

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2024

Robert Mang



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

HODNOCENÍ REAKCE ORGANISMU NA STRESOVÉ PODNĚTY INDUKOVANÉ V PROSTŘEDÍ VIRTUÁLNÍ REALITY

EVALUATION OF STRESS REACTION TO STIMULI INDUCED BY VIRTUAL REALITY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Robert Mang

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Mézl, Ph.D.

BRNO 2024

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Biomedicínská technika a bioinformatika**

Ústav biomedicínského inženýrství

Student: Robert Mang

ID: 240534

Ročník: 3

Akademický rok: 2023/24

NÁZEV TÉMATU:

Hodnocení reakce organismu na stresové podněty indukované v prostředí virtuální reality

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Proveďte rešerši metod pro hodnocení reakce organismu na různé stresové podněty. Dále nastudujte problematiku vyvolání stresových podnětů s možným využitím virtuální reality. 2) Navrhněte experiment pro vyvolání stresové odezvy zdravých subjektů pomocí virtuální reality s měřením vhodných fyziologických parametrů. 3) Proveďte pilotní měření a základní vyhodnocení indukované stresové odezvy. 4) Proveďte komplexní zpracování naměřených dat pomocí různých akvizičních systémů s důrazem na časovou synchronizaci jednotlivých veličin. 5) Na skupinách vhodných dobrovolníků proměřte reakci organismu na stresové podněty a proveďte statistické vyhodnocení. 6) Proveďte diskuzi a zhodnocení dosažených výsledků.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] BZDÚŠKOVÁ, Diana; MARKO, Martin; HIRJAKOVÁ, Zuzana; KIMIJANOVÁ, Jana; HLAVAČKA, František et al., 2022. The Effects of Virtual Height Exposure on Postural Control and Psychophysiological Stress Are Moderated by Individual Height Intolerance. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2022-1-12, roč. 15. ISSN 1662-5161. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.773091>.

[2] DAMMEN, Lotte van; FINSETH, Tor T.; MCCURDY, Bethany H.; BARNETT, Neil P.; CONRADY, Roselynn A. et al., 2022. Evoking stress reactivity in virtual reality: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Psychopharmacology*. Roč. 138, č. 10, s. 1264-1273. ISSN 01497634. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.104709>.

Termín zadání: 5.2.2024

Termín odevzdání: 29.5.2024

Vedoucí práce: Ing. Martin Mézl, Ph.D.

doc. Ing. Jana Kolářová, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zaměřuje na hodnocení stresové reakce na podněty vyvolané v prostředí virtuální reality. V teoretické části se zabývá historií VR, rozdílem mezi VR a rozšířenou realitou (AR), hardwarem VR a jeho využitím v medicíně. Dále se podrobněji věnuje fyziologickým parametrům, jako jsou EKG, dýchání, elektrodermální aktivita a tlaková plošina, které jsou velmi užitečnými parametry při hodnocení stresových reakcí. Výsledky jsou doplněny dotazníkovým šetřením.

V praktické části se navrhuje a popisuje průběh výzkumného projektu, jehož cílem je naměřit stresovou reakci na skupince dvaceti dobrovolníků. Získaná data jsou následně analyzována a statisticky vyhodnocena. Na základě diskuze se následně potvrzuje stresová reakce u parametrů - tepová frekvence a úroveň kožní vodivosti v daných fázích. Výsledky z tlakové plošiny se analyzují pouze na jednom vzorovém účastníkovi. Použitý dotazník typu STAI neprokázal zvýšení subjektivního stresu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Virtuální realita, Rozšířená realita, stresová reakce,

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on the assessment of stress response to stimuli evoked in a virtual reality environment. In the theoretical part, it discusses the history of VR, the difference between VR and augmented reality (AR), VR hardware and its use in medicine. It also discusses in detail physiological parameters such as ECG, respiration, electrodermal activity and pressure plateau, which are very useful parameters in the assessment of stress responses. The results are supplemented by a questionnaire survey. The practical part proposes and describes the conduct of a research project to measure the stress response in a group of twenty volunteers. The data obtained are subsequently analyzed and statistically evaluated. Based on the discussion, the stress response is then confirmed for the parameters - heart rate and skin conductance level in the given phases. The results from the pressure platform are analyzed on only one sample participant. The STAI type questionnaire used did not show an increase in subjective stress.

KEYWORDS

Virtual reality, Augmented reality, Reaction to stress

MANG, Robert. *Hodnocení reakce organismu na stresové podněty indukované v prostředí virtuální reality*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství, 2024, 73 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Martin Mézl, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora:	Robert Mang
VUT ID autora:	240534
Typ práce:	Bakalářská práce
Akademický rok:	2023/24
Téma závěrečné práce:	Hodnocení reakce organismu na stresové podněty indukované v prostředí virtuální reality

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Martin Mézl, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Obsah

Úvod	13
1 Základní poznatky pro VR a hodnocení reakce organismu	14
1.1 Rozdíl mezi VR a AR	14
1.2 Historie (od počátku po současnost)	15
1.3 Hardware VR	18
1.4 Virtuální realita v medicíně	21
1.5 Virtuální realita a stres: Hodnocení vlivu VR na fyziologii stresové reakce	25
2 Měření fyziologických parametrů	29
2.1 EKG	29
2.2 Piezoelektrický Dýchací senzor (PZT)	33
2.3 Měření EDA	34
2.4 Tlaková plošina	35
3 Návrh výzkumého projektu	39
3.1 Cíl projektu	39
3.2 Technická zařízení	39
3.3 Software simulace	39
3.4 Popis Virtuálního prostředí	40
3.5 Průběh experimentu	41
3.6 Časový plán experimentu	42
4 Popis a zpracování získaných dat	45
4.1 Účastníci výzkumného projektu	45
4.2 Biosignals PLUX data	47
4.3 Tlaková plošina	49
5 Analýza výsledků	52
5.1 Analýza rozdílů mezi fázemi měření	52
5.2 Porovnání žen a mužů	53
5.3 Dotazníkové šetření	54
6 Diskuze a zhodnocení výsledků	58
6.1 Biosignály	58
6.2 Tlaková plošina	59
6.3 Dotazníky STAI	60

Závěr	61
Literatura	62
Seznam symbolů a zkratk	69
Seznam příloh	70
A Ukázka informovaného souhlasu	71
B Ukázka dotazníků	72
B.1 Dotazník před měřením	72
B.2 Dotazník po měření	72
C Ukázka tabulek naměřených parametrů	73
C.1 Tabulka biosignálů	73
C.2 Tabulka tlakové plošiny	73

Seznam obrázků

2.1	Vzorové umístění elektrod snímače EKG ze sady Biosignals PLUX. [16]	30
2.2	Ukázka vzorového záznamu z jednoho svodu EKG snímače. [16]	31
2.3	Ukázka vzorového klidového měření z piezoelektrického dýchacího senzoru (nefiltrováno). [31]	34
2.4	Ukázka vzorového EDA měření s klíčovými popisy událostí. [8]	35
2.5	Ukázka výstupu záznamu v různých zobrazení (od levého horního rohu): vysoké rozlišení, 3D, tlakové vrstvy, numericky a body	36
2.6	Zobrazení vybraných otisků a grafické reprezentace vývoje v průběhu času záznamu z tlakové plošiny.	37
2.7	Detailní analýza čtyř fází chůze s odpovídajícím rozložením tlaku z tlakové plošiny.	38
2.8	Shrnutí celého záznamu z tlakové plošiny.	38
3.1	Přechod po prkně mezi mobilními věžemi za účelem chycení ptáčka ve hře Plank not included. [43]	40
3.2	Relaxující prostředí na pláži na ostrově v aplikaci Meditation VR. [26]	41
4.1	Rozdělení skupiny na základě míry strachu z výšky.	46
4.2	Míra strachu z výšek u mužů a žen.	46
4.3	EKG signál po předzpracování a detekci R-vln.	48
4.4	Ukázka celého vzorového vývoje parametrů jednoho účastníka - po předzpracování a převodu hodnot.	48
4.5	Výsledky z tlakové plošiny - A: Doba jednoho cyklu kroku (vždy součet pravého a levého půlkroku), B: Průměrná rychlost kroku / snímaného jednoho otisku.	50
4.6	Výsledky z tlakové plošiny v různých scénách - A: Zatížení přední strany chodidla, B: Zatížení vnitřní strany chodidla.	51
4.7	Porovnání průměrných otisků v různých scénách.	51
5.1	Krabicové grafy mediánů tepové frekvence všech účastníků ve všech pěti fázích.	54
5.2	Krabicové grafy mediánů úrovně kožní vodivosti všech účastníků ve všech pěti fázích.	54
5.3	Krabicové grafy průměrů dechové frekvence všech účastníků ve všech pěti fázích.	55
5.4	Krabicové grafy mediánů tepové frekvence rozdělené podle pohlaví ve všech pěti fázích.	55
5.5	Krabicové grafy mediánů úrovně kožní vodivosti rozdělené podle pohlaví ve všech pěti fázích.	55

5.6	Krabicové grafy průměrů dechové frekvence rozdělené podle pohlaví ve všech pěti fázích.	56
-----	--	----

Seznam tabulek

2.1	Konfigurace svodů při napojování elektrod. [16]	31
3.1	Seznam možných VR scén uvedený přímo vývojářem	44
5.1	Průměrné hodnoty parametrů v jednotlivých fázích	56
5.2	Porovnání rozdílů průměrných hodnot parametrů mezi 2. a 3. fází.	56
5.3	Porovnání rozdílů průměrných hodnot parametrů mezi 3. a 4. fází.	57
5.4	Porovnání rozdílů průměrných hodnot parametrů mezi 2. a 3. fází u žen a mužů.	57
5.5	Porovnání změn v psychickém stavu (STAI) před a po výzkumném měření.	57

Úvod

Virtuální realita (VR) je inovativní technologie, která nám otevírá dveře do zcela nového světa plného nejen herních a zábavných zážitků, ale má také široké uplatnění v mnoha odvětvích, včetně vzdělávání, zdravotnictví, průmyslu a výzkumu. Tato technologie využívá speciálních brýlí, headsetů nebo jiných zařízení, aby vytvořila iluzi, že jsme ponořeni do virtuálního prostředí, které může být zcela odlišné od naší skutečné reality.

Stresové reakce jsou nevyhnutelnou součástí života každého jednotlivce. Od chvíle, kdy vstaneme z postele až po okamžik, kdy večer usínáme, náš organismus čelí různým stresorům a situacím, které mohou vyvolat fyzické i psychické reakce. Jedná se o přirozené reakce organismu na běžné situace, tlak okolí nebo také na mimořádné události, které ovlivňují lidský prožitek. Stresové reakce se mohou u různých jedinců značně lišit, přičemž závisí na celé řadě faktorů, které ovlivňují odolnost či labilnost daného jedince.

Tato bakalářská práce se zabývá virtuální realitou jako nástrojem pro vědu a s ní spojenými výzkumy. VR bude využívána pro simulaci různých stresujících situací se zaměřením na strach z výšky, jejichž výstupem by měly být měřitelné stresové reakce organismu účastníků v měření výzkumného projektu.

První část bakalářské práce je věnována historii, s cílem uvést čtenáře do vývoje a významu virtuální reality (VR) v dnešní době. Dále jsou zkoumány různé druhy VR a rozšířené reality (AR), a je vysvětleno, jak je možné je efektivně využívat. Podrobně jsou rozebrány klíčové prvky VR, které přispívají k celkovému zážitku uživatele. Konec kapitoly je zaměřen na potenciál VR a AR v medicíně a následně se přesouvá pozornost k dostupné literatuře a hodnocení vlivu VR na stresové reakce.

Ve druhé části jsou podrobněji rozebrány fyziologické parametry, jež budou klíčové při hodnocení stresových reakcí. Je poskytnut strukturovaný popis těchto parametrů a vysvětlena jejich základní teorie, abychom lépe porozuměli jejich významu v kontextu hodnocení stresové odezvy. Součástí je stručné rozebrání fungování tlakové plošiny, která je využívána ve výzkumném projektu.

Hlavní část práce je zaměřena na návrh a provedení měření výzkumného projektu. V této části je uvedena kapitola, ve které jsou popsána získaná data a vysvětleno zpracování získaných dat biosignálů, dotazníků a tlakové plošiny.

V kapitole analýza výsledků jsou zobrazeny výsledky testů v tabulkách a grafech, a také jsou popsány použité statistické testy včetně stanovených hypotéz. Tato statistická analýza byla provedena u biosignálů a u dotazníkového šetření.

Ke konci práce jsou identifikovány chyby měření a provedeno zhodnocení měření pomocí statistické analýzy. Následně jsou výsledky zhodnoceny v diskuzi, na jejímž základě je stanoven závěr měření výzkumného projektu, který je uveden v závěru.

1 Základní poznatky pro VR a hodnocení reakce organismu

V první části této kapitoly se budeme věnovat definici a vysvětlení základních principů virtuální reality. Přiblížíme technologické aspekty, které tvoří základní stavební kameny VR prostředí, a detailněji se zaměříme na technické parametry, které ovlivňují kvalitu a účinnost virtuálních zážitků. V druhé části se zaměříme na aplikace virtuální reality v medicíně. Prozkoumáme možné výzkumy a projekty, které využívají VR k diagnostice, léčbě a výzkumu různých zdravotních aplikací.

1.1 Rozdíl mezi VR a AR

Při studiu virtuální reality (VR) a head mounted displejů (HMD) narazíme na pojem rozšířené reality (AR). Rozdíl mezi VR a AR spočívá v tom, jak tyto technologie ovlivňují vnímání uživatele. VR přenáší uživatele do úplně virtuálního prostředí, které je odlišné od skutečné reality, je plně uměle vytvořené a uživatel je zcela ponořen do tohoto prostředí. Naopak, AR spojuje virtuální prvky s reálným světem. Uživatel vidí skutečný svět kolem sebe, ale na něj jsou přidány virtuální prvky, které mohou interagovat s reálným prostředím. [25]

Virtuální realitu lze rozdělit na 3 základní typy:

- **Neimerzivní VR** - Jedná se o nejpoužívanější typ VR, přičemž většina lidí si ani neuvědomuje, že jí využívá. Uživatel u tohoto typu VR interaguje s virtuálním světem bez ztráty přehledu o tom co se děje ve světě reálném, tedy není pohlcen. Nejtypičtější příkladem tohoto typu VR je počítač nebo herní konzole, kde se pro interakci se simulací využívá myš, klávesnice nebo ovladač. [25] [40]
- **Částečně imerzivní VR** - Leží na pomezí neimerzivní reality a imerzivní reality. Snaha je uživatele lépe pohltnout ve virtuálním zážitku pomocí trojrozměrných simulací, ale stále je zachován kontakt s reálnou realitou. Pro interakci se simulací jsou využívány reálné objekty. Tento typ VR se používá např. v leteckých nebo závodních simulátorů. [41]
- **Imerzivní virtuální VR** - Uživatel je plně pohlcen do zážitku ve VR, přičemž tuto uměle vytvořenou realitu vnímá jako reálný. Využívá technologie simulující 360° obraz, prostorový zvuk a haptickou odezvu. Snaha v tomto typu VR je znemožnit rozeznání požitku od skutečné reality. V tomto typu VR se využívá tzv. VR headsety vysvětlené v následující kapitole. [42]

Další rozdíly je možné najít v použité technologii. Obojí sice využívá speciálních brýlí, headsetů nebo jiných zařízení, které přenášejí uživatele do virtuálního prostředí. U VR však uživatel nemá přímý kontakt se skutečným světem. Naopak, AR využívá zařízení, které propojuje virtuální prvky s reálným světem. Například pomocí mobilního telefonu nebo speciálních brýlí podobné VR ale s průhledným displejem. [25]

Posledním rozdílem je způsob interakce. Ve VR uživatel může interagovat s virtuálním prostředím pomocí ovladačů, senzorů pohybu nebo gest. V AR se uživatel může interagovat s virtuálními prvky v reálném světě, například přes dotykový displej mobilního telefonu nebo pomocí gest. Celkově lze říci, že zatímco VR vytváří úplně nové virtuální prostředí, do kterého je uživatel ponořen, AR rozšiřuje skutečný svět o virtuální prvky a propojuje je s reálným prostředím. [25]

1.2 Historie (od počátku po současnost)

Nejprve se v této kapitole zaměřím na vývoj virtuální reality v čase. Popíšu jaké nejdůležitější technologie daly základ pro dnešní VR headsety, které se objevují na trhu.

