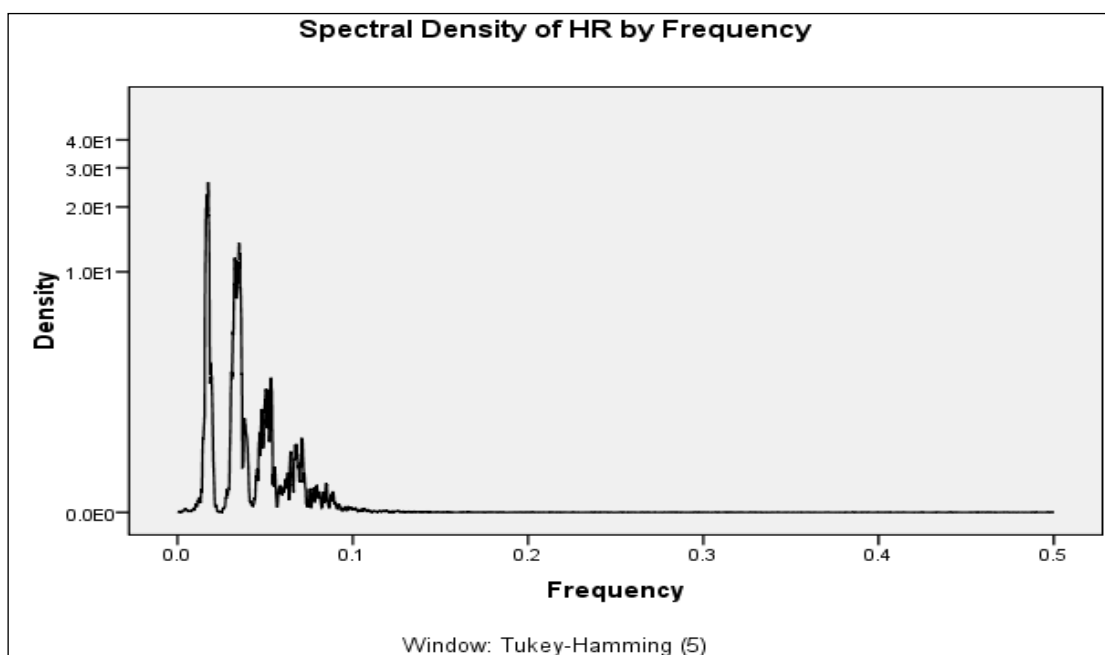
U testované osoby č. 5 došlo při zpracování dat HR, ke stejným problémům jako při zpracování dat HR u testované osoby č. 2. V případě této zkoumané osoby nebyla tedy prováděna PSD naměřených dat.

5.2.6 Šestá testovaná osoba

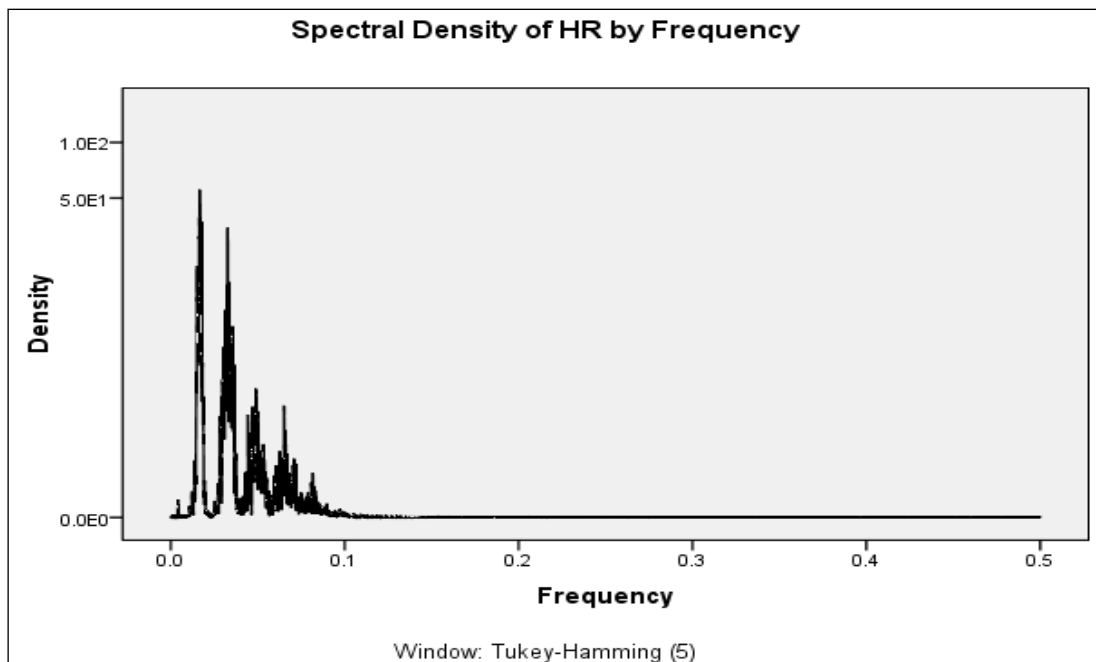
PSD jednotlivých signálů HR ve všech částech výzkumu 6. zkoumané osoby shrnují grafy 37, 38, 39, 40 a graf 41.



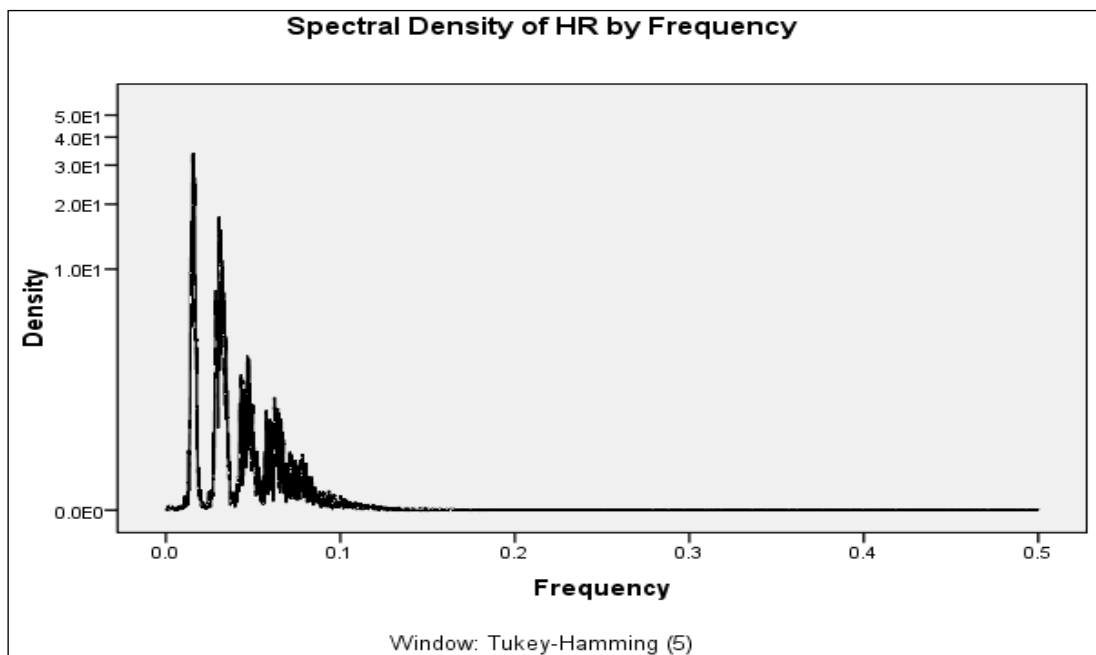
Graf 37: Spektrální analýza signálu HR 6. zkoumané osoby v 1. části výzkumu



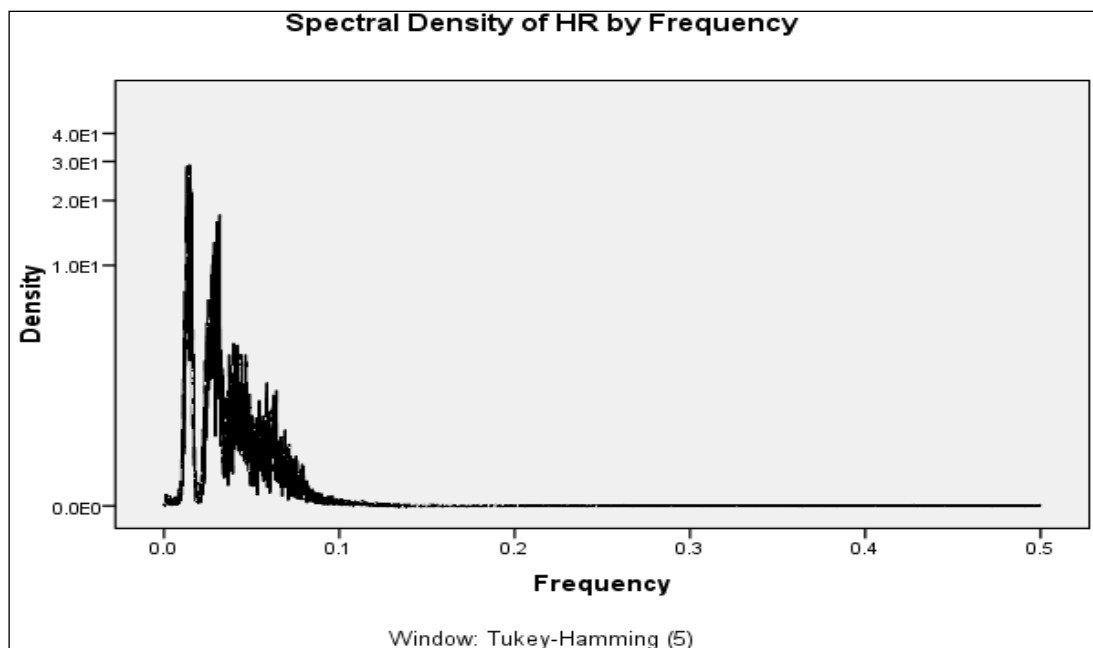
Graf 38: Spektrální analýza signálu HR 6. zkoumané osoby ve 2. části výzkumu



Graf 39: Spektrální analýza signálu HR 6. zkoumané osoby ve 3. části výzkumu



Graf 40: Spektrální analýza signálu HR 6. zkoumané osoby ve 4. části výzkumu



Graf 41: Spektrální analýza signálu HR 6. zkoumané osoby v 5. části výzkumu

Výsledky u testované osoby č. 6 ukazují, že v průběhu malé násobilky došlo ke snížení variability vyšších frekvencí HR oproti hustotě variabilitě frekvencí v průběhu klidové hladiny HR. Naopak v průběhu řešení příkladů z velké násobilky a v průběhu řešení kombinovaných příkladů z malé a velké násobilky zadávaných ústně, došlo ke zvýšení variability vyšších frekvencí HR oproti klidové hladině HR. Získané výsledky jsou v souladu s výsledky, které jsme obdrželi zpracováním frekvence mrkání oka v jednotlivých částech výzkumu u této testované osoby. Co se týče rozložení frekvencí HR v průběhu řízeného rozhovoru, opět došlo ke zvýšení variability vyšších frekvencí oproti variabilitě vyšších frekvencí v klidové hladině HR.

6 Výsledky a diskuze

6.1 Výsledky vědeckých otázek

Vědecké otázky, které byly položeny v našem výzkumu, vzhledem k malému testovanému vzorku (6 zkoumaných osob) nemohou sloužit k vynesení obecných závěrů. Jejich vyhodnocení slouží tedy pouze k nalezení dalších parametrů, na které bychom se později mohli zaměřit v případné budoucí vědecké práci zaměřené na podobnou zkoumanou oblast. Dále by nám odpovědi na tyto otázky mohly posloužit k vytvoření případného budoucího výzkumného plánu.

6.1.1 Vědecká otázka 1

Jaké strategie řešení se budou vyskytovat v řešení příkladů z velké násobilky?

V rámci této vědecké otázky hodnotíme postup řešení při násobení dvou dvouciferných čísel. Jaký postup řešení se u jednotlivých zkoumaných osob vyskytoval při řešení příkladů z velké násobilky, jsme zjišťovali pomocí řízeného rozhovoru, kde jsme se zkoumaných osob na jejich používaný postup přímo zeptali.

Ze šesti zkoumaných osob čtyři uvedly, že pokud násobí dvě dvouciferná čísla, tak buď jedno z těchto čísel násobí číslem deset a pak přičítají zbývající násobek (např. $14 \times 12 = 14 \times 10 + 2 \times 14$), nebo jedno z čísel násobí číslem 20 a pak odečítají zbývající násobek (např. $19 \times 16 = 20 \times 16 - 16$). Danou metodu vybírají podle toho, co je pro ně jednodušší, a vždy volí ze dvou daných čísel to, které bude násobeno deseti, případně dvaceti, opět podle toho, co je pro ně výhodnější.

Jedna ze šesti zkoumaných osob uvedla, že používá pouze metodu násobení deseti a přičítání zbývajících násobků (např. $14 \times 12 = 14 \times 10 + 2 \times 14$ a stejně tak $19 \times 16 = 19 \times 10 + 6 \times 19$), dále tato osoba uvedla, že dokonce ani nevybírá mezi danými dvěma čísly to, které bude násobit deseti, ale vždy násobí deseti to, které je v příkladu uvedeno jako první.

Dále jedna ze šesti zkoumaných osob uvedla více než dva obvyklé způsoby násobení dvou dvouciferných čísel. Vedle násobení jednoho z čísel deseti (případně dvaceti) a

následného přičítání či odečítání zbývajících násobků, uvedla také způsob násobení jednoho z čísel číslem patnáct a poté přičítání či odečítání zbývajícího násobku. Tedy např. $14 \times 16 = 14 \times 15 + 14$.

6.1.2 Vědecká otázka 2

Jaké strategie rozhodování o správnosti výsledku se budou vyskytovat při řešení příkladů z velké násobilky?

U této vědecké otázky hodnotíme, jak zkoumané osoby postupovaly při označení nabízeného výsledku za správný či nesprávný. Předně nás zajímalo, zda budou zkoumané osoby vždy celý příklad počítat, či budou v nabízeném výsledku kontrolovat shodu poslední číslice výsledku s poslední číslicí v součinu posledních číslic daných činitelů, či budou správnost výsledku pouze tipovat.

Čtyři ze šesti zkoumaných osob uvedly, že vždy jako první kontrolovaly shodu poslední číslice ve výsledku s poslední číslicí v součinu dvou posledních číslic daných činitelů. Pokud tato shoda byla negativní, rovnou označily daný výsledek za nesprávný, pokud byla shoda pozitivní, celý příklad spočítaly a poté výsledek označily za správný či za nesprávný.

Dvě ze zkoumaných osob uvedly, že vždy celý příklad spočítaly. Kontrola poslední číslice ve výsledku je dle jejich slov vůbec nenapadla. Jedna z těchto dvou osob také uvedla, že pokud byl pro ni příklad moc těžký, tak správnost výsledku pouze tipovala.

6.1.3 Vědecká otázka 3

Jak se celkový čas potřebný k řešení 20 příkladů generovaných počítačem liší v závislosti:

- a. na obtížnosti příkladů?
- b. na pohlaví zkoumaných osob?
- c. na typu dosaženého vzdělání zkoumaných osob?
- d. na typu zaměstnání zkoumaných osob?

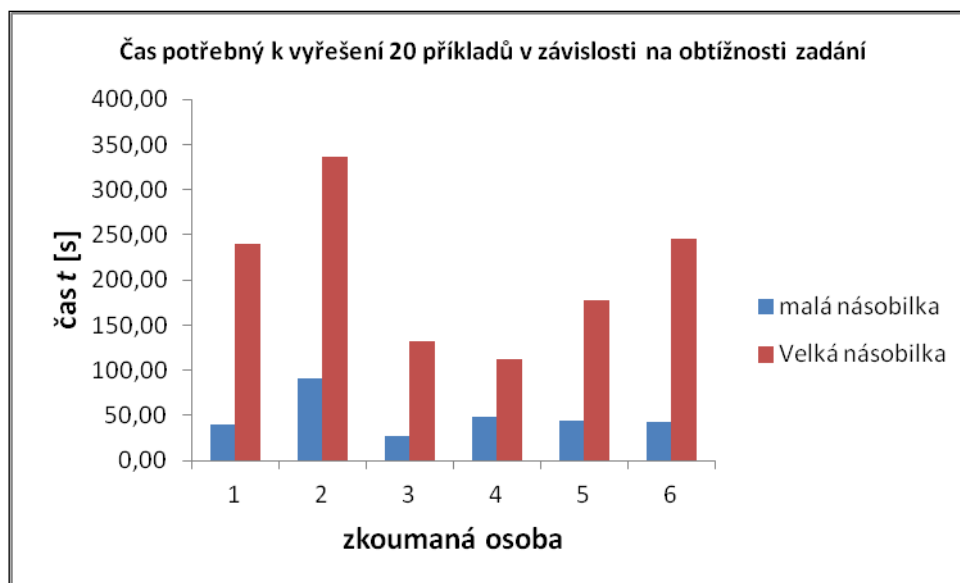
V rámci této vědecké otázky hodnotíme závislost časového intervalu potřebného k vyřešení dvaceti příkladů na jednotlivých faktorech, které by podle nás mohli ovlivnit rychlost řešení. Časový interval potřebný k vyřešení dvaceti příkladů z malé a dvaceti příkladů z velké násobilky generované počítačem jsme přímo odečítali z monitoru počítače. Výsledky popisuje tabulka 17.