První zmínky o moderních technologiích podobných virtuální realitě se objevily již v 50. a 60. letech 20. století, kde vzniklo hned několik zajímavých prototypů jako např. Maska Telesphere, Headsight nebo simulátorům v letectví. Existovali i analogové zařízení, které se objevily ještě před začátkem novověku, ale ty tady zmiňovat nebudu. Já se zaměřím na ty nejdůležitější minulého století, což byla Sensorama a Damoklův meč. [46] [47]

Sensorama

První koncept, který se dá považovat za moderní virtuální realitu se jmenuje „experience theater“. Na základě tohoto konceptu byl v roce 1962 sestaven prototyp takzvaný „Sensorama“ přezdívaný také “The Cinema of the Future” (Kino budoucnosti). Jedná se o přístroj, který stimuluje 4 smysly diváka podle dané scény. Promítali se v něm krátké filmy a oproti jiným virtuálním realitám byl kromě 3D obrazu a stereo zvuku vybaven technikou simulující vítr, vibrace i vůně, což z něho dělalo neobvyklý vynález i pro dnešní poměry. [25] [46] [47]

Přístroj „Sensorama“ nicméně nebyl zcela využit, jelikož v té době bylo velmi obtížně najít investora, který by daný projekt podpořil. Proto tento přístroj upadl do zapomnění a nebyl příliš využíván. [46] [47]

Damoklův Meč (The Sword of Damocles)

Dalším významným vynálezem byl tzv. Damoklův meč, což se považuje za první zobrazovací systém namontovaný na hlavě pro použití v imerzivních simulačních aplikacích také známo jako Head mounted display (HMD). Poprvé byl sestrojen v roce 1968 Ivanem Sutherlandem a jeho týmem. Byl primitivní jak z hlediska uživatelského rozhraní, tak i vizuálního zážitku. Hardware, který totiž uživatel měl na sobě, byl tak těžký, že musel být zavěšen ze stropu. Grafika, která tvořila virtuální prostředí, byla jednoduchá. Byly zobrazovány jednoduché 3D objekty. Jeho jméno je inspirováno jeho obrovským vzhledem. [46] [47]

Období prvního využití VR v praxi (1970 - 2000)

V daném období byla virtuální realita především aplikována v oblastech medicíny, letectví, automobilového průmyslu a vojenství. Mezi leteckými simulátory, například od společnosti General Electric, vynikaly částečně imerzivní VR systémy, kde školený pilot byl obklopen třemi obrazovkami uspořádanými do 180° kolem kokpitu. Již v roce 1978 na MIT vznikla hrubá virtuální mapa Aspeny, známá jako Aspec Movie Map, která umožňovala uživatelům prozkoumat ulice Aspeny ve třech různých režimech: léto, zima a abstraktní mnohoúhelníkový režim. [46] [47]

V počátcích 80. let byly vyvinuty první interaktivní systémy, jako například VIDEOPLACE, které umožňovaly sledování polohy uživatele v prostoru. Začátkem 80. let se objevily první HMD VR systémy, které byly využívány mimo laboratoře, a umožňovaly sledovat primitivní sekvence obrazů, simulujících virtuální zážitky. V tomto období byly také představeny klíčové "datové rukavice," jako například rukavice Sayre od vynálezců Daniela Sandina a Thomase DeFanti, které byly připojeny k počítačovému systému a využívaly optické senzory k detekci pohybu prstů. [47]

V průběhu 90. let vidíme rozmach projektů zaměřených na využití virtuální reality, ale komerční úspěchy zůstávají omezené. Společnosti jako SEGA a Nintendo se zapojily do soutěže ve vývoji herních arkádových simulátorů, avšak uživatelé si stěžovali na kvalitu, což znamenalo, že v tomto odvětví nebyl dosažen výrazný úspěch. [47]

21. století

V průběhu 21. století se virtuální realita stala předmětem rostoucích investic, přičemž některé systémy začaly pronikat do každodenního života. V roce 2001 se poprvé objevila kubická digitalizovaná místnost, známá jako projekt SAS Cube, která využívala technologii založenou na PC. S tímto projektem začaly vznikat nástroje pro

vývojáře umožňující tvorbu 3D modelů a prostředí, které nacházelo využití v SAS Cube i v VR headsetech. Dalším přínosem pro oblast VR byl příchod Google Street View v roce 2007, což byl systém umožňující zobrazení 360° náhledů ulic po celém světě, umožňující uživatelům procházet ulicemi virtuálně. [46] [47]

Od roku 2010 začaly velké firmy investovat do VR headsetů, které postupně vstupovaly na trh. Mezi první společnosti, které dosáhly úspěchu v oblasti VR headsetů, patří především Oculus, který byl následně zakoupen firmou Facebook (meta) v roce 2012, Samsung a HTC. V těchto letech se dostupnost VR pro veřejnost rozšířila i díky kartonovým brýlím, které za využití chytrého telefonu umožnily uživatelům za nízké náklady zažít virtuální realitu. V roce 2019 pak přišel bezdrátový Oculus Rift, který operuje samostatně bez nutnosti externího připojení k počítači, a představuje tak významný milník a slibný ukazatel pro budoucnost virtuální reality. [46] [47]

Budoucnost VR a AR

Podle chování významných technologických firem, jako jsou Meta a Apple, je zřejmé, že virtuální realita (VR) se stane důležitou součástí našich každodenních životů, podobně jako osobní počítače a mobilní telefony. Ve spojitosti s firmou meta se do povědomí lidí dostal koncept tzv. "metaverse", což je virtuální vesmír, kde se lidé mohou setkávat a vzájemně interagovat. Předchozím příkladem metaverse byl např. Second Life, který uživatelům umožňoval vytvářet avatary a prozkoumávat virtuální prostředí. [2] [46] [47]

Aktuálně je největší uplatnění VR a AR ve hrách a pravděpodobně ještě nějakou dobu zůstane nejoblíbenějším využitím. Nicméně očekává se, že se objeví mnoho dalších zajímavých aplikací, zejména ve vzdělávání, zdravotnictví, tréninku a v podnikání prostřednictvím virtuálních schůzek. V budoucnu se klade větší důraz i na rozvoj rozšířené reality (AR), která může efektivně doprovázet běžný život a neztrácet spojení s reálným světem. Očekávaný produkt Apple Vision Pro, který bude dostupný v USA od začátku roku 2024. Uvedení tohoto produktu vypadá velmi slibně, zejména kvůli jeho různorodým možnostem využití. Bude možné jej například využít při běžné práci pro zvýšení produktivity nebo při využití virtuálních PC obrazovek. S nadšením však současně vyvstávají i obavy ohledně soukromí, jelikož tento headset při používání neustále snímá celé okolí včetně očí, kterými lze ovládat některé operace místo tradičních ovladačů. [2] [46] [47]

Očekává se, že přicházející generace bude upřednostňovat život a práci v virtuálním prostoru před fyzickým světem, a bude do něj investovat svůj čas, peníze a úsilí. Lidé již projevují zájem o investice do virtuálních zemí a NFT. Virtuální realita se stane běžným pojmem a náhlavní soupravy budou běžným vybavením v

domácnostech či na pracovištích, podobně jako jsou dnes běžné chytré telefony. [2] [25]

1.3 Hardware VR

Po zbytek mé práce se budu věnovat výhradně imerzivnímu typu virtuální reality, neboť právě tento typ využívám ve svém experimentu.

Virtuální realitu v provedení HMD můžeme rozdělit na 2 elementární komponenty, které tvoří finální zážitek. Hardware virtuální reality a software virtuální reality. Hardware virtuální reality zahrnuje náhlavní soupravy VR, pohybové ovladače a popřípadě další fyzická vybavení k soupravě. Druhá zásadní součást je Software virtuální reality je komplexní platforma, která využívá počítačové vidění a 3D modelování k vytváření, přesouvání a klonování obrazů v digitálním prostředí. [25]

Náhlavní souprava VR

Nejčastějším provedením imerzivní VR je za použití náhlavní soupravy (VR headsetu), což je nositelné zařízení, které se upevňuje na hlavu, reagující na pohyb uživatele a na lidské smysly. Náhlavní soupravy se obvykle skládají z obrazovky, kamery, snímače pohybu a infračervené LED diody. Náhlavní souprava VR pracuje v synchronizaci se vstupními sledovači, jako jsou snímací rukavice, celotělové obleky, běžecké pásy, joysticky a sledovače pohybu, a vytváří tak výstup. [4] [25]

Náhlavní soupravu lze také připojit k dalšímu kabelovému počítači nebo chytrému telefonu a získat přístup k softwarové aplikaci VR. Náhlavní soupravy VR mohou být různých typů: drátové, bezdrátové, na bázi počítače nebo konzole. Skvělým příkladem bezdrátové náhlavní soupravy VR je Microsoft HoloLens. [4] [25]

Optická vybavení

Nejdůležitějším prostředkem pro prohloubení virtuální zážitku je jednoznačně optická vybavení v kombinaci se správným softwarem. Správný návrh a optimalizace optické vybavení je nezbytný pro celé fungování VR a zprostředkování realistického zážitku. [4] [25]

Objektivy a obrazovky

Headset VR má mezi vestavěnou obrazovkou LED zabudované stereoskopické čočky, které zkreslují obraz tak, že vypadá trojrozměrně a reálně. Náhlavní souprava tě-

mito čočkami propouští dva obrazy, pro každé oko jeden, podobně jako naše vidění. Infračervené kamery navíc přizpůsobují světlo akomodační síle uživatele. Obsah zobrazený na obrazovce se také mění podle toho, jak pohybujeme hlavou a navigujeme. [25]

Zpoždění a zorné pole (FOV)

Zpoždění a FOV jsou funkce, které poskytují virtuální informace skutečnému světu. Průměrný člověk vidí prostředí kolem sebe v oblouku zhruba 200 až 220° kolem své hlavy. Zorné pole levého a pravého oka se překrývá v úhlu 114°, což nám umožňuje vidět ve 3D. Generování 3D prostředí nad skutečným FOV uživatele závisí také na jeho fyzických pohybech. Zpoždění mezi pohybem uživatele a změnou zobrazení zařízení VR se nazývá latence VR nebo latence mezi koncovými body. [4] [25]

Dnešní náhlavní soupravy zkracují latenci a poskytují 114° 3D prostor pro okamžitý virtuální přechod, ale žádná náhlavní souprava neposkytuje nulovou latenci ani neobsáhne celý FOV průměrného člověka. V současné době konstruktéři VR hardwaru vytvářejí zařízení, která umožní 180° FOV a latenci 30 až 40 milisekund, což je ideální pro vysoce pohlcující zážitek. [4] [25]

Monokulární vs. binokulární FOV:

Monokulární zorné pole je otevřená pozorovatelná oblast, kterou člověk vidí očima nebo optickým zařízením, jako je fotoaparát. Je to maximální oblast, kterou může optické zařízení zachytit. Binokulární zorné pole se vztahuje k oblasti viditelnosti, kterou jedinec vidí oběma očima zároveň, a měří se ve stopách ze vzdálenosti 914.4 metrů (1000 yardů) od uživatele. Vypočítává šířku zorného pole, pokud byste jej měřili ze vzdálenosti 914.4 metrů (1000 yardů). Obvykle je binokulární zorné pole menší než monokulární. [25]

Snímková a obnovovací frekvence

Vnímání lidského oka je komplexní proces ovlivněný dvěma klíčovými faktory: snímkovou frekvencí a obnovovací frekvencí. Snímková frekvence označuje počet snímků za sekundu zobrazených na displeji, zatímco obnovovací frekvence udává počet opakování obnovy displeje za sekundu, vyjádřený v hertzech (Hz). Fyzikálně je lidské oko schopno vnímat až 1000 snímků za sekundu, ale mozek má omezenou schopnost zpracovat informace nad frekvencí 150 FPS, což může vést ke ztrátě informací. [25] [49]

Na rozdíl od klasických 2D displejů pro stolní počítače vyžadují virtuální realitní náhlavní soupravy (VR HMD) obvykle vyšší obnovovací frekvenci a rozlišení. Tato optimalizace je klíčová pro dosažení kvalitního uživatelského zážitku, zejména při minimalizaci nevolnosti známé jako "motion sickness" během simulací. Od počátků VR s HMD v devadesátých letech se neustále pracuje na zlepšení těchto parametrů, přičemž obnovovací frekvence stále roste. [25] [49]

V současné době se vývojáři snaží dosáhnout optimální obnovovací frekvence pro VR obsah, často kolem 90 Hz, což představuje kompromis mezi cenou a výkonem. Zkoumají se i další parametry, například rozlišení, kde studie doporučují minimálně 2K, aby se minimalizovalo riziko motion sickness. U snímkové frekvence se zdá, že optimální hranice je kolem 120 FPS, kdy uživatelé pocítují méně příznaků motion sickness bez ztráty celkového zážitku. Do budoucna se očekává, že vývojáři hardwaru VR budou směřovat k dosažení snímkové frekvence 120 FPS nebo vyšší, aby poskytli uživatelům ještě autentičtější zážitek. [25] [49]

3D prostorový zvuk

Dalším zásadním technickým aspektem VR je využití zvukových efektů, které mají za úkol uživateli představit pocit trojrozměrného prostoru. Ti, kteří již zažili dobře navržené imerzivní divadlo, jsou si vědomi, jak se zvuky mění v závislosti na tom, kde se v prostoru představení nacházejí. Moderní virtuální realita využívá technologii prostorového zvuku k vytvoření simulované zvukové krajiny, která co nejpřesněji odpovídá reálnému vnímání. Tento prostorový zvuk je nezbytný pro dosažení plnohodnotného virtuálního zážitku.

Důležité je zdůraznit, že náhlavní souprava VR musí zvládnout výpočet zvuku v reálném čase, aby se úspěšně synchronizovala s pohybem uživatele. Mnoho předních společností v oblasti VR využívá 3D zvukové efekty, aby poskytly uživatelům ještě pohlcující a realističtější zvukový zážitek. [25]

Sledování pohybu hlavy a polohy

Skutečný potenciál virtuální reality nespočívá pouze v přesvědčivosti obrazu a zvuku (i když tyto prvky jsou klíčové), ale v možnosti, že uživatelé mohou volně pohybovat ve virtuálním prostoru, který se dynamicky přizpůsobuje jejich fyzické poloze pomocí pohybových ovladačů. Právě tato schopnost odlišuje náhlavní soupravy VR od ostatních Head-Mounted Display (HMD) zařízení. [4] [25]

Tento proces se nazývá sledování pohybu hlavy a polohy. V náhlavních soupravách VR společnosti využívají dva hlavní typy sledování:

- Tři stupně volnosti (3DoF): Uživatel může sledovat pohyb pouze doleva, doprava, nahoru a dolů.
- Šest stupňů volnosti (6DoF): Uživatel může sledovat pohyb ve všech směrech v prostoru 360° a také se pohybovat po kruhových drahách. To zahrnuje náklon, převrácení, naklánění, pohyb doprava a doleva, vpřed a vzad, a nahoru a dolů. [4] [25]

VR platformy, jako například Google Daydream, využívají 3DoF, což umožňuje sledování pouze otáčení hlavy. Uživatel může otáčet hlavou doleva a doprava, pohled nahoru nebo dolů nebo naklánět hlavu na stranu, ale pohyb zbytek těla není zachycen. [4] [25]

Pohybové ovladače pro virtuální realitu

Pohybové ovladače ve virtuální realitě jsou speciálním typem hardwarové komponenty umožňující uživatelům provádět akce ve virtuálním prostředí pomocí přenosných zařízení. Tyto ovladače umožňují uživatelům pohybovat se v prostoru, zvedat a pokládat objekty, stoupat a klesat, a provádět další interaktivní činnosti. [4] [25]

1.4 Virtuální realita v medicíně

V posledních několika letech můžeme sledovat rychlý vývoj nejen v herním průmyslu a profesionálním sektoru, ale především i v medicíně. VR vstupuje do vzdělávacího sektoru s vysokou intenzitou, přičemž se zde objevují inovativní aplikace zaměřené na budoucí lékaře a chirurgy. Tyto aplikace nabízejí realistické simulace, které pomáhají výcviku a zdokonalování dovedností v chirurgii a diagnostice.