Zkoumaná osoba	Pohlaví	Obor dosaženého vzdělání	Zaměstnání	Čas t_1 - malá násobilka [s]	Chybovost/ malá násobilka	Čas t_2 - velká násobilka [s]	Chybovost/ velká násobilka
1	Muž	Fyzika	PhD. student / Manažer	39,30	0	240,30	0
2	Muž	Mezinárodní teritoriální studia	Student	91,20	0	336,20	0
3	Muž	Mezinárodní teritoriální studia	Student/ Číšník	27,40	0	132,60	0
4	Žena	Přírodovědná geografie	Koordinátorka vzdělávacích projektů	48,10	0	112,60	4
5	Žena	Sociologie	Koordinátorka vzdělávacích projektů	44,40	0	177,60	5
6	Žena	Matematika – Fyzika	PhD. student	43,20	0	246,30	2

Tabulka 17: Čas potřebný k vyřešení 20 příkladů generovaných počítačem u jednotlivých zkoumaných osob

a) Jak se celkový čas potřebný k řešení 20 příkladů generovaných počítačem liší v závislosti na obtížnosti příkladů?

U této vědecké otázky hodnotíme rozdíl doby strávené počítáním 20 příkladů z malé násobilky, kdy daná testovaná osoba vesměs pracuje pouze s vybavováním si správných výsledků z paměti, a doby strávené počítáním 20 příkladů z velké násobilky, kdy testovaná osoba je už nucena zvolit vhodnou strategii řešení a provádět jednoduché matematické operace. Výsledky popisuje graf 42 a tabulka 18.



Graf 42: Čas potřebný k vyřešení 20 příkladů v závislosti na obtížnosti zadání

Zkoumaná osoba	Pohlaví	Čas t_1 - malá násobilka [s]	Čas t_2 - velká násobilka [s]	Čas $t_1 - t_2$ [s]
1	Muž	39,30	240,30	201,00
2	Muž	91,20	336,20	245,00
3	Muž	27,40	132,60	105,20
4	Žena	48,10	112,60	64,50
5	Žena	44,40	177,60	133,20
6	Žena	43,20	246,30	203,10

Tabulka 18: Rozdíl v časovém intervalu potřebném k vyřešení 20 příkladů z malé a 20 příkladů z velké násobilky.

Z tabulky 18 a z grafu 42 je patrné, že u všech zkoumaných osob je rozdíl mezi časem stráveným počítáním stejného množství příkladů z malé a velké násobilky víc než minutový. U tří testovaných osob dokonce více než třiminutový. Největší rozdíl byl zjištěn u osoby č. 2 jedná se osobu, která v řízeném rozhovoru uvedla, že nepoužívala žádné kritérium pro

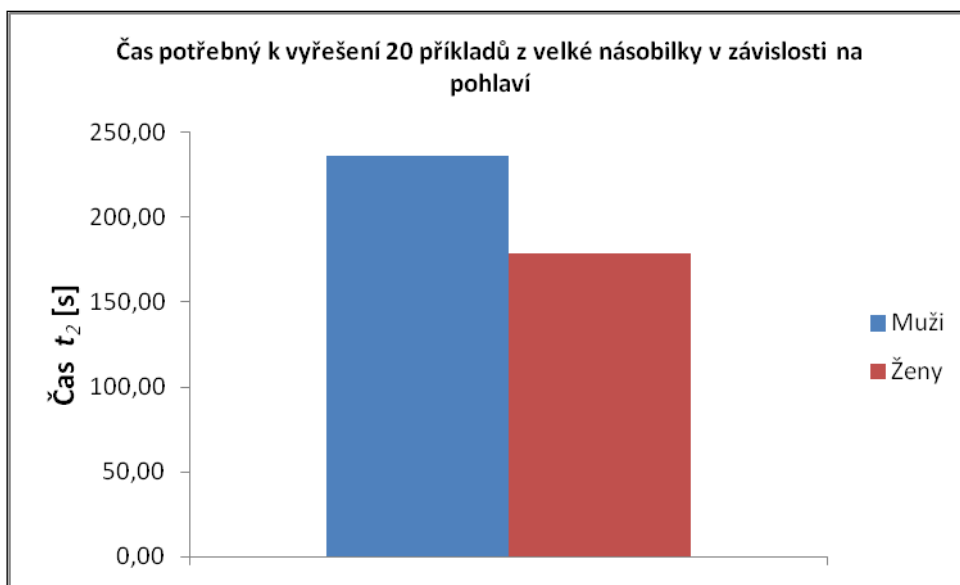
rozhodování o správnosti výsledku u příkladů z velké násobilky, a zároveň se jedná o osobu, která nevedla, že by správnost výsledku tipovala. Daná osoba tedy vždy celý příklad počítala.

b) Jak se celkový čas potřebný k řešení 20 příkladů generovaných počítačem liší v závislosti na pohlaví zkoumaných osob?

U této vědecké otázky jsme hodnotili, zda se budou vyskytovat genderové rozdíly v časovém intervalu potřebném k vyřešení 20 příkladů z velké násobilky. Určili jsme tedy aritmetický průměr z časů potřebných k řešení z mužské části testovaného vzorku a aritmetický průměr z časů potřebných k řešení z ženské části testovaného vzorku. Výsledky shrnuje graf 43 a tabulka 19.

Čas t_2 - velká násobilka [s] Muži	Čas t_2 - velká násobilka [s] Ženy
240,30	112,60
336,20	177,60
132,60	246,30
Aritmetický průměr 236,37	Aritmetický průměr 178,83
Směrodatná odchylka 83,17	Směrodatná odchylka 54,59

Tabulka 19: Rozdíl v časovém intervalu potřebném k vyřešení 20 příkladů z velké násobilky v závislosti na pohlaví.



Graf 43: Čas potřebný k vyřešení 20 příkladů z velké násobilky v závislosti na pohlaví.

Z grafu 43 a tabulky 19 je patrné, že průměrný čas potřebný k vyřešení 20 příkladů z velké násobilky je nižší u ženské části testovaného vzorku. Vzhledem k směrodatné odchylce obou aritmetických průměrů tento rozdíl není nijak statisticky významný. Je třeba také uvést, že mezi ženami byla testovaná osoba, která v řízeném rozhovoru uvedla, že u některých příkladů správnost výsledku tipovala, což značně mohlo snížit hodnotu celkového času potřebného k řešení. Dále je potřeba zdůraznit, že mužská část testovaného vzorku v příkladech nechybovala ani jednou (tabulka 17).

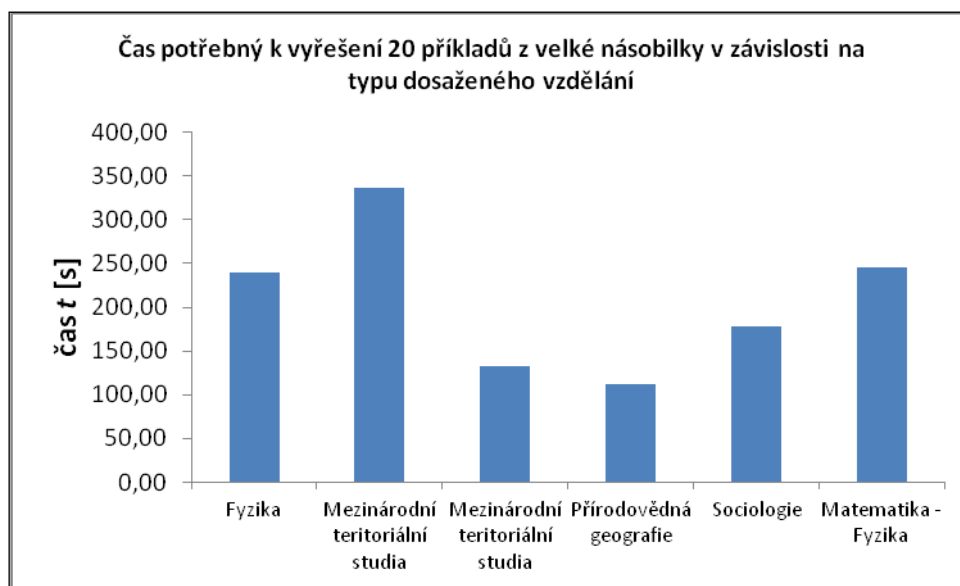
c) Jak se celkový čas potřebný k řešení 20 příkladů generovaných počítačem liší v závislosti na typu dosaženého vzdělání zkoumaných osob?

U této vědecké otázky jsme hodnotili, zda typ dosaženého vzdělání může být jedním z faktorů ovlivňujících rychlost řešení 20 příkladů z velké násobilky. Výsledky zpracování popisuje tabulka 20 a graf 44.

Zkoumaná osoba	Pohlaví	Obor dosaženého vzdělání	Čas t_2 – velká násobilka [s]	chybovost
----------------	---------	--------------------------	---------------------------------	-----------

1	Muž	Fyzika	240,30	0
2	Muž	Mezinárodní teritoriální studia	336,20	0
3	Muž	Mezinárodní teritoriální studia	132,60	0
4	Žena	Přírodovědná geografie	112,60	4
5	Žena	Sociologie	177,60	5
6	Žena	Matematika – Fyzika	246,30	2

Tabulka 20: Čas potřebný k vyřešení 20 příkladů z velké násobilky v závislosti na typu dosaženého vzdělání.



Graf 44: Čas potřebný k vyřešení 20 příkladů z velké násobilky v závislosti na typu dosaženého vzdělání

Z grafu 44 a tabulky 20 je patrné, že nejrychleji 20 příkladů z velké násobilky řešila testovaná osoba s dosaženým vzděláním z oboru Přírodovědná geografie a naopak nejpomaleji testovaná osoba s dosaženým vzděláním z oboru Mezinárodní teritoriální studia. Výsledky této vědecké otázky nepodávají žádné přesvědčivé důkazy o tom, že by typ

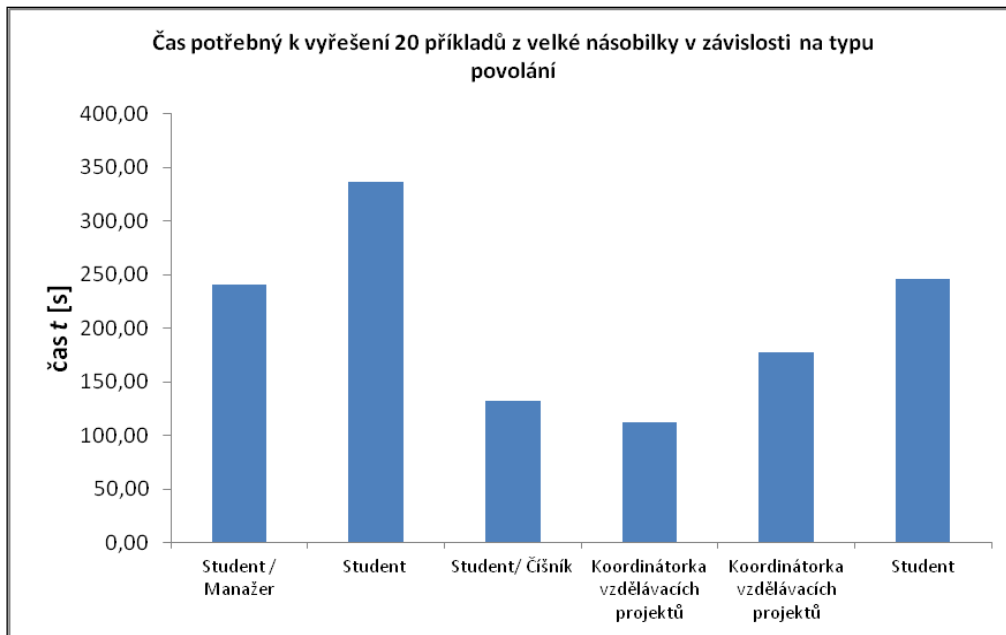
dosaženého vzdělání hrál významnou roli v rychlosti řešení daného úkolu. Jak je vidět opět z tabulky 20 i z grafu 44, stejný typ vzdělání, u kterého byl zjištěn nejdelší časový interval potřebný k vyřešení, se taktéž vyskytuje u zkoumané osoby, která daný úkol vyřešila s druhým nejkratším časovým intervalem. Navíc rozdíl časových intervalů mezi prvními dvěma nejrychlejšími řešeními není nijak výrazný vzhledem k celkové délce jednotlivých intervalů. Testovaná osoba s dosaženým vzděláním přírodovědná geografie také v příkladech z velké násobilky čtyřikrát chybovala, zatímco testovaná osoba s druhým nejkratším časovým intervalem potřebným k řešení nechybovala ani jednou (tabulka 20).

d) Jak se celkový čas potřebný k řešení 20 příkladů generovaných počítačem liší v závislosti na typu povolání zkoumaných osob?

U této vědecké otázky hodnotíme, zda oblast zaměstnání zkoumaných osob může mít vliv na rychlost řešení 20 příkladů z velké násobilky. Výsledky zpracování popisuje tabulka 21 a graf 45.

Zkoumaná osoba	Pohlaví	Zaměstnání	Čas t_2 – velká násobilka [s]	chybovost
1	Muž	PhD. student / Manažer	240,30	0
2	Muž	Student	336,20	0
3	Muž	Student/ Číšník	132,60	0
4	Žena	Koordinátorka vzdělávacích projektů	112,60	4
5	Žena	Koordinátorka vzdělávacích projektů	177,60	5
6	Žena	PhD. student	246,30	2

Tabulka 21: Čas potřebný k vyřešení 20 příkladů z velké násobilky v závislosti na typu zaměstnání



Graf 45: Čas potřebný k vyřešení 20 příkladů z velké násobilky v závislosti na typu zaměstnání

Z grafu 45 i tabulky 21 je patrné, že nejkratší časový interval potřebný k vyřešení 20 příkladů z velké násobilky se vyskytuje u osoby se zaměstnáním koordinátorka vzdělávacích projektů (chybovost čtyřikrát) a naopak nejdelší časový interval potřebný k řešení se vyskytuje u osoby s povoláním student (chybovost nulová). Výsledky této vědecké otázky opět nepodávají žádné přesvědčivé důkazy o tom, zda by rychlost řešení mohla být ovlivněna typem zaměstnání zkoumaných osob. U grafu 45 i tabulky 21 je patrné, že u stejného typu povolání se vyskytují různé hodnoty časových intervalů potřebných k řešení.

6.1.4 Vědecká otázka 4

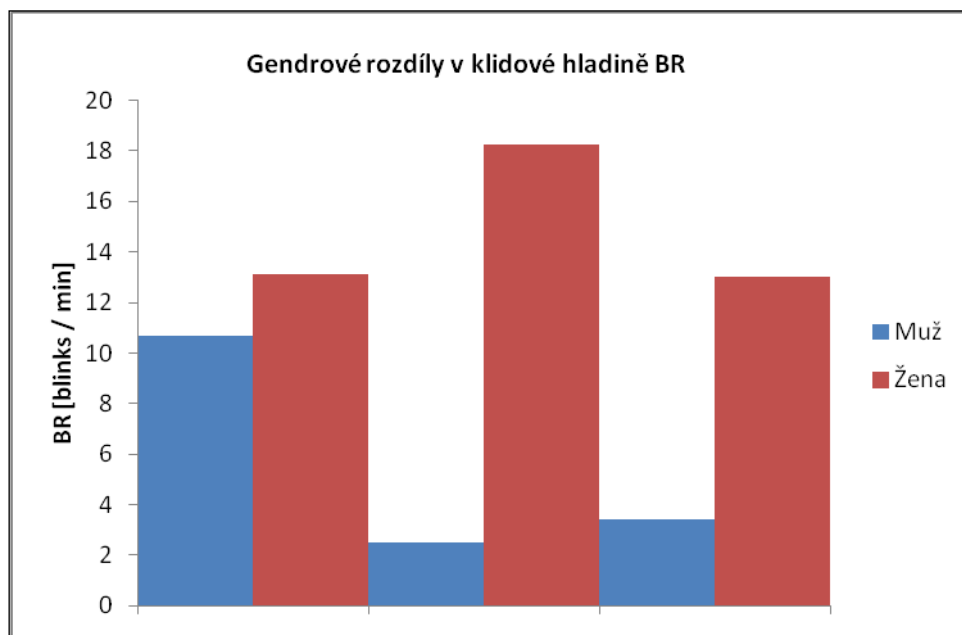
Budou se vyskytovat genderové rozdíly v průměrné hodnotě klidové hladiny BR?

Tato vědecká otázka byla položena z důvodu vyhodnocení genderových rozdílů v klidové hladině frekvence mrkání (BR). Výsledky shrnuje tabulka 22 a graf 46.

Zkoumaná osoba	Pohlaví	BR klidová [blinks/min]
1	Muž	10,67

2	Muž	2,51
3	Muž	3,43
4	Žena	13,10
5	Žena	18,23
6	Žena	13,02

Tabulka 22: Genderové rozdíly v klidové hladině BR



Graf 46: Genderové rozdíly v klidové hladině BR

Z grafu 46 i tabulky 22 je patrné, že průměrná hodnota klidové hladiny BR je výrazně vyšší u ženského pohlaví. Po určení aritmetického průměru klidové hladiny žen $BR_{KŽ}$, který byl stanoven jako $BR_{KŽ} = (14,79 \pm 2,44)$ blinks/min, a určení aritmetického průměru mužů BR_{KM} , který byl stanoven jako $BR_{KM} = (5,54 \pm 3,64)$ blinks/min, je zřejmé, že klidová hladina BR žen v našem testovaném vzorku je více jak dvakrát větší než klidová hladina BR mužů.

6.2 Ověření hypotéz

6.2.1 Hypotéza 1

Pracovní hypotéza 1 byla stanovena jako: **Průměrná hodnota BR zkoumaných osob za časový interval potřebný k vyřešení 20 příkladů s rostoucí obtížností zadání matematického úkolu roste.**

V rámci této stanovené hypotézy jsme sledovali, jak se bude měnit průměrná hodnota BR jednotlivých testovaných osob v závislosti na obtížnosti daného matematického úkolu. Kritéria obtížnosti byla stanovena následovně.