V této kapitole se zaměříme na konkrétní příklady využití VR v medicíně, abychom lépe porozuměli tomu, jak tato technologie přispívá k pokroku v různých odvětvích lékařství, rehabilitacích a výzkumu. Prozkoumáme, jak VR posiluje výuku, zlepšuje chirurgické postupy a přináší inovace do diagnostických procesů. Tímto způsobem si odhalíme širokou škálu výhod, které virtuální realita přináší do moderního zdravotnictví. [12]

Vzdělávací aplikace

Jedno z nejzajímavějších využití VR v budoucnosti jsou trénovací a vzdělávací aplikace. Aplikace tohoto charakteru lze využít např. pro simulace reflektující lidské tělo, kde medicíci mohou zdokonalovat své dovednosti za poměrně malé peníze (při stále dostupnějším thru) ve srovnání s trénikem např. na pitevnách. [12]

Jedním ze zajímavých aktuálních příkladů takových aplikací je "Physical Hearth Model", což je aplikace představující 3D model srdce. Uživatelé v této aplikaci vidí srdce volně se vznášet v prostoru, mohou s ním manipulovat, otáčet a dokonce mohou analyzovat řezy srdcem v závislosti na orientaci vůči tkáním. Na tomto virtuálním modelu byly prováděny testy pro porovnání s tradičními fyzickými modely, které se běžně používaly na lékařských fakultách. Potvrdilo se, že virtuální modely lépe naučily mediky rozeznávat jednotlivé charakteristiky srdce než tomu bylo u tradičních modelů. Ve virtuálních prostředích tohoto typu lze simulovat každodenní situace, kterým musejí lékaři při jejich praxi čelit, a lze je náležitě zautomatizovat. [1] [12]

Zde jsou příklady dalších vzdělávacích aplikací:

- **Life Support** - Aplikace ve které lze simulovat a trénovat pokročilé metody resuscitace. Obsahuje situace, kdy je nutno zasáhnout v situacích, kde došlo u pacienta k zástavě dechu, srdeční zástavě, šoku nebo k jiným akutním stavům pacienta. [44]
- **Simulátory pro Zdravotní sestry** - V těchto virtuálních prostředí se replikují prostory nemocnice, které jsou plné pacientů s rodinými příslušníky, zdravotního personálu a různými situacemi, které se běžně vyskytují v praxi. [17]
- **Simodont Dental Trainer** - Simulátor navržen pro studenty zubařství, kde mohou trénovat vytvoření zubní korunky. Tento simulátor je díky jeho možnostem mnohem lepší než fyzické modely. [48]
- **VRmagic** - Chirurgický simulátor s pokročilými funkcemi, ve kterém je možné zdokonalovat psychomotorické dovednosti a k rozvíjení mikrochirurgického povědomí potřebné při zákrocích. [34]
- **Anatomické simulátory** - Existuje hned několik anatomických simulátorů, které mají využití jak v medicíně, tak i ve veterinářství

Rehabilitace motorických schopností

Pohybová rehabilitace je stále vyvíjející se odvětví, které přináší mnohé inovace. I tady je možné využívat VR. Jednou ze skupin, u které je možné využít VR pro rehabilitaci např. horních končetin jsou pacienti po mozkové mrtvici. Objevují se četné studie potvrzující slibnou účinnost terapie pomocí VR u těchto pacientů. [29]

Dalším příkladem využití VR v pohybové rehabilitaci je podpora rozvoje a obnovy rovnováhy u pacientů s poruchou chůze, vyvolanou například úrazem lebky nebo diagnostikovanou u pacientů s Parkinsonovou chorobou. Tato forma rehabilitace je zvláště zaměřena na neurologické případy a využívá VR prostředí k simulaci specifických terapeutických situací, které posilují postižené motorické dovednosti. V tomto kontextu se virtuální realita stává perspektivním nástrojem při rehabilitaci,

nabízejícím personalizovaný a efektivní přístup k obnovení pohybového aparátu u pacientů s různými neurologickými diagnózami. Více jak 90 různých studií potvrzuje, že užívání VR zlepšuje rovnováhu a chůzi, a to především v kombinaci s klasickou rehabilitací. [12] [14]

Využití Microsoft Hololens pro rehabilitaci: Pro pacienty po amputaci přináší inovativní řešení v podobě VR brýlí Microsoft Hololens zajímavou možnost rehabilitace. Virtuální prostředí, které tyto brýle nabízejí, umožňuje pacientům aktivně rozvíjet dovednosti ovládnání amputované ruky. V tomto simulovaném světě mají pacienti možnost samostatně trénovat interakce s různými objekty, přičemž získávají realistický pocit prostřednictvím napodobení senzací, které by zažívali při používání protézy. Tato inovace otevírá nové perspektivy v rehabilitaci, poskytující pacientům efektivní prostředek k zlepšení kontroly a funkčnosti jejich amputované končetiny. [37]

Zubařství

Zubařské technologie založené na IT a digitálních technologiích udělaly obrovský pokrok za posledních let. Objevují se aplikace, které využívají jak VR, tak i AR.

Nečekaným, avšak stále častěji využívaným příkladem aplikace VR je zdokonalení zážitku u zubaře za účelem potlačení úzkostných a stresujících stavů při zákrocích. Naopak, v případě AR si lze představit její využití jako nástroj při zákrocích, kde mohou ve volného prostoru vyskakovat okna s nezbytnými informacemi pro daný zákrok (stejně tak se může praktikovat v chirurgii). [3]

Zde jsou příklady populárních aplikací v zubařství:

- **Periopsim** - VR simulátor umožňuje studentům zubařství využívat různé animované 3D modely zubních nástrojů v haptickém virtuálním prostředí, což zlepšuje identifikaci a hodnocení zubního kazu nebo parodontálních poruch. Tento přístup zároveň přináší úspory na fyzickém materiálu. S Periopsim mohou studenti snadno přistupovat k softwaru prostřednictvím internetu, kde učitelé mohou vkládat dentální zákroky a vyšetření. Odborníci však identifikovali nedostatky v tomto modelu, zejména v oblasti reprezentace reálných zákroků a simulace orálních struktur, které je potřeba ještě vylepšit.
- **DentSim** - Tento software využívá AR pro simulaci zubařských zákroků, kde se využívá dvou počítačů. Jeden ze dvou počítačů snímá simulovaná ústa pacienta pomocí infračerveného senzoru. Výukový program pro hodnocení studentské práce je nainstalován na druhém počítači. Tato aplikace je konfigurována k posuzování studentských výkonů z hlediska jak kritických chyb, tak i celkové kvality. Studenti mají přístup k tomuto nástroji pro vizualizaci svých

přípravků na obrazovce počítače a současně mohou pracovat na modelových plastických zubech.

- **Simodont Dental Trainer** - Viz kapitola vzdělávací aplikace
- **Voxel-Man a IDEA a další**

[3] [12]

Léčba stresových poruch

Virtuální realita nachází uplatnění i v oblasti profesionální psychoterapie, zejména v rámci kognitivně-behaviorální terapie. Tato forma terapie je účinná při léčbě pacientů trpících úzkostnými poruchami, fobiemi a posttraumatickými poruchami. Sociální fobie, zasahující přibližně 7-9 % populace, patří mezi časté typy fobií, na něž se zaměřuje virtuální realita v kombinaci s kognitivně-behaviorální terapií a biologickou zpětnou vazbou. [12]

Populární metodou léčby stresových a úzkostlivých poruch, jako jsou Posttraumatická stresová porucha (psychická reakce na traumatickou událost s následným stresem), panická porucha, Obsedantně-kompulzivní porucha (neurotická porucha s opakovanými myšlenkami a rituály) nebo různé fobie, je expoziční terapie. V našem případě se zaměřujeme na expoziční terapii pomocí virtuální reality, známé též jako VRET (Virtual reality exposure therapy). Tato metoda přináší celou řadu výhod v porovnání s klasickými terapiemi, včetně možnosti kontrolovat okolnosti, rychlého vystoupení ze situace a širokého spektra různých simulací z pohodlí domova. [39]

Jeden z konceptů využívaných v rámci VRET je systémová desenzibilizace. Tato metoda spočívá v postupném vystavování pacientů situacím, které vyvolávají neurotickou úzkost, a následném dosažení psychologické relaxace. Systémová desenzibilizace je široce využívána v klinické psychologii, včetně pomoci pacientům překonat specifické fobie. V případě VRET se pacient ponoří do virtuální reality pomocí vizuálních, zvukových a hmatových stimulů, které mají za cíl vyvolat mírný strach. V porovnání s tradiční kognitivně-behaviorální terapií (CBT) je tento přístup stejně účinný, ba dokonce, podle dalších studií, ještě účinnější. [35] [39]

Existuje celá řada fobií, pro které má VRET svoje využití. Aplikovatelnost na ně je poměrně snadná a je možné sehnat i běžně dostupně VR hry, které obsahují simulace srovnatelné se simulacemi, které se běžně vyskytují v odborných studiích. [39]

Příklady běžných oblastí, kde lze využít Virtuální Realitu v Expoziční Terapii (VRET):

- **Úzkostné poruchy:** VRET vystavuje jedince specifickým spouštěčům v kontrolovaném virtuálním prostředí, což jim pomáhá překonat senzitivitu vůči situacím vyvolávajícím úzkost a snižuje celkovou úroveň úzkosti.

- **strach z výšky - akrofobie:** VRET umožňuje jednotlivcům postupně čelit strachu z výšek v kontrolovaném virtuálním prostředí. Poskytuje jim zpětnou vazbu v reálném čase a podporu, což jim pomáhá překonat úzkost spojenou s výškami.
- **Mluvení na veřejnosti - glosfobie:** Při VRET jsou nabízeny simulace, kde jednotlivci mohou procvičovat a zdokonalovat své dovednosti veřejného vystupování. Postupně se díky vystavování situacím snižuje úzkost a podporuje budování sebedůvěry před virtuálním publikem.
- **Posttraumatická stresová porucha:** Léčba pomocí VRET představuje slibnou metodu pro PTSD. Rekonstrukce traumatických událostí v kontrolovaném virtuálním prostředí umožňuje jednotlivcům zpracovat své traumatické zážitky v bezpečném a podpůrném prostředí. Expoziční terapie ve virtuální realitě může pomoci snížit vtíravé myšlenky, flashbacky a další příznaky spojené s PTSD. První klinické studie byly provedeny na amerických vojácích bojujících ve Vietnamu.¹
- **Závislost a zneužívání návykových látek:** Využitím VR k simulaci lákových prostředí nebo situací se VRET stává užitečným nástrojem pro trénink odmítání a rozvoj zvládacích mechanismů. Tímto způsobem jednotlivci trénují strategie na odolání spouštěčům a potřebám spojeným se závislostí.

[10]

1.5 Virtuální realita a stres: Hodnocení vlivu VR na fyziologii stresové reakce

Téma hodnocení vlivu VR na fyziologii stresové reakce ve spojitosti s VR se v řadě odborných diskusí a výzkumných studií objevuje zcela běžně. Odborníci se zaměřují na identifikaci a hodnocení efektů, které virtuální realita vyvolává v kontextu stresové odpovědi. Studie prováděné v této oblasti přinášejí podrobné pohledy na to, jak interakce s virtuálním prostředím může ovlivňovat fyziologické, behaviorální a emoční aspekty lidského stresového reakce.

V této části se budu věnovat aktuálním odborným přístupům k posuzování vlivů virtuální reality na vyvolávání stresových reakcí. Představím relevantní studie a články, které se tímto tématem zabývají, a vysvětlím, jak získané poznatky mohou obohatit oblasti jako zdravotnictví, vojenský výcvik, psychoterapie a další odvětví.

¹pozn. Deep VR - oblíbená relaxační aplikace využívaná u pacientů s psychologickými poruchami, jako jsou PTSD, nebo i u onkologických pacientů

Individuální tolerance výšky a její vliv na reakci na simulovanou výšku

Přibližně 30 % populace trpí vizuální nesnášenlivostí výšky, což způsobuje řadu nežádoucích účinků na chování jedince a zhoršuje celkovou kvalitu života. Vystavení výšce se těchto osob obvykle projevuje úzkost, závrať, nestabilita, posturální nerovnováha a nejistota při chůzi, vnitřní neklid, zrychlený tep, pocení a třes. Bylo prokázáno, že výška představuje přirozenou hrozbu, přičemž se jedná o stresor, který vyvolává aktivaci sympatického autonomního nervového systému (ANS), což se projevuje zvýšením elektrodermálních, kardiovaskulárních a/nebo neuroendokrinních markerů. [12] [21]

I přes důležité poznatky, které studie přináší, se vyskytují četné nekonzistentní výsledky potřebující vysvětlení. Obecně se předpokládá, že VR simulace výšky bude způsobovat zvýšení tepové frekvence a EDA, ale v některých studiích takhle skutečnost zaznaménána nebyla. Stejně rozporuplné výsledky se objevují u hodnocení posturální rovnováhy, a to dokonce i u lidí uvádějící vizuální nesnášenlivost výšky. To do diskuze přináší pochybnosti o účinnosti VR simulací jako dostatečný stresor. [12] [21]

Podle poznatků Huppert a kol. (2020) je zásadní se na celé hodnocení stresové reakce dívat komplexně, přičemž je nutno zahrnout psychologické, autonomní a posturální ukazatele. Bzdúšková a spol. šli této skutečnosti naproti tím, že rozdělili účastníky výzkumu na dvě skupiny, a to na jedince se s vysokým strachem z výšky a s nízkým strachem z výšky. Použili robustní míry asociace k analýze vztahu psychologických a fyziologických proměnných, aby lépe pochopili složitost a povahu účinků vyvolaných vystavením virtuální výšce. [12] [21]

Obvyklé návrhy metod

V oblasti simulace výšky a aplikace stresoru bylo v průběhu poslední dekády navrženo několik zajímavých metod testujících reakci organismu. Následující část se zaměří na představení a popis několika významných návrhů metod, které byly provedeny pro výzkum hodnocení stresových reakcí.

- **Bzdúšková a spol. 2022 [9]** - Studie byla provedena pomocí smíšeného faktorového experimentálního designu, což zahrnuje zkoumání vlivu více nezávislých faktorů na závislou proměnnou a současně sledování těchto efektů v průběhu času nebo v různých skupinách účastníků. U každého účastníka byl experiment proveden pouze jednou.

Před samotným experimentem proběhl krátký úvodní pohovor, během kterého byla získána základní demografická data a byl vysvětlen průběh experimentu. Samotný experiment se skládal z pěti fází, které následovaly toto pořadí: stanovení klidových hodnot, vystavení účastníků různým výškám (0 m, 20 m a 40 m) a závěrečná zotavovací fáze. Během první a poslední fáze byli účastníci výzkumu sami v místnosti a byla jim přehrávána relaxační scéna ve virtuální realitě (10 minut). V každé výšce se museli rozhlédnout ve virtuálním prostředí po dobu minimálně 3 minut. Ve všech 5ti fázích byla kromě fyziologických měření také shromažďována data týkající se subjektivně pocívaného stresu (pomocí dotazníku). Dále byla shromažďována data z tlakové plošiny, ale pouze ve fázích vystavování se virtuální výšce.

Shromažďovány byly fyziologická data: EDA, tepová frekvence a periferní tělesná teplota. [9]

- **Gromer a spol. 2018 [19]** - V této studii jsme využili odlišný typ imerzivní virtuální reality, který jsem dosud nezmiňoval, a to tzv. CAVE (Cave Automatic Virtual Environment). CAVE obvykle představuje místnost krychlovitého tvaru, na jejíchž stěnách je promítán 3D obraz. Tento CAVE systém mohl být realizován ve čtyřstranném provedení (s projekcí na tři stěny a podlahu) nebo v pětistranném provedení (s projekcí na čtyři stěny a podlahu), a právě tento pětistranný formát byl v této studii použit.