Nejnižší kognitivní zátěž – nejmenší míra obtížnosti: Řešení 20 příkladů z malé násobilky generované počítačem. V této části testovaná osoba rozhoduje o správnosti výsledků příkladů z malé násobilky. Jde tedy o proces, kdy si testované osoby pouze vybavují ze své paměti znění správného výsledku a následně ho porovnávají s výsledkem nabídnutým počítačem.

Střední kognitivní zátěž – střední míra obtížnosti: Řešení 20 příkladů z velké násobilky generované počítačem. V této části jsou už testované osoby nuceny jednak zvolit vhodnou strategii posuzování správnosti výsledku, jednak strategii postupu násobení dvou dvouciferných čísel. Nepracují tedy pouze s informacemi, které mají uložené v paměti, ale provádějí jednoduché matematické operace.

Nevyšší kognitivní zátěž – největší míra obtížnosti: Řešení 20 náhodně kombinovaných příkladů z malé a velké násobilky zadávaných ústně. V této části testované osoby nejdříve vyslechnou znění příkladu a nabízeného výsledku, tento příklad i výsledek si nejdříve musejí zapamatovat a pak postupují podle toho, zda se jedná o příklad z malé násobilky, tedy vybavují si správný výsledek z paměti, či zda se jedná o příklad z velké násobilky, tedy volí strategii rozhodování o správnosti výsledku, strategii postupu výpočtu a provádějí jednoduché matematické operace. Daný výsledek pak porovnávají s výsledkem, který si museli zapamatovat.

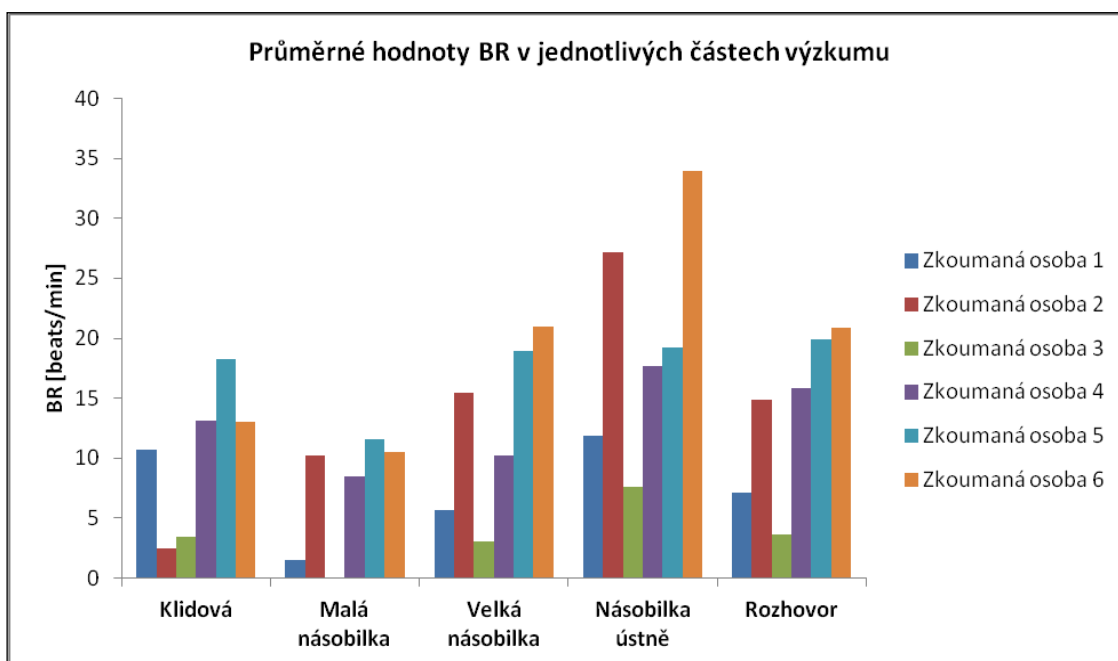
Aby nedošlo pouze k subjektivnímu posouzení míry obtížnosti z naší strany, vždy jsme se všech testovaných osob zeptali v řízeném rozhovoru, jenž následoval po vyřešení všech tří úrovní, která z daných částí jim připadala nejjednodušší a která naopak nejtěžší. Všechny testované osoby uvedly, že nejjednodušší pro ně byly příklady z malé násobilky generované počítačem a nejtěžší kombinované příklady zadávané ústně.

Výsledky hypotézy 1 shrnuje tabulka 23 a graf 47.

Zkoumaná osoba	BR klidová [blinks/min]	BR malá násobilka [blinks/min]	BR velká násobilka [blinks/min]	BR násobilka ústně [blinks/min]	BR rozhovor [blinks/min]
----------------	----------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	-----------------------------

1.	10,67	1,54	5,63	11,83	7,10
2.	2,51	10,26	15,43	27,12	14,90
3.	3,43	0,00	3,07	7,58	3,68
4.	13,10	8,45	10,21	17,65	15,87
5.	18,23	11,62	18,91	19,25	19,91
6.	13,02	10,55	20,97	33,93	20,92

Tabulka 23: Průměrné hodnoty BR všech testovaných osob v jednotlivých částech výzkumu



Graf 47: Průměrné hodnoty BR všech testovaných osob v jednotlivých částech výzkumu

Z grafu a tabulky je viditelné, že pouze u zkoumané osoby č. 2 došlo k nárůstu průměrné hodnoty BR při řešení příkladů z malé násobilky generované počítačem oproti průměrné hodnotě klidové BR. U všech ostatních zkoumaných osob došlo k poklesu průměrné hodnoty BR při řešení této části výzkumu oproti průměrné hodnotě klidové BR. Tento fakt může být způsoben tím, že klidová hladina BR byla snímána bezprostředně před dalšími částmi výzkumu. Je tedy zcela možné, že testované osoby již byly ovlivněny obavami z budoucího průběhu. Dále je tento pokles možné vysvětlit také tím, že se testované osoby během počítání jednoduchých příkladů z malé násobilky uklidnily. Při případných příštích měřeních by tedy bylo vhodnější snímání klidové hladiny BR několik hodin, nebo i několik dní před samotnou akční částí výzkumu.

Dále je z grafu i tabulky patrné, že u pěti zkoumaných osob (1, 2, 3, 4, 6) došlo vždy k nárůstu průměrné hodnoty BR s rostoucí mírou obtížnosti matematického úkolu. U

zkoumané osoby č. 5 se nárůst průměrné hodnoty BR projevil pouze u řešení příkladů z velké násobilky oproti průměrné hodnotě BR při řešení příkladů z malé násobilky. Co se týče rozdílu v průměrných hodnotách BR při řešení příkladů z velké násobilky generovaných počítačem a při řešení kombinovaných příkladů zadávaných ústně, nebyly nalezeny žádné výrazné rozdíly. Na základě řízeného rozhovoru bylo zjištěno, že daná testovaná osoba některá řešení příkladů z velké násobilky tipovala, což se mohlo významně projevit na průměrných hodnotách BR v daných částech výzkumu. Výsledky získané u testované osoby č. 5 jsme tedy nezahrnuli do konečného hodnocení naší hypotézy.

U testovaných osob č. 1, 2, 3, 4 a 6 došlo k potvrzení hypotézy, že průměrná hodnota BR s rostoucí mírou obtížnosti zadání matematického úkolu roste. U všech těchto testovaných osob, také pozorujeme pokles průměrné hodnoty BR v průběhu řízeného rozhovoru oproti průměrné hodnotě BR při řešení příkladů zadávaných ústně. Testované osoby tedy opět začaly mrkat s nižší frekvencí bezprostředně po splnění posledního „počítacího“ úkolu výzkumu.

6.2.2 Hypotéza 2

Pracovní hypotéza 2 byla stanovena takto: **Při vyšší kognitivní zátěži se periodicitu srdečního rytmu naruší zejména v oblasti vyšších frekvencí.**

V rámci této pracovní hypotézy jsme hodnotili, jestli dojde k nárůstu variability frekvencí HR v závislosti na obtížnosti daného matematického úkolu. Při vyhodnocování dat HR jsme vzhledem k obdrženému zašuměnému signálu HR nevyhodnocovali získaná data u zkoumaných osob č. 3 a č. 5. Dále jsme do vyhodnocení hypotézy 2 nezahrnuli výsledky u zkoumané osoby č. 4 odpovídající 2. části výzkumu vzhledem ke špatné kalibraci měřícího čidla. Výsledky pracovní hypotézy 2 shrnuje tabulka 24.

Zkoumaná osoba	Klidová	Malá násobilka	Korelace s BR	Velká násobilka	Korelace s BR	Násobilka ústně	Korelace s BR
1	Nízká variabilita frekvencí HR	Nižší variabilita frekvencí HR než klidová	ano	Vyšší variabilita frekvencí HR než klidová	ano	Vyšší variabilita frekvencí HR než klidová	ano
2	Nízká variabilita frekvencí HR	Vyšší variabilita frekvencí HR než klidová	ano	Vyšší variabilita frekvencí HR než klidová	ano	Vyšší variabilita frekvencí HR než klidová	ano

4	Nízká variabilita frekvencí HR	Špatná kalibrace	X	Vyšší variabilita frekvencí HR než klidová	ano	Vyšší variabilita frekvencí HR než klidová	ano
6	Nízká variabilita frekvencí HR	Nižší variabilita frekvencí HR než klidová	ano	Vyšší variabilita frekvencí HR než klidová	ano	Vyšší variabilita frekvencí HR než klidová	ano

Tabulka 24: Variabilita frekvencí HR v 1. až 4. části výzkumu, korelace s BR

Ve druhé části výzkumu došlo u zkoumaných osob č. 1 a č. 6 ke snížení variability frekvencí HR oproti klidové hladině. Tento pokles si vysvětlujeme tím, že se zkoumané osoby u počítání příkladů z malé násobilky uklidnily, zatímco při snímání klidové hladiny HR se mohly projevit obavy zkoumaných osob z budoucího průběhu výzkumu. Zvýšení variability frekvencí HR v průběhu druhé části výzkumu oproti klidové hladině HR nastalo pouze u zkoumané osoby č. 2. U všech zkoumaných osob (č. 1, 2, 4, 6) výsledky ukazují nárůst variability frekvencí HR ve 3. a ve 4. části výzkumu oproti klidové hladině HR. Získané výsledky ze zpracování HR jsou v korelaci se získanými výsledky ze zpracování BR.

Výsledky našeho výzkumu potvrzují stanovenou hypotézu 2, že s vyšší kognitivní zátěží dochází k narušení periodicity srdečního rytmu převážně v oblasti vyšších frekvencí. Dále výsledky našeho zkoumání ukazují na možnou korelaci HR s BR, která byla zjištěna u všech zkoumaných osob, jejichž naměřená data byla zahrnuta do vyhodnocení obou stanovených hypotéz.

7 Závěr

Hlavní cíl diplomové práce byl stanoven takto: **Analyzovat a interpretovat změny frekvence srdeční činnosti a frekvence mrkání oka v závislosti na obtížnosti daného matematického úkolu.** V rámci tohoto stanoveného cíle, byla prostudována odborná literatura, byl zvolen vhodný výzkumný plán, sestaven podrobný průběh výzkumu a bylo provedeno zpracování a vyhodnocení naměřených dat. Výzkum byl realizován na katedře didaktiky fyziky Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy a skládal se z pěti dílčích částí:

- Měření klidové hladiny HR a BR.

- Měření HR a BR v průběhu řešení příkladů z malé násobilky zadávané počítačem.
- Měření HR a BR v průběhu řešení příkladů z velké násobilky zadávané počítačem.
- Měření HR a BR v průběhu řešení kombinovaných příkladů z velké a malé násobilky zadávané ústně.
- Měření HR a BR v průběhu řízeného rozhovoru.

Výzkumu se zúčastnili 3 ženy a 3 muži s průměrným věkem ($27,33 \pm 1,97$) let. Pracovní hypotézy výzkumu byly stanoveny:

- Průměrná hodnota BR zkoumaných osob za časový interval potřebný k vyřešení 20 příkladů s rostoucí obtížností zadání matematického úkolu roste.
- Při vyšší kognitivní zátěži se periodicita srdečního rytmu naruší zejména v oblasti vyšších frekvencí.

V rámci první stanovené hypotézy byla zpracovávána frekvence mrkání oka. Na základě získaných výsledků byla tato hypotéza přijata. U pěti zkoumaných osob došlo ke zvýšení průměrné hodnoty frekvence mrkání oka v závislosti na vyšší míře obtížnosti matematického úkolu.

V rámci druhé pracovní hypotézy byla zpracována frekvence srdeční činnosti. Naměřená data byla vyhodnocena pomocí spektrální analýzy HR v programu SPSS. Na základě získaných a zpracovaných dat byla i tato hypotéza přijata.

Výsledky této diplomové práce také ukazují na korelaci HR a BR, která byla zjištěna u zkoumaných osob, jejichž naměřená data byla zahrnuta do vyhodnocení obou stanovených hypotéz.

V rámci položených vědeckých otázek bylo zjištěno, že ve způsobu řešení příkladů z velké násobilky se vyskytovaly tři různé postupy řešení. Dále výsledky ukazují, že rychlost řešení nezávisí ani na druhu dosaženého vzdělání, ani na typu povolání, ani na pohlaví. Zpracování vědecké otázky č. 4 poukazuje na výrazné genderové rozdíly v klidové hladině frekvence mrkání oka. Bylo zjištěno, že ženy mrkají až dvakrát více než muži.

Díky této diplomové práci se mi naskytla příležitost nahlédnout na proces učení ze zcela jiného úhlu pohledu. Věřím, že mé osobní zkušenosti a poznatky získané během studia příslušné literatury, vytváření daného výzkumu a následného zpracování obdržených fyziologických dat budu schopna uplatnit ve svém stávajícím povolání. Sledování toho, jak se

člověk chová během učebního procesu a jak se přizpůsobuje míře obtížnosti zadaného úkolu, má v oblasti vzdělávání široké využití. Výsledky podobných pozorování poskytují cenné informace využívané při vytváření učebních materiálů, učebního prostředí, inteligentních tutoriálních systémů atp. Díky komplexnějšímu sběru fyziologických dat během učebního procesu je také v oblasti Human Computer Interaction snadnější vytvářet e-learningové vzdělávací systémy ústředně cílené na osobu vzdělávaného.

Seznam literatury

- [1] ALLANSON, Jennifer a Stephen H. FAIRCLOUGH. A research agenda for physiological computing. *Interacting with Computers*. 2004, roč. 16, č. 5, s. 857-878. ISSN 09535438. DOI: 10.1016/j.intcom.2004.08.001. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095354380400089X>
- [2] ANTTONEN, Jenni a Veikko SURAKKA. Emotions and heart rate while sitting on a chair. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems CHI 05*. 2005, č. 2. DOI: 10.1145/1054972.1055040. Dostupné z: portal.acm.org
- [3] BARBATO, Giuseppe, Gianluca FICCA, Giovanni MUSCETTOLA, Mariateresa FICHELE, Michele BEATRICE a Franco RINALDI. Diurnal variation in spontaneous eye-blink rate. *Psychiatry Research*. 2000, roč. 93, č. 2, s. 145-151. ISSN 01651781. DOI: 10.1016/S0165-1781(00)00108-6. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0165178100001086>

- [4] BEATTY, Jackson a Brennis LUCERO-WAGONE. The pupillary system. Handbook of psychophysiology. 2000, č. 2, 142 - 162. Dostupné z: <http://psycnet.apa.org>
- [5] BITTNER, Roman, Pavel SMRČKA, Miroslav PAVELKA, Petr VYSOKÝ a Lubomír POUŠEK. Fatigue Indicators of Drowsy Drivers Based on Analysis of Physiological Signals. Lecture Notes in Computer Science. 2001, Volume 2199/2001, s. 62-68. DOI: 10.1007/3-540-45497-7_9. Dostupné z: <http://www.springerlink.com/content/eubre49th8mfy06t/>
- [6] COYNE, Joseph T, Carryl BALDWIN, Anna COLE, Ciara SIBLEY a Daniel M ROBERTS. Applying Real Time Physiological Measures of Cognitive Load to Improve Training. 5th International Conference, FAC 2009 Held as Part of HCI International 2009 San Diego, CA, USA, July 19-24, 2009 Proceedings. DOI: 10.1007/978-3-642-02812-0_55. Dostupné z: <http://www.springerlink.com/content/443wgk24763r3531/>
- [7] DUFRESNE, Aude, François COURTEMANCHE a Zdena LUSTIGOVÁ. Assessing Affective Reactions in HCI using Physiological , Eye Tracking and Task Analysis
- [8] ELECTROPHYSIOLOGY, T. F. o. t. E. S. o. Heart Rate Variability: Standards of Measurement, Physiological Interpretation, and Clinical Use. Circulation. 1996-03-01, roč. 93, č. 5, s. 1043-1065. ISSN 0009-7322. DOI: 10.1161/01.CIR.93.5.1043. Dostupné z: <http://circ.ahajournals.org/cgi/doi/10.1161/01.CIR.93.5.1043>
- [9] Encyclopedia of educational technology: Eye Movement and Tracking. [online]. [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://eet.wikispaces.com/Eye+movement>
- [10] GRANKA. EYE-R: EYE-TRACKING ANALYSIS OF USER BEHAVIOR IN ONLINE SEARCH. Cornell university, 2004. Dostupné z: <http://worldcat.org/oclc/56067685>. Diplomová práce. Faculty of the Graduate School of Cornell University
- [11] HNÁTEK, Marek. Mefistofeles: Zvyšte úspěšnost svého webu díky oční kameře!. [online]. [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://blog.mefistofeles.cz/zvyste-uspesnost-sveho-webu-diky-pouziti-ocni-kamery/>
- [12] JONG, Ton. Cognitive load theory, educational research, and instructional design: some food for thought. Instructional Science. 2010, roč. 38, č. 2, s. 105-134. ISSN 0020-4277. DOI: 10.1007/s11251-009-9110-0. Dostupné z: <http://www.springerlink.com/index/10.1007/s11251-009-9110-0>
- [13] JOSEPHSON a HOLMES. Visual attention to repeated internet images: testing the scanpath theory on the world wide web. Proceeding ETRA '02 Proceedings of the 2002 symposium on Eye tracking research & applications. 2002. DOI: 10.1145/507072.507081. Dostupné z: <http://dl.acm.org>