Účastníci byly rozděleni do čtyř skupin podle vzorce 2 x 2, kde první podmínka představovala míru úzkosti z výšky (vysoká x nízká) a druhá podmínka použití simulovaného větru pomocí ventilátoru (zapnutý x vypnutý). Po poskytnutí informovaného souhlasu a vyplnění dotazníků vstoupili účastníci do CAVE, kde absolvovali trénink v neutrálním prostředí (navyknutí na VR a její navigaci) a poté čelili úkolům ve virtuálním horském prostředí s rozhlednou. Nejprve účastníci vylezli na rozhlednu tak vysoko, jak se jim líbilo, přičemž stisknutím tlačítka na gamepadu dali najevo, že nechtějí jít výš (behaviorální vyhýbavý test, BAT). Následovala série pokusů, při nichž byli účastníci teleportováni na jednotlivé úrovně rozhledny a hodnotili strach, nebezpečnost a závrať (subjektivní míry strachu). Poslední úkol spočíval v přiblížení se k zábradlí na plošině nejvyšší úrovně věže. Účastníci se opět mohli rozhodnout, jak blízko se k zábradlí přiblíží (behaviorální míra strachu). Po opuštění CAVE účastníci vyplnili další sadu dotazníků (STAI State, SSQ a IPQ). [19]

- **Peterson a spol. 2018 [30]** - Studie byla prováděna na dřevěné kladině o šířce 3,8 cm, výšce 2,5 cm a délce 3,05 metru. Před zahájením studie byly všichni účastníci (celkem 19) prověřeni, jestli netrpí strachem z výšky nebo

jestli nazažívají nevolnost z virtuální reality, což se ověřilo ve odděleném sezení ve VR. Zajištěna byla i vzájemná podobnost všech účastníků výzkumu. Po kladině se chodilo po každé ze stejného místa za stejných podmínek. Subjekty prováděly stejný fyzický úkol chůze po paprsku za 3 podmínek sledování: bez virtuální reality nízká intenzita stresoru, virtuální realita nízká intenzita stresoru a virtuální realita vysoká intenzita stresoru (i.s.). Nezměněný pohled (bez VR) nízká i.s. zahrnoval normální okolí laboratoře bez virtuální reality. V případě virtuální reality nízká i.s. a virtuální reality vysoké i.s. měly subjekty na hlavě náhlavní soupravu Oculus pro virtuální realitu. Subjekty se ve virtuální realitě nízké i.s. dívaly 2,5 cm nad zemí, což odpovídalo výšce balančního paprsku v reálném světě, a ve virtuální realitě high 15 metrů nad zemí. Pro zvýšení účinků ve virtuální realitě vysoká i.s. subjekty "spadly" ve virtuálním prostředí o 15 metrů, když vystoupily z kladiny.

Shromažďovány byly fyziologická data: HRV, tepová frekvence, EDA, rychlost chůze a EEG [30]

2 Měření fyziologických parametrů

Pro mojí práci jsem si vybral několik fyziologických parametrů, podle kterých budu hodnotit stresovou reakci organismu na simulace indukované ve VR. Fyziologické parametry jsem vybíral podle možností technické výbavy fakulty a podle charakteru experimentu. Parametry EKG, PZT a EDA budou snímána prostřednictvím sady Biosignals PLUX.

V této kapitole popíšu a vysvětlím specifikace jednotlivých měřících metod, které budu využívat v moji práci. Jedná se o zjednošený a shrnutý popis všech metod.

2.1 EKG

Elektrokardiografie, používaná v medicíně více než sto let, představuje nejstarší elektrodiagnostickou metodu. Je postavena na elektrofyziologických poznatcích týkajících se chování svaloviny srdce během jeho činnosti. Během srdečního rytmu prochází srdce čtyřmi fázemi změn membránového napětí: polarizací, depolarizací, transpolarizací a repolarizací. Zjednodušeně řečeno, elektrokardiogram (EKG) zachycuje napěťové změny generované srdečním svalem nebo převodním systémem srdce. [27]

Svody se rozlišují podle své polohy na hrudní a končetinové svody. Můžeme je též doplnit nebo nahradit speciálními modifikacemi, například snímáním z jícnu nebo nitrosrdečním snímáním pomocí katetru. Pro optimální záznam je třeba připravit kůži pro povrchové měření odmastěním a aplikací EKG gelu pro zvýšení vodivosti a lepší kontakt mezi kůží a elektrodou. Končetinové elektrody jsou umístěny na zápěstí levé a pravé paže (LA a RA) a na dolní části levé končetiny (LL), aby tvořily tzv. Einthovenův trojúhelník, v němž je srdce přibližně uprostřed. Na pravou končetinu se dále umísťuje zemní svorka, obvykle černé barvy. Princip spočívá ve snímání změn elementárních dipolových vektorů vzniklých v buňkách srdeční svaloviny při depolarizaci a repolarizaci. Tyto vektory se sumují v čase i prostoru, a výsledkem je směr dipólového vektoru ve frontální rovině. U hrudních svodů se nejčastěji umísťuje šest elektrod na hrudník od pravého okraje sternu až po levou podpažní jamku v oblasti srdce. Tyto svody jsou označeny jako V_1 až V_6 . Výsledný dipólový vektor leží v horizontální rovině. [27]

Dalším rozlišením svodů je na bipolární a unipolární. Bipolární svody měří potenciálový rozdíl mezi dvěma elektrodami, například u bipolárních končetinových svodů: I mezi RA a LA, II mezi RA a LL a III mezi LA a LL. Unipolární svody jsou dány potenciálovým rozdílem mezi aktivní a indierentní elektrodou. Indierentní elektroda je Wilsonova svorka, která vzniká spojením tří aktivních končetinových bodů do jednoho bodu. Končetinové unipolární svody jsou známé jako VR, VL a

VF, avšak méně běžně používané. Namísto nich jsou preferovány modifikace nazývané Goldbergovy unipolární končetinové svody (neboli augmentované) aVR, aVL a aVF. [27]

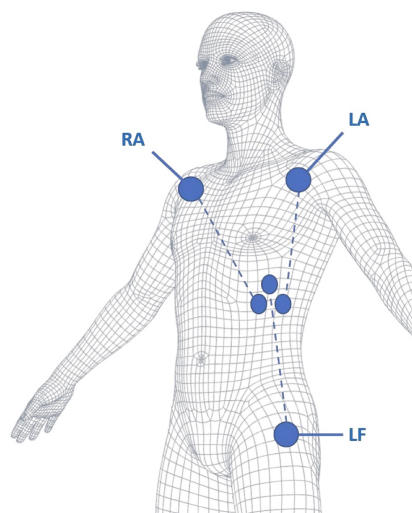
Nejběžnějším typem EKG je dvanáctisvodové EKG, zahrnující:

- 3 bipolární končetinové svody (I, II, III)
- 3 unipolární končetinové svody (aVR, aVL, aVF)
- 6 unipolární hrudní svody ($V_1 - V_6$)

V klinické praxi se hodnotí grafický záznam, zejména tvar křivek tvořených P vlnou (depolarizace síní), QRS komplexem (depolarizace komor s překryvem manifestace repolarizace) a T vlnou. Dále se posuzují časové intervaly (PR, ST, QT, RR atd.), průběhy vln, amplitudy a orientace (pozitivní/negativní). [27]

EKG měření sadou Biosignals PLUX

Při provádění měření využíváme snímač EKG se třemi lokálně umístěnými elektrodami z řady Biosignals PLUX. Tato sada umožňuje rychlou a nenápadnou aplikaci v nízkošumové konfiguraci. Snímač lze efektivně použít k extrakci údajů o srdeční frekvenci a dalších EKG funkcích, což jej činí vhodným pro výzkumné účely v oblasti biomedicíny, biofeedbacku, psychofyziologie, sportu a dalších odvětvích. Snímač je tvořený třemi elektrodami s různým barevným označením – červenou (kladnou), černou (zápornou) a bílou (referenční), určené pro záznam jednosvodového EKG ve standardních Einthovenových konfiguracích. EKG snímače od Biosignals PLUX přichází se dlouhými a krátkými kabely.[16]

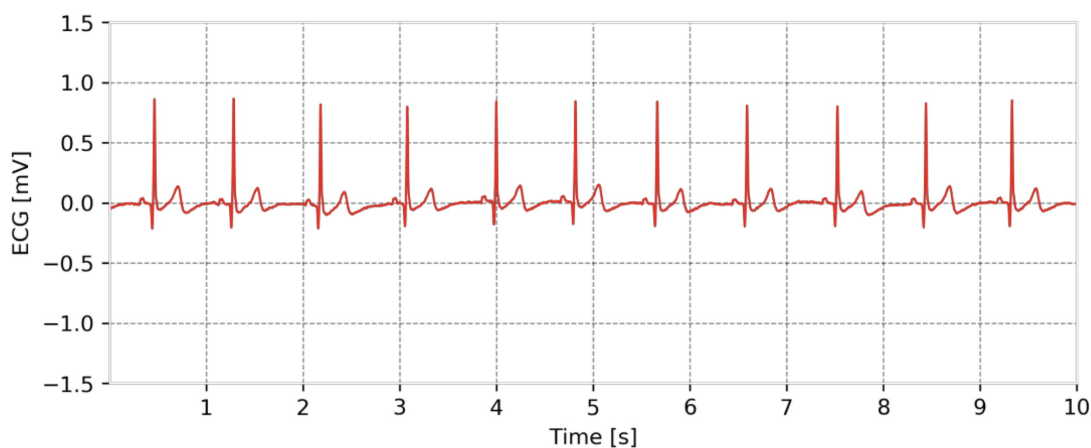


Obr. 2.1: Vzorové umístění elektrod snímače EKG ze sady Biosignals PLUX. [16]

Tab. 2.1: Konfigurace svodů při napojování elektrod. [16]

svod	Pozitivní elektroda (+)(červená)	Negativní elektroda (-)(černá)	Referenční elektroda (bílá)
I	LA	RA	LF
II	LF	RA	LA
III	LF	LA	RA

Elektrody budou umístěny podle ilustrace na obrázku 2.1. Při měření využijeme snímač s krátkými kabely, jehož elektrody lze přizpůsobit a použít jako svody I, II a III podle Einthovena, podle aktuální potřeby. Konfiguraci docílíme vhodným napojením kabelů snímače na umístěné elektrody viz tabulka 2.1. [16]



Obr. 2.2: Ukázka vzorového záznamu z jednoho svodu EKG snímače. [16]

Parametry variability srdeční frekvence (HRV)

Zde je přehled použitých parametrů pro HRV analýzu v časové a frekvenční oblasti ve výzkumném projektu a jejich stručné vysvětlení. U každého parametru je naznačeno, co signalizuje zvýšení či snížení této hodnoty.

- **Tepová frekvence (BPM)**
 - **Význam:** Počet úderů srdce za minutu.
 - **Zvýšení:** Může signalizovat stres, fyzickou aktivitu nebo úzkost.
 - **Snížení:** Obvykle značí klidový stav nebo vysokou fyzickou kondici.
 - **Normální rozsah:** 60-100 BPM v klidu.
- **SDNN (Standard Deviation of NN intervals)**
 - **Význam:** Standardní odchylka intervalů mezi po sobě jdoucími normálními srdečními údery.

- **Zvýšení:** Indikuje vyšší variabilitu srdeční frekvence, což je obecně zdravé.
- **Snížení:** Může signalizovat stres nebo autonomní dysfunkci.
- **Normální rozsah (v klidu):** Více než 100 ms je zdravé, 50-100 ms je kompromitované zdraví, méně než 50 ms je nezdravé.
- **NN50**
 - **Význam:** Počet po sobě jdoucích NN intervalů, které se liší o více než 50 ms.
 - **Zvýšení:** Vyšší parasympatická aktivita.
 - **Snížení:** Vyšší stres nebo snížená parasympatická aktivita.
 - **Normální rozsah:** Závisí na věku a stavu, obvykle vyšší u zdravých jedinců.
- **pNN50**
 - **Význam:** Procento NN intervalů, které se liší o více než 50 ms.
 - **Zvýšení:** Vyšší parasympatická aktivita.
 - **Snížení:** Vyšší stres nebo snížená parasympatická aktivita.
 - **Normální rozsah:** Obvykle vyšší u zdravých jedinců.
- **VLF (Very Low Frequency)**
 - **Význam:** Výkon v pásmu velmi nízkých frekvencí (0.0033–0.04 Hz).
 - **Zvýšení:** Zdravé autonomní fungování.
 - **Snížení:** Vyšší riziko úmrtnosti a souvisejících zdravotních problémů.
- **LF (Low Frequency)**
 - **Význam:** Výkon v pásmu nízkých frekvencí (0.04–0.15 Hz).
 - **Zvýšení:** Vyšší sympatická aktivita nebo parasympatická aktivita.
 - **Snížení:** Nízká autonomní reaktivita.
 - **Běžný rozsah:** 150 - 1000 ms^2 (Závisí na kontextu měření - krátkodobé nebo dlouhodobé).
- **HF (High Frequency)**
 - **Význam:** Výkon v pásmu vysokých frekvencí (0.15–0.4 Hz).
 - **Zvýšení:** Vyšší parasympatická aktivita.
 - **Snížení:** Vyšší stres nebo sympatická dominance.
 - **Běžný rozsah:** 100 - 3500 ms^2 (Závisí na kontextu měření - krátkodobé nebo dlouhodobé).
- **LF/HF poměr**
 - **Význam:** Poměr výkonu mezi LF a HF pásmem.
 - **Zvýšení:** Sympatická dominance, stres nebo parasympatické vyčerpání.
 - **Snížení:** Parasympatická dominance, klidový stav.
 - **Běžný rozsah:** 1 - 10 ms^2 .
- **Poincarého mapa**
 - **Význam:** Grafické znázornění vztahu mezi po sobě jdoucími RR inter-

valy.

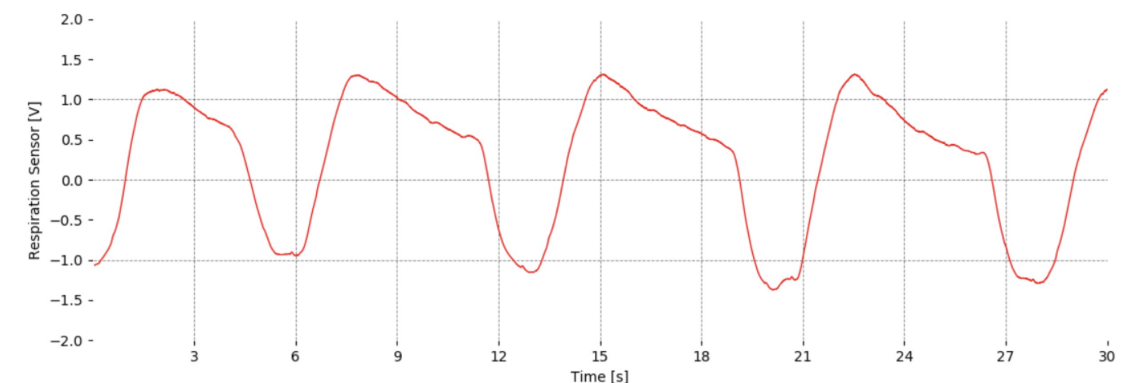
- **Zvýšení (rozptylu):** Vyšší HRV, zdravější autonomní fungování.
- **Snížení (rozptylu):** Nižší HRV, potenciální stres nebo autonomní dysfunkce.
- **SD1**
 - **Význam:** Krátkodobá variabilita v Poincarého mapě.
 - **Zvýšení:** Vyšší parasympatická aktivita.
 - **Snížení:** Vyšší stres nebo sympatická dominance.
- **SD2**
 - **Význam:** Dlouhodobá variabilita v Poincarého mapě.
 - **Zvýšení:** Vyšší celková HRV.
 - **Snížení:** Snížená HRV, vyšší riziko zdravotních problémů.
- **SD1/SD2 poměr**
 - **Význam:** Poměr krátkodobé a dlouhodobé variability.
 - **Zvýšení:** Vyšší parasympatická aktivita.
 - **Snížení:** Vyšší sympatická aktivita nebo stres.