- [14] KLIMEŠ, Jeroným. Využití Oční kamery ve výzkumu reklamních materiálů. [online]. s. 14 [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://klimes.mysteria.cz/clanky/psychologie/okkody/>
- [15] KLINGNER, KUMAR a HANRAHAN. Measuring the Task-Evoked Pupillary Response with a Remote Eye Tracker. ETRA 2008 proceedings: eye tracking research. New York, N. Y: Association for Computing Machinery, 2008, s. -. ISSN ISBN: 978-1-59593-982-1. DOI: 10.1145/1344471.1344489.
- [16] LUSTIGOVÁ, Zdena, DUFRESNE a Fethi COURTEMANCHE. Mining physiological data for automated educational feedback in virtual learning environments. Proceedings of Global Learn Asia Pacific. 2010, (pp. 3500-3508). Dostupné z: <http://www.editlib.org/p/34428>
- [17] MARSHALL. Identifying Cognitive State from Eye Metrics. Aviation, Space, and Environmental Medicine. 2007, č. 78, s. 11. Dostupné z: <http://www.ingentaconnect.com/content/asma/asem/2007/00000078/a00105s1/art00025>
- [18] MCCRATY a CHILDRE. Psychophysiological Correlates of Spiritual Experience. Biofeedback. 2001, č. 29, s. 13-17. Dostupné z: <http://www.heartmath.org/research/research-publications/psychophysiological-correlates-of-spiritual-experience.html>
- [19] MCCRATY a TOMASINO. Heart Rhythm Coherence Feedback: A New Tool for Stress Reduction, Rehabilitation, and Performance Enhancement. [online]. s. 6 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: http://www.bfcenter.co.il/articles/hrv_biofeedback.pdf
- [20] MCCRATY, R. The effects of emotions on short-term power spectrum analysis of heart rate variability. The American Journal of Cardiology. 1995-11-15, roč. 76, č. 14, s. 1089-1093. ISSN 00029149. DOI: 10.1016/S0002-9149(99)80309-9. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0002914999803099>
- [21] MCCRATY, Rollin, Bob BARRIOS-CHOPLIN, Deborah ROZMAN, Mike ATKINSON a Alan D. WATKINS. The impact of a new emotional self-management program on stress, emotions, heart rate variability, DHEA and cortisol. Integrative Physiological and Behavioral Science. 1998, roč. 33, č. 2, s. 151-170. ISSN 1053-881X. DOI: 10.1007/BF02688660. Dostupné z: <http://www.springerlink.com/index/10.1007/BF02688660>
- [22] MCCRATY, Rollin, Mike ATKINSON a Glen REIN. Music Enhances the Effect of Positive Emotional States on Salivary IgA. Stress Medicine. 1996, č. 12. Dostupné z: <http://www.heartmath.org/research/research-publications/music-enhances-the-effect-of-positive-emotional-states-on-salivary-iga.html>

- [23] MILLER, Bill. Single Subject Research Design (SSRD). [online]. [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: <http://www.vchri.ca/i/pdf/singlesubjectresearch.pdf>
- [24] MÜHL. Neurophysiological Assessment of Affective Experience. TWLT / Vakgroep SETI, Faculteit Informatica, Universiteit Twente. 2009, č. 13, s. 89-96. ISSN 0929-0672. Dostupné z: <http://hmi.ewi.utwente.nl/publication/article/17178>
- [25] NAKAYAMA, TAKAHASHI a SHIMIZU. The Act of Task Difficulty and Eye-movement Frequency for the 'Oculo-motor indices'. Proceeding ETRA '02 Proceedings of the 2002 symposium on Eye tracking research & applications. 2002, s. 6. DOI: 10.1145/507072.507080. Dostupné z: <http://dl.acm.org>
- [26] PAAS, Fred, Juhani E. TUOVINEN, Huib TABBERS a Pascal W. M. VAN GERVEN. Cognitive Load Measurement as a Means to Advance Cognitive Load Theory. Educational Psychologist. 2003, roč. 38, č. 1, s. 63-71. ISSN 0046-1520. DOI: 10.1207/S15326985EP3801_8. Dostupné z: http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/S15326985EP3801_8
- [27] PARTALA, Timo. Affective Information in Human - Computer Interaction. Tampere, 2005. ISBN 951-44-6440-0. Dostupné z: <http://acta.uta.fi>. Academic Dissertation. Faculty of Information Sciences of the University of Tampere. Vedoucí práce Assistant Professor Veikko Surakka, Ph.D
- [28] PAVLIDIS, G. Th. Eye Movements in Dyslexia: Their Diagnostic Significance. Journal of Learning Disabilities. 1985-01-01, roč. 18, č. 1, s. 42-50. ISSN 0022-2194. DOI: 10.1177/002221948501800109. Dostupné z: <http://ldx.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/002221948501800109>
- [29] PICARD, Rosalind W. Affective computing. Cambridge: MIT Press, c1997, 292 s. ISBN 02-621-6170-2.
- [30] POUR, Payam Aghaei, M. S. HUSSAIN, Omar ALZOUBI, Sidney D' MELLO a Rafael A CALVO. The impact of system feedback on learners' affective and physiological states. Proceeding ITS'10 Proceedings of the 10th international conference on Intelligent Tutoring Systems. 2010. DOI: 10.1007/978-3-642-13388-6_31. Dostupné z: <http://www.springerlink.com/content/6h826m6224103317/>
- [31] RANI, Pramila, Nilanjan SARKAR, Craig A. SMITH a Leslie D. KIRBY. Anxiety detecting robotic system towards implicit human-robot collaboration. Robotica. 1999, roč. 22, č. 1, s. 85-95. ISSN 0263-5747. DOI: 10.1017/S0263574703005319. Dostupné z: http://www.journals.cambridge.org/abstract_S0263574703005319
- [32] RAYNER. Eye Movements in Reading and Information Processing: 20 Years of Research. Psychological Bulletin. 1998, č. 3, 372 - 422. Dostupné z: [http://wexler.free.fr/library/files/rayner%20\(1998\)%20eye%20movements%20in%20r](http://wexler.free.fr/library/files/rayner%20(1998)%20eye%20movements%20in%20r)

reading%20and%20information%20processing.%2020%20years%20of%20research.pdf

- [33] SHEN, Liping, Minjuan WANG a Ruimin SHEN. Affective e-Learning: Using “Emotional” Data to Improve Learning in Pervasive Learning Environment. *Educational Technology & Society*. 2009, roč. 12, č. 2, 176–189. Dostupné z: http://www.ifets.info/journals/12_2/13.pdf
- [34] STEINHAUER. Pupillometric measures of cognitive and emotional processes. *International Journal of Psychophysiology*. 2004, roč. 52, č. 1, s. 1-6. ISSN 01678760. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2003.12.001. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167876003002666>
- [35] TROJAN, Stanislav. *Lékařská fyziologie*. 3. dopl. a přeprac. vyd. Praha: Grada-Avicenum, 1999, 612 s. ISBN 80-716-9788-5.
- [36] VLACH, Jan. *Metody a aplikace detekce mrkání očí s využitím číslicového zpracování obrazu: Methods and Applications of Eye Blink Detection with Digital Image Processing*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?zp_id=16686. Dizertační práce. Vedoucí práce Mgr. Pavel Rajmic, Ph.D.
- [37] VYSKOČILOVÁ, Martina. *Analýza variability srdečního rytmu ve frekvenční oblasti*. Brno, 2011. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Kozumplík CSc.
- [38] WONG, K.K. Wan, W.Y WAN a KAYE. Blinking and operating: cognition versus vision. *British Journal of Ophthalmology*. 2002, April; 86(4): 479. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1771097/>

Seznam použitých zkratek

ANS – Autonomní nervový systém

BR – Blink Rate (frekvence mrkání oka)

EKG – Elektrokardiogram

FKG - Fonokardiogram

HCI – Human Computer Interaction (Interakce člověk – počítač)

HF – High Frequency (vysoká frekvence)

HR – Heart Rate (srdeční frekvence)

HRV – Heart Rate Variability (variabilita srdeční frekvence)

ISES – Interaktivní školní experimentální systém

LF – Low Frequency (nízká frekvence)

MF – Middle Frequency (střední frekvence)

PSD – Power Spectral Density (výkonová spektrální analýza)

SPSS – Statistical Package for the Social Sciences (Statistický software)