[36]

2.2 Piezoelektrický Dýchací senzor (PZT)

Piezoelektrický jev je vznik elektrického potenciálu po stranách krystalu, když jej vystavíte mechanickému napětí (např. stlačením). Tento jev se vyskytuje pouze u krystalů, které nemají střed symetrie. Stlačením těchto krystalů, jako je například křemen, dochází k generování elektrického napětí. Totéž platí i naopak (nepřímý piezoelektrický jev), když se krystaly nachází v elektrickém poli, tak mají tendenci se samy zmáčknout, vibrovat nebo případně kmitat. Princip piezoelektrického jevu spočívá v tom, že krystaly jsou za normálních podmínek přesně vyvážené, i když jejich uspořádání není symetrické. Vlivem této vyváženosti se účinky nábojů přesně vyruší a na plochách krystalu nezůstane žádný čistý náboj. Konkrétněji řečeno, elektrické dipólové momenty, což jsou vektorové čáry oddělující opačné náboje, se vzájemně přesně ruší. V momentě, kdy krystal následně stlačíme, tak se náboje se vyvedou z rovnováhy. Nyní se účinky nábojů (jejich dipólové momenty) již vzájemně neruší a na protilehlých plochách krystalu se objeví čisté kladné a záporné náboje. Stlačením krystalu tak vzniká napětí na jeho protilehlých plochách. [50]

Piezoelektrický senzor dýchání (PZT) od značky biosignalsplux je snímač skládající se z nositelného hrudního pásu s integrovaným snímacím prvkem, který měří změny posunutí způsobené objemovými změnami hrudníku nebo břicha během dechových cyklů (nádech/výdech). To z něj dělá snímací zařízení pro základní sběr dat



Obr. 2.3: Ukázka vzorového klidového měření z piezoelektrického dýchacího senzoru (nefiltrováno). [31]

o dýchání. Výsledkem záznamu z tohoto zařízení je dechová křivka ve voltech. [31] [50]

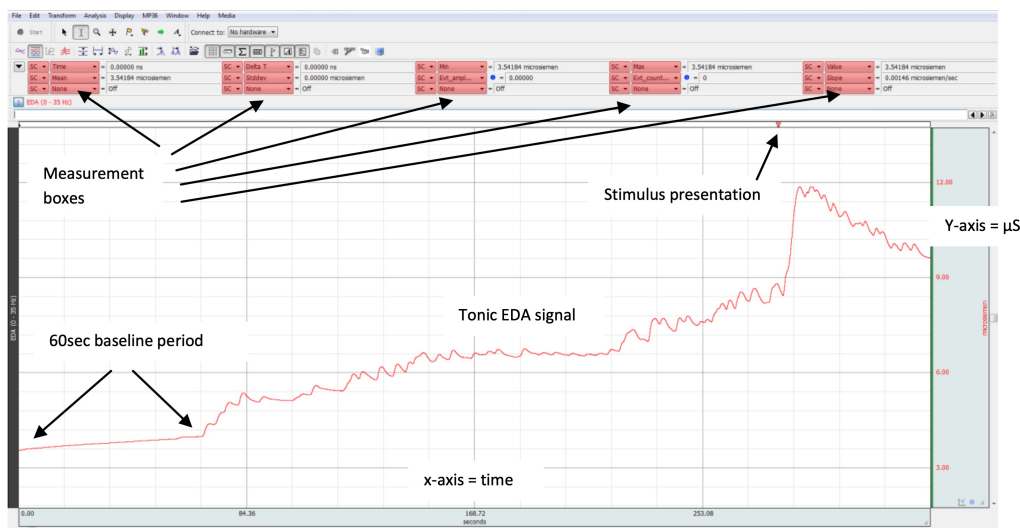
2.3 Měření EDA

Elektrodermální aktivita (EDA) je obecný termín používaný k popisu autonomních změn v elektrických vlastnostech kůže. Nejčastěji studovanou vlastností, kterou lze kvantifikovat přiložením elektrického potenciálu mezi dvěma kontaktními body, je vodivost kůže, což umožňuje měření výsledného proudu mezi nimi. [8]

První složka EDA pohybující se na tonické úrovni se vztahuje k pomaleji působícím složkám a charakteristikám pozadí signálu, jako je celková úroveň, pomalé stoupání a poklesy v čase. Nejběžnějším měřítkem této složky je SCL, což znamená úroveň kožní vodivosti. Změny v SCL se předpokládají odrážet obecné změny autonomního vzrušení. [8]

Druhou složkou je fázická složka, která se týká rychleji se měnící odezvy kožní vodivosti, známé jako SCR (Skin Conductance Response). Nedávné důkazy naznačují, že obě složky jsou důležité a mohou se opírat o různé nervové mechanismy. Je však důležité si uvědomit, že i když se obvykle věnuje největší pozornost fázovému SCR, představuje pouze malou část celkového EDA komplexu. [8]

EDA je pravděpodobně nejužitečnějším indikátorem změn v sympatickém vzrušení, který lze sledovat v souvislosti s emocionálními a kognitivními stavy. Je jedinou autonomní psychofyziologickou proměnnou, která není kontaminována parasympatickou aktivitou. EDA je těsně spojena s autonomním emočním a kognitivním zpracováním a široce se využívá jako citlivý ukazatel emočního zpracování a sympatické aktivity. [8]

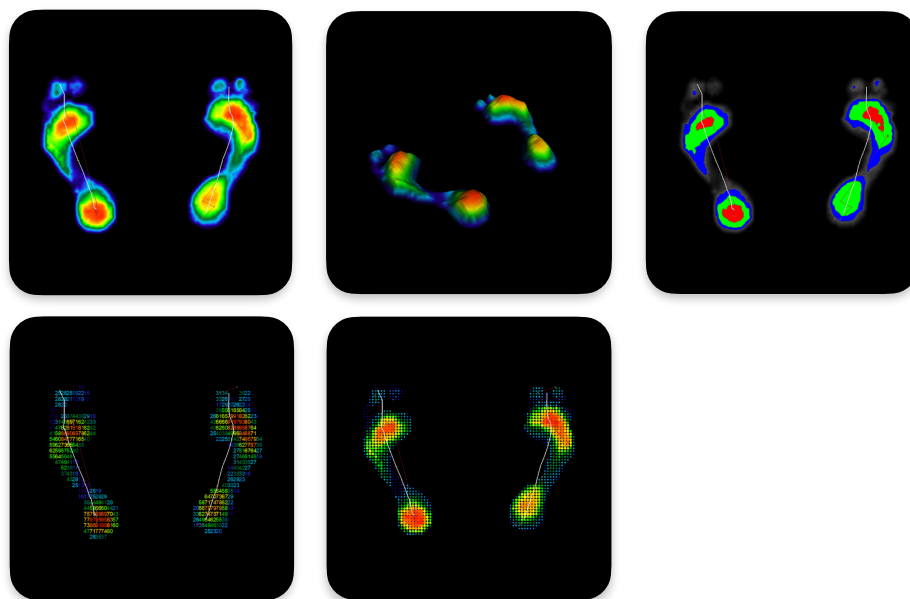


Obr. 2.4: Ukázka vzorového EDA měření s klíčovými popisy událostí. [8]

2.4 Tlaková plošina

Měření na tlakové plošině je založeno na metodách baropodometrie nebo pedobarografie, které slouží k posouzení rozložení zátěže na těle při stání a chůzi. Toto zařízení poskytuje informace o tlakovém působení na chodidlo a prostřednictvím softwarové analýzy vytváří obraz podobný podoskopu. Tato metoda se využívá nejen k diagnostice různých onemocnění, ale také k optimalizaci výkonu sportovců a ve fyzioterapii. Mezi nemoci, u nichž lze tlakovou plošinu využít, patří například oční tortikolis, Hansenova choroba, mozková mrtvice, parkinsonismus, obezita, temporomandibulární onemocnění a další. Celkově lze hovořit o prevenci úrazů spojených s nesprávným držením těla. [5]

Tlaková plošina typu FreeMed od společnosti Sensor Medica, která bude použita při měření, umožňuje provádět statické, dynamické, stabilometrické a videografické analýzy pacientů. Každá z těchto analýz má své specifické využití a může být aplikována při diagnostice různých onemocnění. Celý záznam je spuštěn a analyzován v programu freeStep, který poskytuje rozsáhlé možnosti zobrazení, výpočtů a vizualizace statistických dat. [18]



Obr. 2.5: Ukázka výstupu záznamu v různých zobrazení (od levého horního rohu): vysoké rozlišení, 3D, tlakové vrstvy, numericky a body

Sensor medica nabízí celkem 6 variant provedení tlakové plošiny:

- Base 40 x 40 cm
- Maxi 60 x 50 cm
- Dynamic 120 x 50 cm
- Professional 180 x 50 cm
- Extreme 240 x 50 cm
- Sport 300 x 50 cm

Dynamická analýza

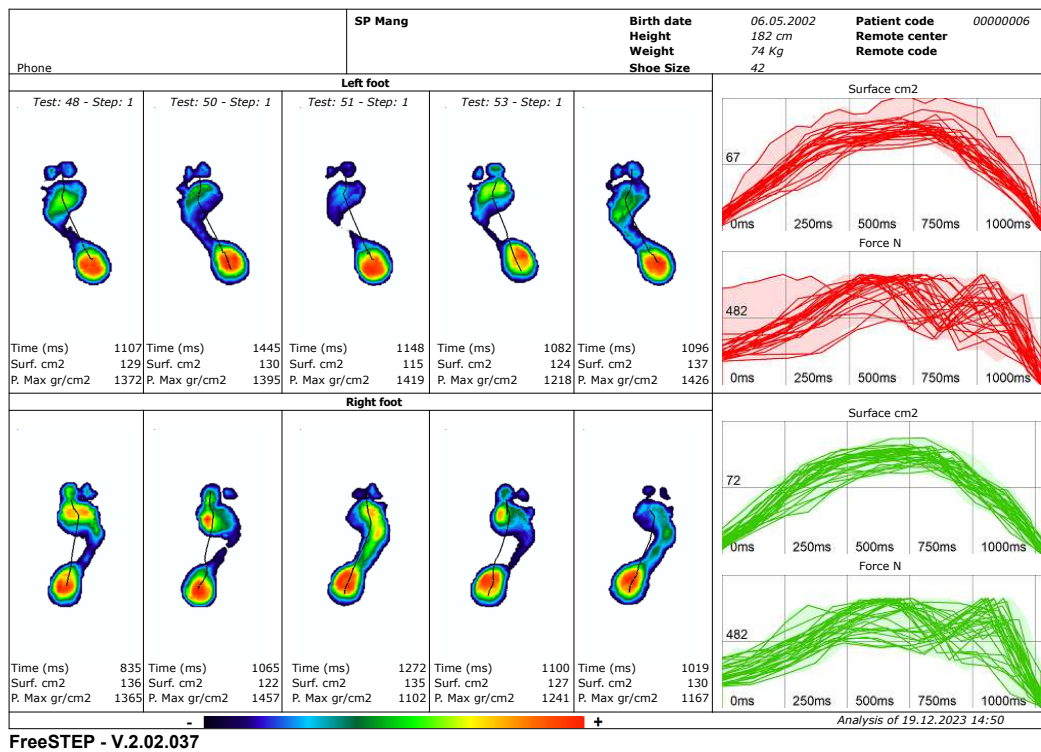
Pro účel měření nás bude především zajímat dynamická analýza, která vyšetřuje schopnost zachování posturální stability během chůze. Při analýze pacient opakovane přechází po tlakové plošině, buď bosý nebo v obuvi. Tento typ analýzy je zvláště užitečný v oblasti biomechaniky, která se zaměřuje na studium pohybu biologických systémů. Získáváme hodnocení tvaru otisku chodidla, plochy a zatížení jednotlivých částí chodidla, délky a šířky kroku, maximálního tlaku, úhlu chodidla a dalších parametrů z konkrétních snímků. Na výběr máme z pěti možností vizuálního zobrazení

rozložení tlaků otisků chodidel 2.5. [20]

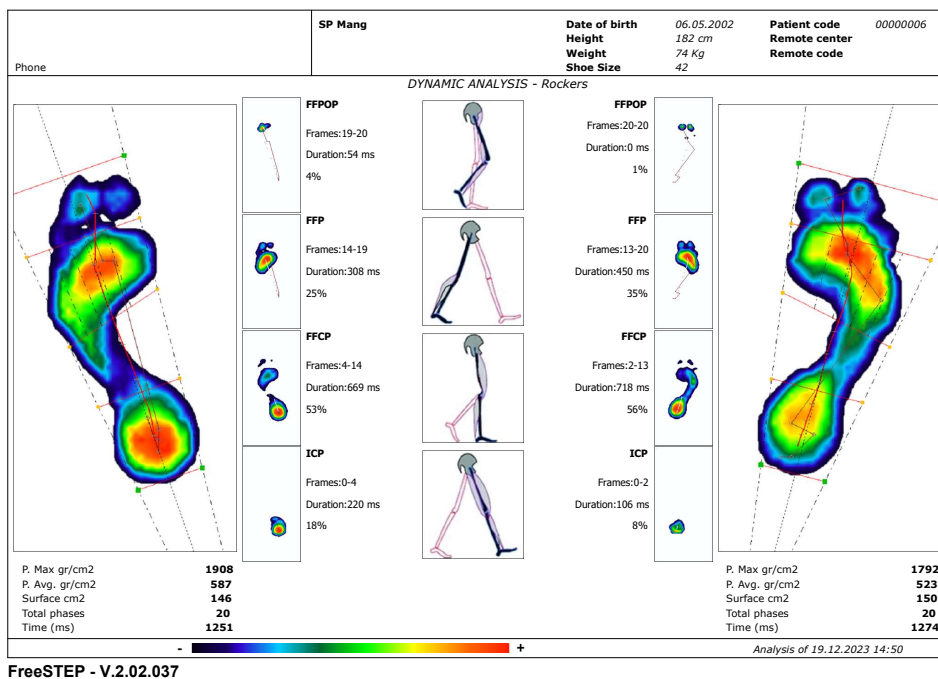
V režimu biomechanické analýzy máme možnost provést několik základních vyhodnocení, mezi něž patří:

- Analýza průměrného otisku.
- Komplexní analýza všech vybraných otisků, rozdělená na pravou a levou stranu.
- Vytvoření grafů pro jednotlivé záznamy a jejich překrytí v jednom grafu, zahrnující závislost vývoje plochy [cm^2] v čase, závislost tlaku [g/cm^2] v čase, závislost rychlosti [mm/s] v čase a další. Obrázek 2.6.
- Rozložení tlaku v různých částech během chůze, rozdělené do čtyř fází. Obrázek 2.7.

Nakonec sám měřicí program vyhodnotí záznam a identifikuje kritické části pomocí algoritmu, na něž je třeba klást zvýšenou pozornost, jak je znázorněno na příloženém obrázku 2.8.



Obr. 2.6: Zobrazení vybraných otisků a grafické reprezentace vývoje v průběhu času záznamu z tlakové plošiny.



Obr. 2.7: Detailní analýza čtyř fází chůze s odpovídajícím rozložením tlaku z tlakové plošiny.



Obr. 2.8: Shrnutí celého záznamu z tlakové plošiny.

3 Návrh výzkumého projektu

V této kapitole představíme návrh a implementaci experimentu zaměřeného na zkoumání stresových reakcí jednotlivců na virtuální prostředí a virtuální výšku ve VR.

Tento návrh poskytuje přehled o tom, jak bylo realizováno měření stresové reakce ve výzkumném projektu. Návrh je přizpůsoben pro měření v dané simulaci.

3.1 Cíl projektu

Hlavním cílem tohoto výzkumného projektu je představit metodu, která je schopná vyvolat u měřeného jedince stresovou reakci na podnět simulovaný v prostředí virtuální reality. Následně vhodně rozvrženým měřením fyziologických parametrů a dat z tlakové plošiny identifikovat tuto stresovou reakci.

3.2 Technická zařízení

Virtuální prostředí je simulováno prostřednictvím VR headsetu Oculus Rift S, který zahrnuje následující komponenty: náhlavní zařízení (VR brýle), dva ovladače, napájecí a datový kabel. [28]

Pro měření fyziologických parametrů reakce autonomního nervového systému bude využita sada Biosignals PLUX - Professional Kit s osmi kanály, ke kterým budou připojeny příslušné senzory pro měření EKG, EDA a dechové křivky pomocí dechového pásu. Kromě toho budeme využívat tlakovou plošinu Freedem Platforms od společnosti Sensor Medica, která je schopná detekovat baropodometrická data, a tím umožní měření dynamických i stacionárních posturálních dat. [33]

3.3 Software simulace

Pro potřeby experimentu bude virtuální realita řízena prostřednictvím programů na osobním počítači. Pro navigaci mezi simulacemi se bude využívat Steam VR. Hlavním cílem této navigace bude minimalizovat dobu potřebnou k přechodu mezi simulacemi, což napomůže udržet plynulost měření a zamezit případnému přerušení.

V rámci měření budou využívány dvě aplikace: relaxační aplikace Meditation VR a hra Plank Not Included pro simulaci výšky. Oba tyto programy lze získat stažením přes Steam VR. [26] [43]



Obr. 3.1: Přechod po prkně mezi mobilními věžemi za účelem chycení ptáčka ve hře Plank not included. [43]

3.4 Popis Virtuálního prostředí

Plank Not Included je VR hra, která nabízí uživateli zkušenost simulovaných výšek a komplexních prostředí. Díky sledování pohybu v reálném čase a kvalitnímu zpracování virtuálního zvuku získává hráč uspokojivou zpětnou vazbu na své pohyby a interakce ve virtuálním světě. Tato hra uživateli umožňuje volbu mezi dvěma možnostmi podpory - deskou nebo lanem, které mu mohou být zobrazovány pod nohama v různých výškových úrovních. Dále si může uživatel vybrat mezi dvěma základními režimy - klasickým, kde musí chytat ptáčky při přecházení po kládě, a režimem s bombou, který je navíc časově omezen a obsahuje dodatečné úkoly. Celkově je možné vybrat si ze tří úrovní obtížnosti. [43]

Jednotlivé scény nabízejí široké spektrum prostředí, zahrnující jak realistické, tak i fantastické scénáře. Uživatel prochází kládami mezi žebříky, přes budovy (viz Obrázek 3.1), mezi vrtulníky, ale také se ocitá v nerealistických prostředích s dinosaury, démony nebo na válečném území. Výzvou tedy není pouze strach z výšky, ale také rozmanitost podnětů v simulaci, která neklade žádné meze kreativitě. Se zvyšující se obtížností navíc přibývají scény v pohybu. Účastník se ocitá ve scénách, kde například letí s kladinou nad velkoměstem nebo jede na horské dráze. Celkově lze říct, že tato hra představuje výzvu pro uživatele všech úrovní odolnosti, zahrnující jak ty, které trpí akrofóbií, tak i ty, kteří se nezlekají žádné výzvy. Na konci této kapitoly jsou uvedeny scény a simulace, které se ve hře vyskytují, včetně výšek, viz Tabulka 3.1. [43]

Meditation VR představuje aplikaci, která pohlcuje uživatele do virtuálního prostředí simulujícího krásnou pláž na odlehlém ostrově. V této realistické scénérii mů-



Obr. 3.2: Relaxující prostředí na pláži na ostrově v aplikaci Meditation VR. [26]

žete sledovat ptáky ve výšce, pozorovat vlny omývající pobřeží a cítit vánek, který prolétá palmami a okolními rostlinami viz obrázek 3.2. Simulace kombinuje vizuální a zvukové podněty pro lepší zážitek. Aby se prohloubila relaxace, virtuální prostředí je doplněno meditativním hlasem, který vás provází relaxací. [26]

3.5 Průběh experimentu

Měření bude strukturováno do pěti fází v souladu s časovým harmonogramem viz následující kapitola. Vzhledem k časové závislosti většiny fyziologických měření, zejména u EDA, bude každá fáze, kde se budou shromažďovat data EKG, PZT a EDA, trvat minimálně 5 minut.

Nejprve zahájíme relaxační fázi, během které kontinuálně zaznamenáváme fyziologická data pomocí sady Biosignals PLUX až do konce všech fází experimentu. Účastník má nasazený headset, ve kterém běží aplikace Meditation VR. Tento postup se opakuje i v poslední fázi, přičemž obě fáze probíhají v sedě. Následuje fáze kontrolních přechodů přes tlakovou plošinu, během které se snažíme účastníka rozchodit, aby jsme získali jeho běžné fyziologické hodnoty při chůzi, které poté slouží jako referenční údaje pro srovnání.

Ve třetí fázi zůstává subjekt na tlakové plošině. Po kalibraci VR headsetu vzhledem k tlakové plošině spouštíme hru "Plank not included" na mírnější úrovni obtížnosti. Subjekt následuje trasu na plošině dle simulace, kde má za úkol chytat ptáčky do virtuální sítě. Během této fáze stále současně shromažďujeme data z EKG, PZT a EDA. Následující čtvrtá fáze je shodná, avšak s vyšší úrovní obtížnosti hry, a virtuální prostředí je podle potřeby znovu kalibrováno. Hlavní přínos zvýšené obtížnosti

spočívá v možnosti porovnání různých úrovní obtížnosti mezi sebou, což umožňuje vyřešit problém s rozdílnými způsoby pohybu účastníků během simulace a bez simulace, který byl zaznamenán již ve druhé fázi s kontrolními přechody. Tyto rozdíly nelze kvůli charakteru simulace eliminovat.

Měření navíc bude doplněno o vstupní a výstupní dotazník hodnotící míru strachu z výšky, subjektivní stres a osobní údaje subjektu.

3.6 Časový plán experimentu

1. Relaxační fáze
 - Meditation VR
 - Relaxační simulace v sedě
 - Měření EKG, PZT a EDA
 - Bez tlakové plošiny
 - Doba trvání: 5 minut
2. Kontrolní přechod přes plošinu
 - Bez VR a fyziologických parametrů
 - Měření EKG, PZT, EDA i plošina
 - Doba trvání: alespoň do naměření 10 otisků
3. Stresová situace obtížnost 1
 - Plank not included
 - Stresová simulace přechod
 - Měření EKG, PZT, EDA i plošina
 - Doba trvání: 5 minut nebo do dohrání obtížnosti
4. Stresová situace obtížnost 2
 - Plank not included
 - Stresová simulace přechod
 - Měření EKG, PZT, EDA i plošina
 - Doba trvání: 5 minut nebo do dohrání obtížnosti
5. Zotavovací fáze
 - Meditation VR
 - Relaxační simulace v sedě
 - Měření EKG, PZT a EDA
 - Bez tlakové plošiny
 - Doba trvání: 5 minut
 - Obvyklá doba měření 30 - 40 minut

Celé měření výzkumného projektu probíhalo se souhlasem etické komise pod jednacím číslem 02b/2024, schváleným v Brně dne 15. března 2024. Každý účastník

navíc podepsal informovaný souhlas, jehož ukázka je uvedena v přílohách.

Tab. 3.1: Seznam možných VR scén uvedený přímo vývojářem

Bojiště 1. SV	1,9 m / 6 stop
Žebřík ve městě	2,4 m / 8 stop
Dungeon	4 m / 13 stop
WC	2,5 m / 8 stop
Sopka	25 m / 83 stop
Dinosauři	9,3 m / 30 stop
Pod vodou	20 m / 65 stop
Lesní požár	11,3 m / 37 stop
Jeskyně	37,8 m / 124 stop
Kaňon	34 m / 113 stop
Městská ulička	15 m / 49 stop
Egyptský hrob	63 m / 207 stop
Měsíc	15,2 m / 50 stop
Jaderná věž	110 m / 360 stop
Šachta výtahu	56 m / 183 stop
Socha Svobody	66 m / 215 stop
Větrná turbína	62 m / 203 stop
Železniční most	5,8 m / 19 stop
Hrad	35,5 m / 117 stop
Městská střecha	22 m / 72 stop
Městská lešení	67 m / 216 stop
Mobilní věž	18 m / 61 stop
Velký most	280 m / 922 stop
Umývání oken	125 m / 412 stop
Pirátská loď	41 m / 134 stop
Naftová věž	43 m / 142 stop
Horkovzdušný balón	195 m / 638 stop
Jízda na pohyblivém vlaku	4,2 m / 14 stop
Ruská kola	124 m / 406 stop
Městský jeřáb	81 m / 267 stop
Padák	198 m / 648 stop
Dvě letadla	262 m / 860 stop
Vrtule od vrtulníku	3 m / 10 stop
Horská dráha	108 m / 355 stop
Dva vrtulníky	144 m / 473 stop

4 Popis a zpracování získaných dat

Měření celého výzkumného projektu pro bakalářskou práci bylo převážně úspěšné, avšak během praxe jsem se setkal s řadou problémů, které bylo nezbytné operativně řešit. Některé z těchto problémů negativně ovlivnily získaná data, což vyžadovalo jejich odstranění z databáze a následné získání adekvátních náhradních záznamů za zachování stejných podmínek.

4.1 Účastníci výzkumného projektu

Výzkumného projektu se zúčastnilo celkem 10 žen a 10 mužů ve věkovém rozmezí od 20 do 23 let, přičemž všichni účastníci byli studenti vysokých škol. Podařilo se získat účastníky s velmi podobnými obecnými charakteristikami (studenti, zdraví) a naopak jsme dosáhli vyváženého vzorku vzhledem k obavám z výšek, kde 11 účastníků uvádí, že trpí strachem z výšek, zatímco zbytek ne.

Před zahájením měření byl každý účastník důkladně informován o celém průběhu experimentu, což zahrnovalo popis jednotlivých fází měření, účelu shromažďovaných dat a technik použitých při sběru těchto dat. Účastníkům byly také vysvětleny jejich role a očekávané akce během experimentu, aby mohli co nejlépe spolupracovat a zajistit tak přesnost a relevanci výsledků.

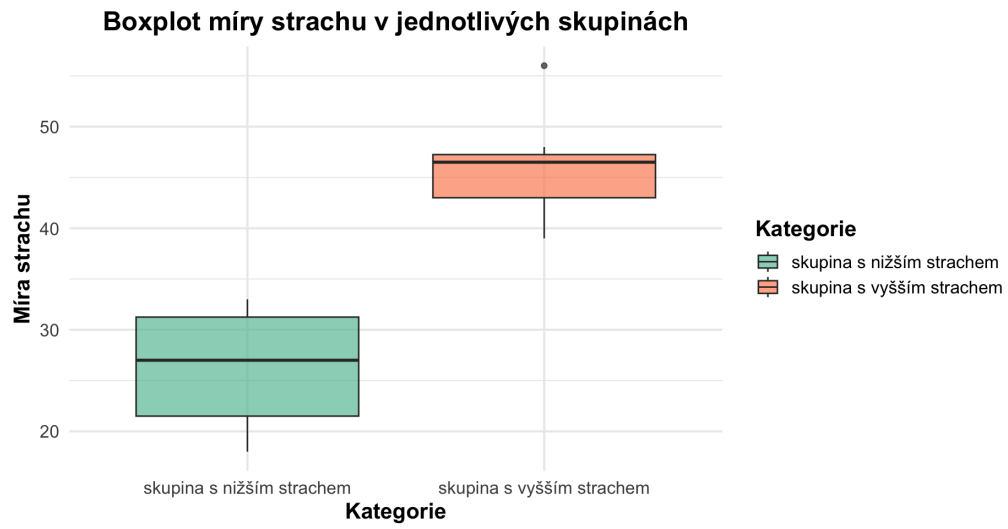
Subjektivní hodnocení dotazníkem

Kromě základních osobních údajů, jako jsou pohlaví, věk a úroveň sportovní aktivity jedince, byly rovněž shromažďovány informace o strachu z výšky pomocí převzatého dotazníku navrženého pro výzkum akrofobie. [38]

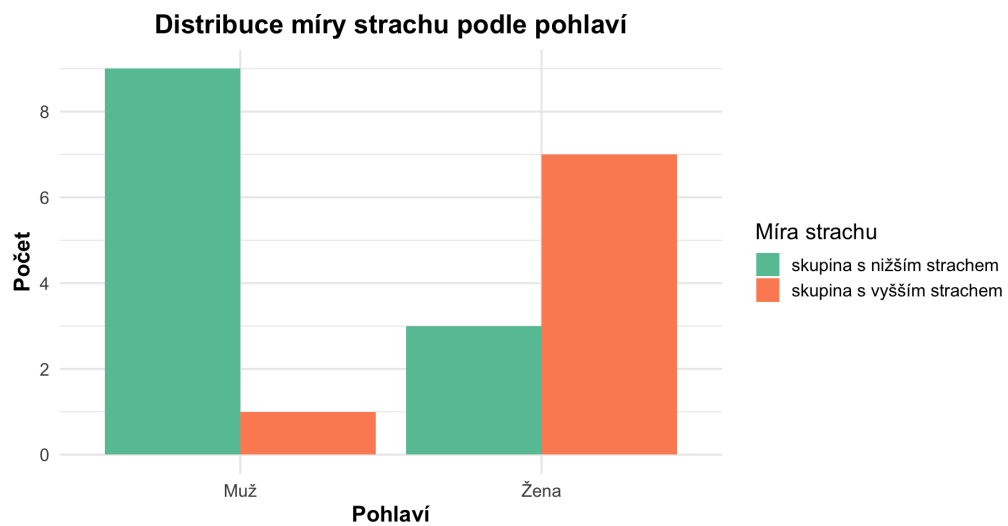
Další důležitou součástí dotazníků bylo hodnocení aktuálního psychického stavu před a po měření. Sekce pro hodnocení subjektivního psychického stavu obsahovala 10 otázek vybraných z původních 40 otázek Spielbergerova inventáře úzkosti a úzkostnosti (STAI). Redukce počtu otázek byla provedena s cílem zajistit plynulost měření a usnadnit zpracování získaných dat. Výsledkem bylo číselné skóre, přičemž vyšší hodnota indikovala vyšší úroveň úzkosti a nižší hodnota značí duševní pohodu. [22]

Rozdělení účastníků pomocí dotazníku

Účastníci nejprve sami uvedli, zda trpí strachem z výšek. Tento údaj jsem následně doplnil výsledky dotazníku, který účastníky rozdělil na základě dvou předem defi-



Obr. 4.1: Rozdělení skupiny na základě míry strachu z výšky.



Obr. 4.2: Míra strachu z výšek u mužů a žen.

novaných situací ve výškách. Výsledkem tohoto testu jsou odhadnuté číselné míry strachu z výšek, které na základě stanovené hladiny rozdělují účastníky do dvou kompaktních skupin (viz obr. 4.1). Ve srovnání s vlastním posouzením účastníků bylo zjištěno, že jeden z osmi účastníků s vyšším strachem z výšek byl klasifikován odlišně, a naopak čtyři z dvanácti u skupiny s nižším strachem. [38]

Z obrázku 4.2 je zřejmý výrazný rozdíl mezi pohlavími v četnosti strachu z výšek. Ženy v našem datasetu vykazují vyšší míru strachu z výšek, zatímco muži mají naopak strach nižší. Podobné výsledky se objevují i při klasifikaci na základě vlastního posouzení jednotlivců.

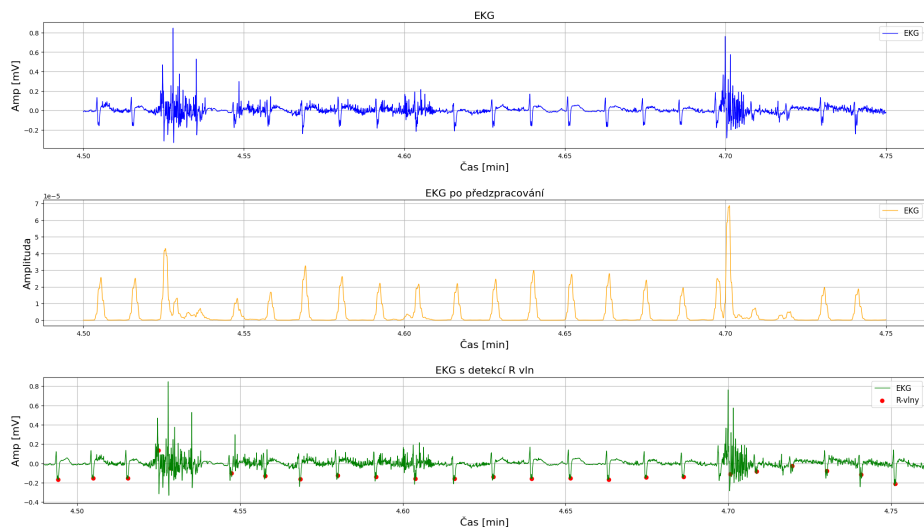
4.2 Biosignals PLUX data

Signály EKG, EDA a dechová křivka byly pomocí sady Biosignals PLUX snímány nepřetržitě po celou dobu měření, přičemž průměrná doba záznamu se pohybovala v rozmezí 30 až 40 minut. Pro orientaci v záznamu bylo využito manuálního tlačítka pro označení jednotlivých fází. Začátek fáze byl indikován jedním stiskem tlačítka a konec fáze třemi po sobě jdoucími stisky. S touto metodou označování byli účastníci seznámeni před zahájením měření a během samotného měření byli k používání tlačítka aktivně vyzýváni.