SSRD – Single Sample Research Design

TEPR – Task-Evoked Pupillary Response

Seznam obrázků

Obrázek 1: Barevná tepelná mapa heatmap	4
Obrázek 2: Ukázka zaznamenání sekvence fixací a sakád – scanpath.....	8
Obrázek 3: Modelový průběh mrknutí	11
Obrázek 4: Vznik křivky EKG	16
Obrázek 5: Základní popis vln, kmitů a intervalů křivky EKG.....	16
Obrázek 6: Schematické znázornění Simple Designu.....	27
Obrázek 7: Schematické znázornění Withdrawal designu se třemi fázemi.....	28
Obrázek 8: Schematické znázornění Withdrawal designu se čtyřmi fázemi.....	28
Obrázek 9: Schematické znázornění Multiple Treatment Designs a Multiple Baseline Designs	29
Obrázek 10: Schematické znázornění použitého výzkumného plánu	30
Obrázek 11: Ukázka měřených hrubých dat HR během našeho výzkumu	31
Obrázek 12: Ukázka měřených hrubých dat HR během našeho výzkumu – detail.....	31
Obrázek 13: Ukázka měřených hrubých dat BR během našeho výzkumu.....	31
Obrázek 14: Optické čidlo systému ISES použité ve výzkumu ke snímání HR	34
Obrázek 15: Optické čidlo systému ISES použité ve výzkumu ke snímání HR	35

Obrázek 16: Modelový příklad z malé násobilky použitý ve výzkumu	35
Obrázek 17: Modelový příklad z velké násobilky použitý ve výzkumu	36
Obrázek 18: Ilustrační fotografie popisující uspořádání experimentu	38

Seznam grafů

Graf 1: Délky fixací při jednotlivých aktivitách realizovaných při procházení webové stránky Amazon	6
Graf 2: Změna průměru zornice při poslechu a následném zopakování různě dlouhého sledu čísel	9
Graf 3: Změna průměru zornice při poslechu posloupnosti čísel 0 – 20 se zaznamenanými chybami u čísel 6, 12 a 18.....	10
Graf 4: Změna průměru zornice v závislosti na správnosti řešení matematického úkolu	10
Graf 5: Průměrná hodnota BR v závislosti na správnosti řešení matematického úkolu.....	13
Graf 6: Rozdíl v délkách intervalů mezi dvěma mrknutími u bdělých (alert) a ospalých (drowsy) řidičů	15
Graf 7: Projev parasympatika v závislosti na míře negativní emoce.....	18
Graf 8: Projev sympatika v závislosti na míře negativní emoce	19
Graf 9: Změna okamžitého HR v závislosti na druhu pozorovaných emocí.....	20
Graf 10: Změna průměrné hodnoty HR v závislosti na druhu vyvolaných emocí	22
Graf 11: Průměrné hodnoty BR v jednotlivých částech výzkumu 1. zkoumané osoby	40
Graf 12: Průměrné hodnoty BR v jednotlivých částech výzkumu 2. zkoumané osoby	41
Graf 13: Průměrné hodnoty BR v jednotlivých částech výzkumu 3. testované osoby.....	43
Graf 14: Průměrné hodnoty BR v jednotlivých částech výzkumu 4. zkoumané osoby	44
Graf 15: Průměrné hodnoty BR v jednotlivých částech výzkumu 5. zkoumané osoby	45
Graf 16: Průměrné hodnoty BR v jednotlivých částech výzkumu 5. zkoumané osoby	47

Graf 17: Ukázka hrubého zpracování průběhu frekvence srdečního rytmu	48
Graf 18: Ukázka hrubého zpracování průběhu frekvence srdečního rytmu detail (rozmezí 10 – 20 sekund)	49
Graf 19: Spektrální analýza signálu HR 1. zkoumané osoby v 1. části výzkumu	50
Graf 20: Spektrální analýza signálu HR 1. zkoumané osoby ve 2. části výzkumu	51
Graf 21: Spektrální analýza signálu HR 1. zkoumané osoby ve 3. části výzkumu	51
Graf 22: Spektrální analýza signálu HR 1. zkoumané osoby ve 4. části výzkumu	52
Graf 23: Spektrální analýza signálu HR 1. zkoumané osoby v 5. části výzkumu	53
Graf 24: Spektrální analýza signálu HR 2. zkoumané osoby v 1. části výzkumu	53
Graf 25: Spektrální analýza signálu HR 2. zkoumané osoby ve 2. části výzkumu	54
Graf 26: Spektrální analýza signálu HR 2. zkoumané osoby ve 3. části výzkumu	54
Graf 27: Spektrální analýza signálu HR 2. zkoumané osoby ve 4. části výzkumu	55
Graf 28: Spektrální analýza signálu HR 2. zkoumané osoby v 5. části výzkumu	55
Graf 29: Detail průběhu HR u zkoumané osoby č. 2 v průběhu 5. části výzkumu	56
Graf 30: Detail průběhu signálu HR u 3. zkoumané osoby	57
Graf 31: Spektrální analýza signálu HR 4. zkoumané osoby v 1. části výzkumu	58
Graf 32: Spektrální analýza signálu HR 4. zkoumané osoby ve 2. části výzkumu	58
Graf 33: Spektrální analýza signálu HR 4. zkoumané osoby ve 3. části výzkumu	59
Graf 34: Spektrální analýza signálu HR 4. zkoumané osoby ve 4. části výzkumu	59
Graf 35: Spektrální analýza signálu HR 4. zkoumané osoby v 5. části výzkumu	60
Graf 36: Detail průběhu signálu HR 4. zkoumané osoby v průběhu 2. části výzkumu.....	61
Graf 37: Spektrální analýza signálu HR 6. zkoumané osoby v 1. části výzkumu	62
Graf 38: Spektrální analýza signálu HR 6. zkoumané osoby ve 2. části výzkumu	62
Graf 39: Spektrální analýza signálu HR 6. zkoumané osoby ve 3. části výzkumu	63
Graf 40: Spektrální analýza signálu HR 6. zkoumané osoby ve 4. části výzkumu	63
Graf 41: Spektrální analýza signálu HR 6. zkoumané osoby v 5. části výzkumu	64
Graf 42: Čas potřebný k vyřešení 20 příkladů v závislosti na obtížnosti zadání.....	68

Graf 43: Čas potřebný k vyřešení 20 příkladů z velké násobilky v závislosti na pohlaví	70
Graf 44: Čas potřebný k vyřešení 20 příkladů z velké násobilky v závislosti na typu dosaženého vzdělání	71
Graf 45: Čas potřebný k vyřešení 20 příkladů z velké násobilky v závislosti na typu zaměstnání	73
Graf 46: Genderové rozdíly v klidové hladině BR.....	74
Graf 47: Průměrné hodnoty BR všech testovaných osob v jednotlivých částech výzkumu ..	76

Seznam tabulek

Tabulka 1: Průměrné hodnoty trvání fixací při různém způsobu čtení	5
Tabulka 2: Průměrná hodnota BR [blinks/min] očních chirurgů v průběhu běžného rozhovoru a v průběhu práce s očním mikroskopem.....	12
Tabulka 3: Průměrné hodnoty chování očí ve všech třech výzkumech S.P Marshall	14
Tabulka 4: Vliv negativní emoce (Anger) na průběh HR	20
Tabulka 5: Vliv pozitivní emoce (Appreciation) na průběh HR	21
Tabulka 6: Charakteristika zkoumaného souboru	25
Tabulka 7: Klimatické a laboratorní podmínky prvního měření	32
Tabulka 8: Klimatické a laboratorní podmínky druhého měření.....	32
Tabulka 9: Klimatické a laboratorní podmínky třetího měření	33
Tabulka 10: Klimatické a laboratorní podmínky čtvrtého měření.....	33
Tabulka 11: Určení průměrných hodnot BR v jednotlivých částech výzkumu 1. zkoumané osoby	40
Tabulka 12: Určení průměrných hodnot BR v jednotlivých částech výzkumu 2. zkoumané osoby	41
Tabulka 13: Určení průměrných hodnot BR v jednotlivých částech výzkumu 3. zkoumané osoby	42
Tabulka 14: Určení průměrných hodnot BR v jednotlivých částech výzkumu 4. zkoumané osoby	44
Tabulka 15: Určení průměrných hodnot BR v jednotlivých částech výzkumu 5. zkoumané osoby	45

Tabulka 16: Určení průměrných hodnot BR v jednotlivých částech výzkumu 6. zkoumané osoby	46
Tabulka 17: Čas potřebný k vyřešení 20 příkladů generovaných počítačem u jednotlivých zkoumaných osob	67
Tabulka 18: Rozdíl v časovém intervalu potřebném k vyřešení 20 příkladů z malé a 20 příkladů z velké násobilky	68
Tabulka 19: Rozdíl v časovém intervalu potřebném k vyřešení 20 příkladů z velké násobilky v závislosti na pohlaví.	69
Tabulka 20: Čas potřebný k vyřešení 20 příkladů z velké násobilky v závislosti na typu dosaženého vzdělání.	71
Tabulka 21: Čas potřebný k vyřešení 20 příkladů z velké násobilky v závislosti na typu zaměstnání	72
Tabulka 22: Gendrové rozdíly v klidové hladině BR.....	74
Tabulka 23: Průměrné hodnoty BR všech testovaných osob v jednotlivých částech výzkumu	76
Tabulka 24: Variabilita frekvencí HR v 1. až 4. části výzkumu, korelace s BR	78