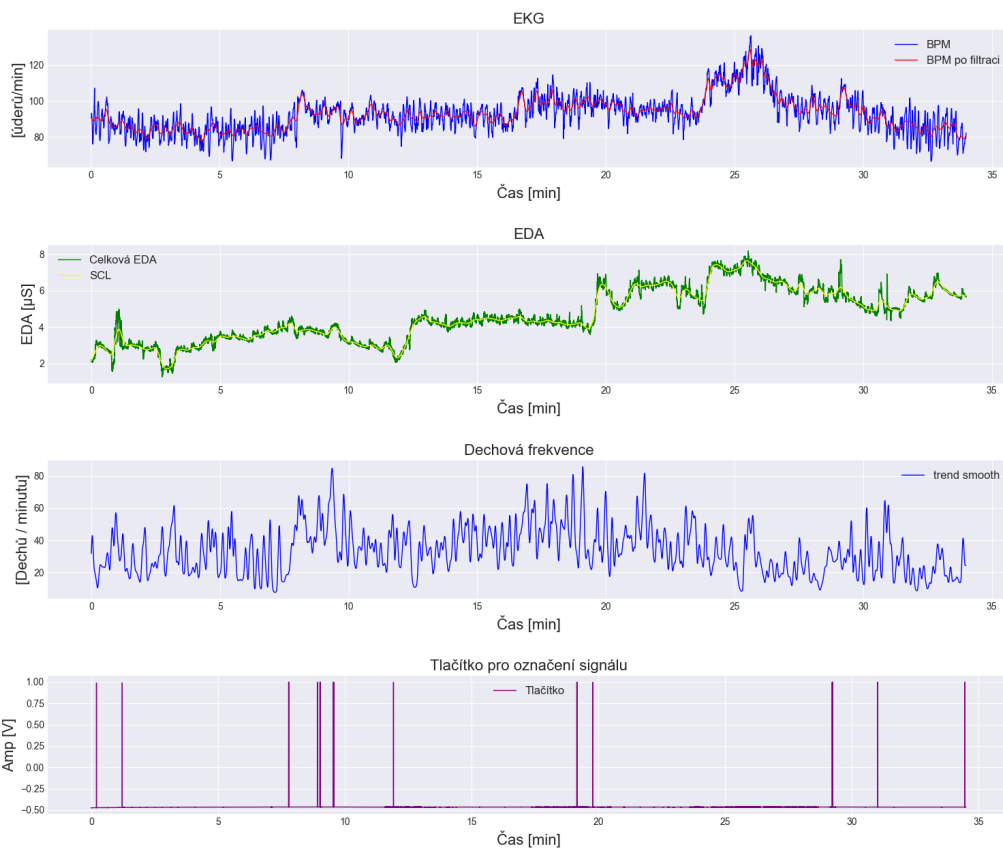
Statistické analýze předcházelo důkladné předzpracování signálů do požadované podoby pomocí dostupných knihoven pro programovací jazyk Python. V rámci předzpracování EKG signálu byla provedena detekce R-vln, z nichž byl vytvořen tachogram. Výsledkem pak byla data v časové a frekvenční oblasti, připravená pro následnou analýzu variability srdeční frekvence (HRV). Vlastnosti EKG signálu při pohybu jsou patrné z obrázku 4.3, kde je vidět, že pohybové artefakty negativně ovlivňují správnost detekce R-vln. Tyto artefakty mohou způsobit nesprávnou identifikaci srdečních cyklů, což následně negativně ovlivňuje přesnost výsledného tachogramu a analýzu variability srdeční frekvence (HRV). [11] [32]

V případě EDA bylo cílem předzpracování omezit pouze na složku SCL (úroveň kožní vodivosti), aby se minimalizoval vliv fázické složky. Toho bylo dosaženo digitální filtrací pomocí dolnoproústného filtru (0,05 Hz) a následným vyhlazením s využitím 30sekundového pohyblivého okna. [9] [32]

Respirační křivka byla předzpracována vzorovým kódem knihovny NeuroKit2, který detekoval nádechy jedince a následně je převedl do trendu reprezentující okamžitou dechovou frekvenci jedince. [23]



Obr. 4.3: EKG signál po předzpracování a detekci R-vln.



Obr. 4.4: Ukázka celého vzorového vývoje parametrů jednoho účastníka - po předzpracování a převodu hodnot.

4.3 Tlaková plošina

Do analýzy dat z tlakové plošiny byla nakonec zahrnuta pouze data od jednoho vzorového účastníka, který během simulace dodržoval specifické pokyny pro přechod přes plošinu. Ostatní data, která měla být původně statisticky vyhodnocena, byla z analýzy vyřazena, protože kvůli charakteru výzkumného projektu nebyla většina z nich zpracovatelná. Během navrhování experimentu se předpokládalo, že tlaková plošina funguje z hlediska obsluhy na podobném principu jako videozáznam. Nicméně se ukázalo, že výsledkem je jediný obraz, který je uložen až po opuštění plošiny. Výsledná data, která byla vyřazena, tak připomínají chaotické shluky otisků.

Se vzorovým účastníkem bylo provedeno totožné měření jako ve výzkumném projektu, s tím rozdílem, že tlaková plošina byla aktivována pouze ve čtyřech vybraných scénách. Účastník byl poučen, že před zahájením každé scény musí plošinu opustit a v každé scéně provést pět přechodů najednou. Na konci každého přechodu musí plošinu opět opustit, aby se vytvořil snímek.

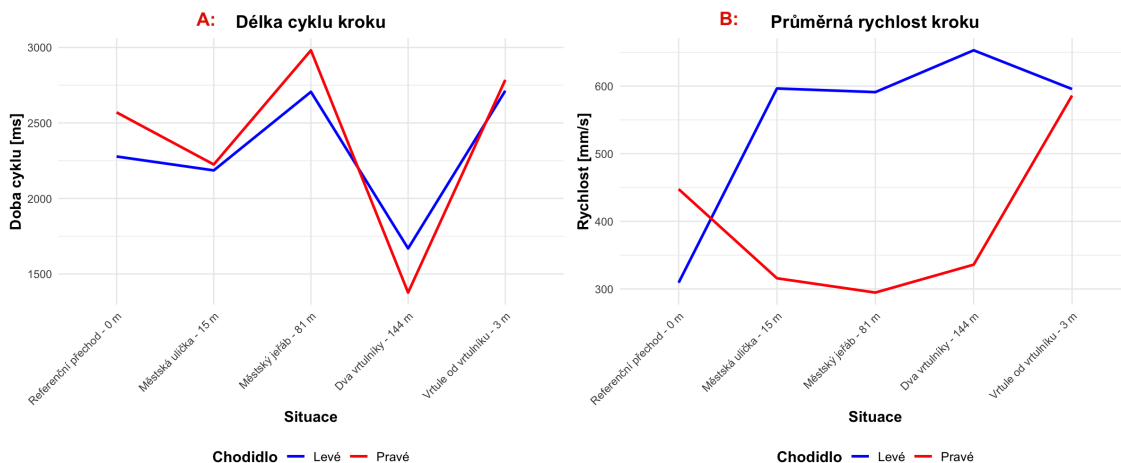
Do srovnání tedy zahrnujeme včetně kontrolního přechodu 5 scén:

- Kontrolní přechody bez VR
- Městská ulička ve výšce 15 metrů - Obsahuje městské prostředí, kde kladina umístěná mezi dvěma budovami s postraní uličkou. Probíhá na místě.
- Městský jeřáb ve výšce 81 metrů - V této scéně se objeví jeřáb přemísťující kladinu, na které se nacházíme. Přispívajícím vlivem ke stresové reakci je pohyb celé scény.
- Dva vrtulníky ve výšce 144 metrů - Kladina je připevněná ke dvěma letícím vrtulníkům. Rychlost jejich letu je srovnatelná s rychlostí jeřábu.
- Vrtule od vrtulníku ve výšce 3 metrů - Na jednu z vrtulí vrtulníku je připevněná kladina. Vrtule se postupně začíná roztáčet, což způsobuje, že se lidem velmi snadno zamotá hlava.

Cílem analýzy bylo identifikovat změny ve vybraných parametrech v závislosti na zvyšující se obtížnosti scény. Předpokládáme, že obtížnost scén je seřazena od nejjednodušší po nejtěžší následovně: Kontrolní < Městská ulička < Městský jeřáb < Dva vrtulníky. U scény s vrtulí vrtulníku však očekáváme odlišný výsledek kvůli rotačnímu pohybu, který může vyžadovat zcela jiný přístup.

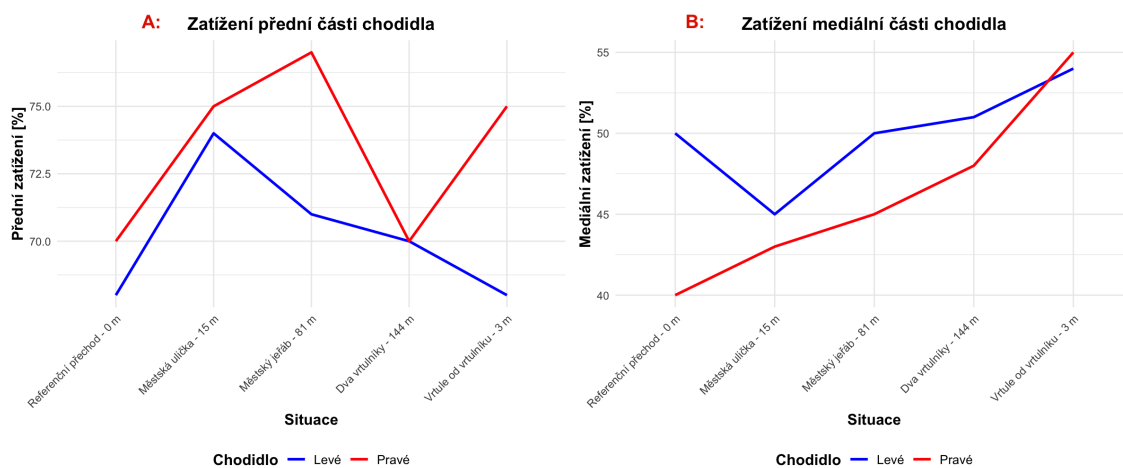
Parametry byly shromážděny z analýzy chůze, průměrných hodnot otisků a souhrnné tabulky. Po úpravě otisků (odstranění chybných či neúplných snímků) program automaticky vyhodnotil daný záznam a vygeneroval parametry z uvedených sekcí. Mezi tyto parametry patří průměrné rozložení tlaku, hodnocení těžiště (Center of Force), úhel chodidla, předozadní zatížení, mediálně-laterální zatížení, rychlost a délka kroku.

Při hodnocení vybraného účastníka se ukázalo, že většina parametrů vykazuje

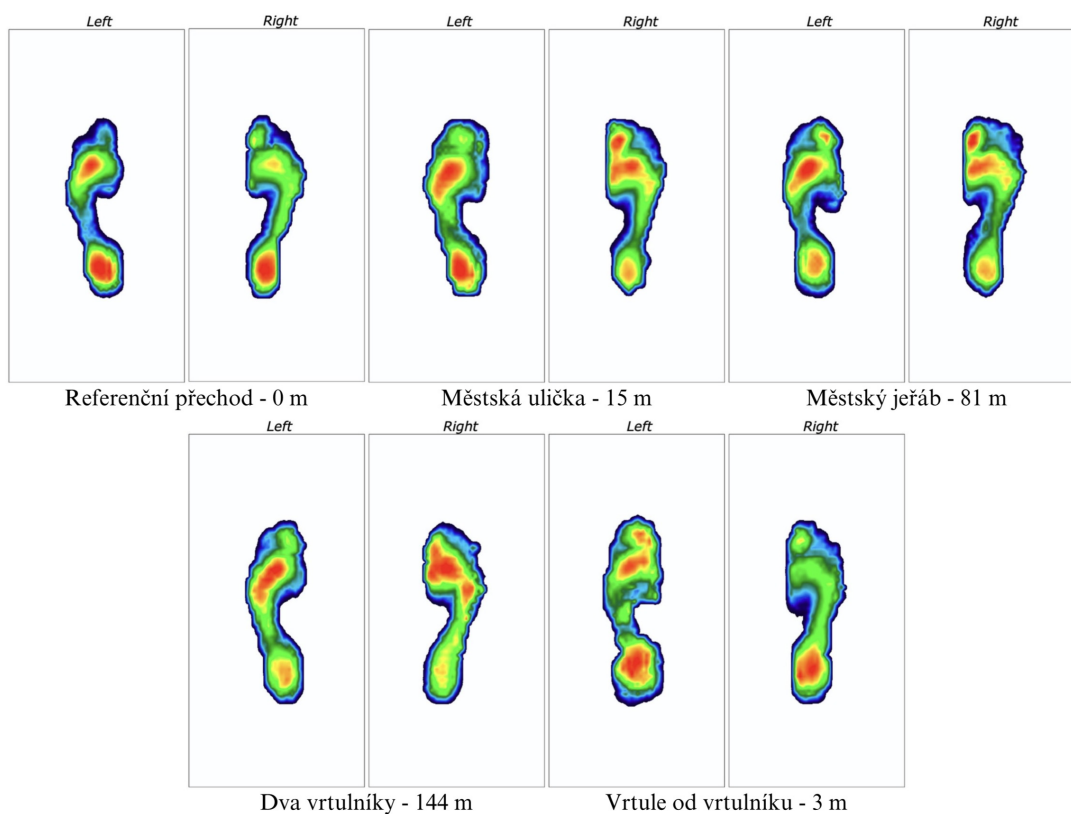


Obr. 4.5: Výsledky z tlakové plošiny - A: Doba jednoho cyklu kroku (vždy součet pravého a levého půlkroku), B: Průměrná rychlost kroku / snímaného jednoho otisku.

náhodný charakter a hledání souvislostí s obtížností scény je obtížné. Nicméně byly identifikovány dva zajímavé trendy, které mohou charakterizovat účastníkovy vlastnosti chůze ve stresových situacích. Prvním zajímavým trendem je postupně větší zatížení mediálních (vnitřních) stran obou chodidel ve srovnání s laterálními (vnějšími) stranami, jak se zvyšuje intenzita scény. Tento trend je patrný na obrázku 4.6.B, kde lze sledovat zatížení pro obě chodidla, a také vizuálně na průměrných otiscích chodidel na obrázku 4.7, kde je toto zatížení viditelné například v oblasti pod klenbami chodidel. Druhým patrným trendem jsou rozdíly v rychlosti mezi pravým a levým otiskem. U scén s vyšší intenzitou jsou tyto rozdíly větší, což může být způsobeno větší jistotou v dominantní noze. Tento trend je zobrazen na obrázku 4.5.B.



Obr. 4.6: Výsledky z tlakové plošiny v různých scénách - A: Zatížení přední strany chodidla, B: Zatížení vnitřní strany chodidla.



Obr. 4.7: Porovnání průměrných otisků v různých scénách.

5 Analýza výsledků

Do statistické analýzy budou především zahrnuty změny ve fyziologických parametrech mezi druhou, třetí a čtvrtou fází. První a poslední fáze, sloužící jako referenční ukazatele klidového stavu, nebudou do porovnání ve statistické analýze zahrnuty, protože se nejedná o měření v pohybu, a jejich srovnání by nebylo vhodné.

Do celkové analýzy byla po zpracování dat zahrnuta celá řada parametrů z biosignálů. Na úvod jsou zobrazené průměrné hodnoty všech parametrů pro všechny účastníky v různých fázích měření viz tabulka 5.1. Všechny průměrné hodnoty jsou zapsané ve formátu: průměrná hodnota \pm směrodatná odchylka. Z celkové analýzy byly vyřazeny hodnoty SD2, protože kvůli neurčitému rozptylu v některých fázích (zejména ve 3. a 4. fázi) nebyl program schopen správně vypočítat tyto hodnoty, což vedlo k četným mezerám (NA) v datech. Kvůli absenci hodnot SD2 byly z analýzy vyřazeny i poměry SD1/SD2, protože bez hodnot SD2 nelze tyto poměry vypočítat.

Následně se zaměříme na statistické hodnocení změn mezi fázemi a budeme zkoumat, zda došlo ke statisticky významné změně. Nejprve jsem u všech parametrů vizuálně a pomocí Shapiro-Wilkova testu ověřil normalitu dat při hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Na základě výsledků této analýzy jsem pak zvolil buď parametrický párový t-test, nebo neparametrický párový Wilcoxonův test, oba s hladinou významnosti $\alpha = 0,05$. [7]

Hypotézy pro tento typ hodnocení jsou formulovány následovně:

H_0 : Mezi danými fázemi nedošlo ke změně daného parametru. ($x_1 - x_2 = 0$)

H_A : Mezi danými fázemi došlo ke změně daného parametru. ($x_1 - x_2 \neq 0$)

Pokud po provedení testu vychází p-hodnota menší než 0,05, zamítáme nulovou hypotézu a přijímáme alternativní hypotézu, že u daného parametru došlo ke statisticky významné změně.

5.1 Analýza rozdílů mezi fázemi měření

Jednou z hlavních charakteristik měření, která nás bude zajímat, jsou změny v biosignálech mezi vybranými fázemi. Předpokládáme, že se u parametrů projeví změna v aktivitě autonomního nervového systému, přičemž očekáváme vyšší aktivaci sympatiku.

Druhá a třetí fáze

Mezi druhou a třetí fází sledujeme změnu hodnot ovlivněné simulací. Ve druhé fázi účastník ještě neměl na sobě VR a byl v klidu, zatímco ve třetí fázi již probíhala simulace výšky. Používáme druhou fázi místo první fáze, protože chceme porovnávat

situace, které jsou pohybově podobné. Kdybychom porovnávali první a třetí fázi, výsledky by byly ovlivněny fyzickou aktivitou.

Z vypočítaných výsledků statistických testů z tabulky 5.2 je patrné, že u tří základních metrik (RR-intervaly jsou přepočítávány na tepovou frekvenci, proto vychází stejně) našeho výzkumu došlo ke statisticky významné změně s p-hodnotou menší než 0,05.

Třetí a čtvrtá fáze

Ve třetí i čtvrté fázi je účastník vystaven simulaci ve VR, přičemž se fáze liší pouze obtížností a intenzitou simulované situace. Cílem tohoto testování je zjistit, zda se zvýšením intenzity simulace můžeme zaznamenat větší aktivitu ANS. Toto srovnání je vhodné, protože porovnává pohybově totožné situace, kde nedochází ke zvýšení fyzické aktivity.

Z vypočítaných výsledků statistických testů z tabulky 5.3 je patrné, že došlo ke statisticky významné změně pouze u parametru SCL.

5.2 Porovnání žen a mužů

Na základě významných rozdílů mezi druhou a třetí fází, popsaných v předchozí kapitole, byly tyto rozdíly zahrnuty do další analýzy. Cílem bylo zjistit, zda se hodnoty mezi ženami a muži liší, a případně sledovat, u kterého pohlaví došlo k výraznějším změnám.

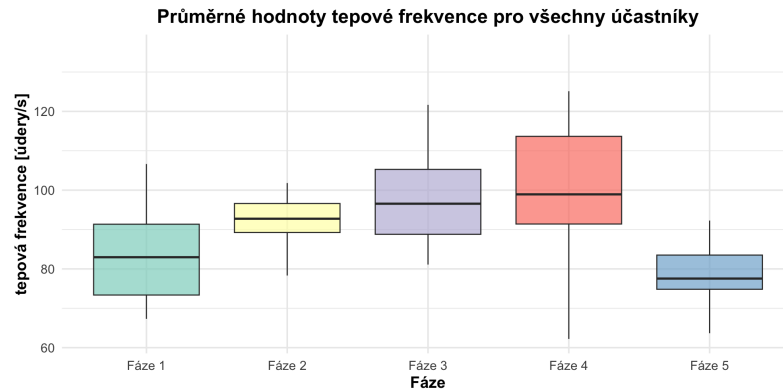
Statistické testy uvedené v tabulce 5.4 byly provedeny pomocí nepárových testů. Nejprve byly ověřeny předpoklady pro použití parametrických testů: normalita dat a shodný rozptyl obou skupin (na hladině významnosti $\alpha = 0,05$). Na základě výsledných p-hodnot byl zvolen buď parametrický nepárový dvouvýběrový t-test, nebo neparametrický nepárový Mann-Whitney-Wilcoxonův test. [7]

Hypotézy pro tento typ hodnocení jsou formulovány následovně:

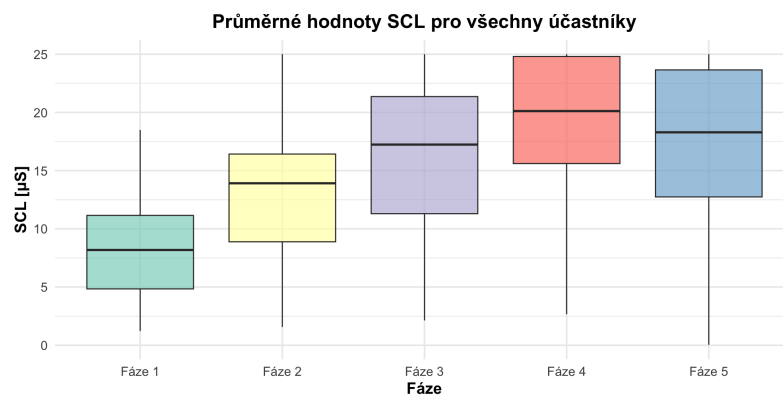
H_0 : Rozdíl mezi druhou a třetí fází u žen se neliší od rozdílu mezi druhou a třetí fází u mužů. ($x_1 = x_2$)

H_A : Rozdíl mezi druhou a třetí fází u žen se liší od rozdílu mezi druhou a třetí fází u mužů. ($x_1 \neq x_2$)

Z výsledků statistických testů uvedených v tabulce 5.4 je patrné, že rozdíly v hodnotách mezi ženami a muži se v žádném z uvedených parametrů statisticky neliší.



Obr. 5.1: Krabicové grafy mediánů tepové frekvence všech účastníků ve všech pěti fázích.

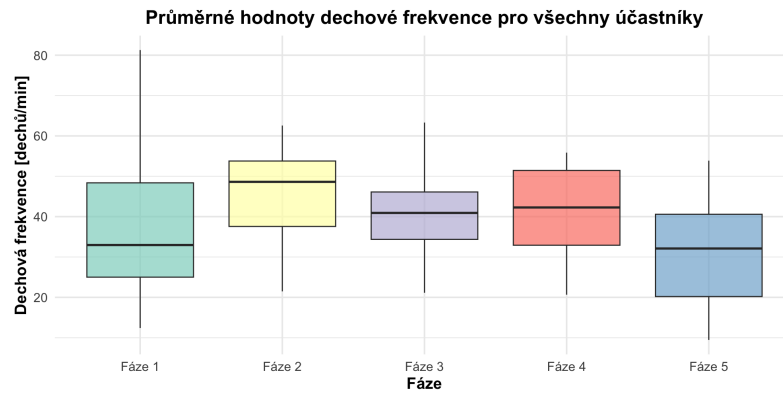


Obr. 5.2: Krabicové grafy mediánů úrovně kožní vodivosti všech účastníků ve všech pěti fázích.

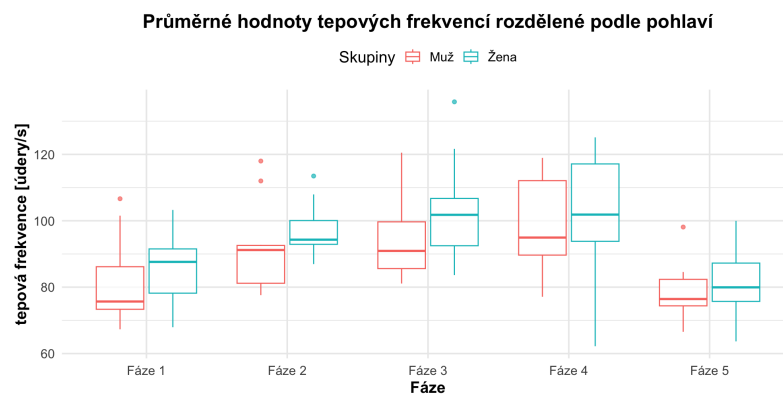
5.3 Dotazníkové šetření

Před zahájením měření a bezprostředně po jeho skončení vyplnil každý účastník dotazník STAI hodnotící aktuální psychický stav viz tabulka 5.5. Cílem tohoto dotazníku bylo nahlédnout do subjektivního vnímání simulace účastníkem.

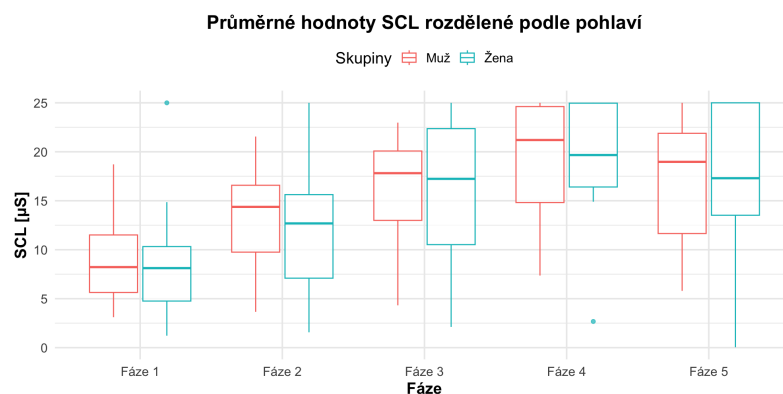
Z vypočítaných výsledků statistických testů z tabulky 5.2 je patrné, že nedošlo ke statisticky významné změně ve subjektivně hodnoceném psychickém stavu.



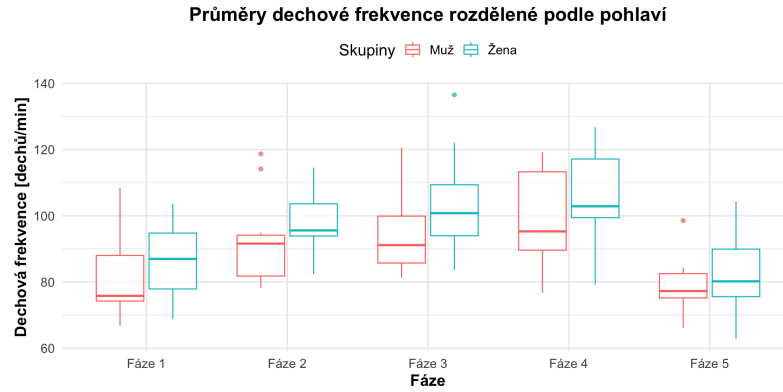
Obr. 5.3: Krabicové grafy průměrů dechové frekvence všech účastníků ve všech pěti fázích.



Obr. 5.4: Krabicové grafy mediánů tepové frekvence rozdělené podle pohlaví ve všech pěti fázích.



Obr. 5.5: Krabicové grafy mediánů úrovně kožní vodivosti rozdělené podle pohlaví ve všech pěti fázích.



Obr. 5.6: Krabicové grafy průměrů dechové frekvence rozdělené podle pohlaví ve všech pěti fázích.

Tab. 5.1: Průměrné hodnoty parametrů v jednotlivých fázích

	Fáze 1	Fáze 2	Fáze 3	Fáze 4	Fáze 5
RR [ms]	729.6 ± 100.8	643.4 ± 74.1	617.9 ± 83.5	619.4 ± 119.0	766.7 ± 93.1
TF [úderů/min]	83.8 ± 12.0	94.5 ± 11.2	99.0 ± 14.6	99.9 ± 16.8	79.4 ± 9.9
SDNN [ms]	57.0 ± 26.6	66.4 ± 72.0	58.4 ± 53.1	96.1 ± 176.0	76.7 ± 94.8
SD1 [ms]	38.4 ± 31.7	69.9 ± 121.0	70.9 ± 63.5	97.5 ± 134.1	103.7 ± 292.7
NN20 [-]	41.9 ± 26.6	33.8 ± 17.8	37.0 ± 17.5	45.5 ± 20.7	38.0 ± 13.1
pNN20 [%]	47.2 ± 20.3	37.0 ± 20.4	38.4 ± 18.2	46.5 ± 22.3	52.0 ± 22.7
NN50 [-]	13.3 ± 12.3	14.1 ± 16.6	15.7 ± 14.3	23.4 ± 19.0	15.9 ± 15.8
pNN50 [%]	13.3 ± 12.3	14.1 ± 16.6	15.7 ± 14.3	23.4 ± 19.0	15.9 ± 15.8
LF [ms^2]	1089.0 ± 958.1	1185.1 ± 1518.7	1399.4 ± 1963.2	9871.3 ± 40310.8	2082.6 ± 4984.1
HF [ms^2]	466.4 ± 387.0	2095.0 ± 6023.8	1293.2 ± 3270.1	7322.4 ± 28639.9	3291.2 ± 12314.3
LF/HF [-]	3.3 ± 2.5	4.0 ± 3.7	5.1 ± 4.5	3.9 ± 5.6	2.8 ± 1.9
LFnu [%]	68.7 ± 16.5	70.2 ± 20.8	72.5 ± 18.6	63.8 ± 21.9	67.3 ± 15.6
HFnu [%]	31.3 ± 16.5	29.8 ± 20.8	27.5 ± 18.6	36.2 ± 21.9	32.7 ± 15.6
TP [ms^2]	2555.9 ± 2478.0	4992.9 ± 10997.1	3128.9 ± 5321.5	18100.7 ± 70259.2	6658.7 ± 19532.1
SCL [μS]	9.0 ± 5.8	12.7 ± 6.1	16.1 ± 6.9	19.0 ± 6.5	16.8 ± 7.8
DF [dechů/min]	37.0 ± 17.4	46.3 ± 10.7	41.1 ± 10.2	41.1 ± 11.5	31.4 ± 13.2

Tab. 5.2: Porovnání rozdílů průměrných hodnot parametrů mezi 2. a 3. fází.

rozdíl	typ párového testu	průměrná hodnota	p-hodnota
Tepová frekvence [úderů/min]	t-test	4,5 ± 7,2	0,01
RR [ms]	t-test	-25,5 ± 40,8	0,01
SCL [μS]	t-test	3,4 ± 2,7	0,00
LF/HF [-]	t-test	1,1 ± 4,6	0,30
pNN50 [-]	Wilcoxonův test	1,6 ± 12,2	1,00
SDNN [ms]	Wilcoxonův test	-8,0 ± 33,0	0,26
LFnu [%]	t-test	2,4 ± 23,1	0,65
Dechová frekvence [dechů/min]	t-test	-5,2 ± 9,5	0,02
SD1 [ms]	Wilcoxonův test	1,0 ± 82,9	0,2943

Tab. 5.3: Porovnání rozdílů průměrných hodnot parametrů mezi 3. a 4. fází.

rozdíl	typ párového testu	průměrná hodnota	p-hodnota
Tepová frekvence [úderů/min]	Wilcoxonův test	$0,9 \pm 14,1$	0,45
RR [ms]	Wilcoxonův test	$1,5 \pm 104,6$	0,39
SCL [μ S]	t-test	$2,9 \pm 2,8$	0,00
LF/HF [-]	Wilcoxonův test	$-1,1 \pm 6,9$	0,18
pNN50 [%]	t-test	$7,7 \pm 17,0$	0,06
SDNN [ms]	Wilcoxonův test	$37,8 \pm 138,2$	0,33
LFnu [%]	t-test	$-8,7 \pm 24,1$	0,12
Dechová frekvence [dechů/min]	Wilcoxonův test	$0,0 \pm 11,9$	0,39
SD1 [ms]	Wilcoxonův test	$26,6 \pm 97,8$	0,2943

Tab. 5.4: Porovnání rozdílů průměrných hodnot parametrů mezi 2. a 3. fází u žen a mužů.

rozdíl	typ nepárového testu	průměrná hodnota ženy	průměrná hodnota muži	p-hodnota
TF [úderů/min]	Wilcoxonův test	6.4 ± 9.4	2.5 ± 3.6	0.44
RR [ms]	dvouvýběrový t-test	-31.3 ± 51.9	-19.6 ± 27.5	0.54
SCL [μ S]	dvouvýběrový t-test	3.9 ± 3.0	2.9 ± 2.4	0.43
LF/HF [-]	Wilcoxonův test	1.3 ± 4.4	0.9 ± 5.0	0.85
pNN50 [-]	Wilcoxonův test	2.7 ± 16.1	0.5 ± 7.4	0.85
SDNN [ms]	Wilcoxonův test	-10.9 ± 44.2	-5.1 ± 17.9	0.85
LFnu [%]	Wilcoxonův test	409.6 ± 1247.1	19.2 ± 496.9	0.48
DF [dechů/min]	dvouvýběrový t-test	-8.6 ± 8.4	-1.8 ± 9.8	0.11
SD1 [ms]	Wilcoxonův test	-7.1 ± 117.6	9.1 ± 23.5	0.97

Tab. 5.5: Porovnání změn v psychickém stavu (STAI) před a po výzkumném měření.

rozdíl	typ párového testu	průměrná hodnota	p-hodnota
STAI	t-test	$1,2 \pm 9,1$	0,55

6 Diskuze a zhodnocení výsledků

Návrh výzkumného projektu se téměř shoduje s prací Bzdúškové a spol. (2022), zmíněnou v obvyklých návrzích hodnocení stresových reakcí ve VR. Tato práce se liší především v dodatečném snímání tělesné teploty a použité simulaci, kde se účastník vůbec nepohyboval, ale byl do výšky vytahován pouze virtuálním výtahem. Scéna zůstávala stále ve stejném prostředí města, což představuje zásadní rozdíl pro měření s tlakovou plošinou. V práci Bzdúškové se používá statická analýza, zatímco v této studii se využívá dynamická analýza, což znemožňuje přímé srovnání výsledků. Studie využívající dynamickou analýzu nebyly nalezeny, avšak jejich existence v oblasti hodnocení stresové reakce ve VR není vyloučena. Původním záměrem bylo využít statickou analýzu, ale kvůli charakteru simulace bylo přistoupeno ke kompromisu. Simulace podobná té od Bzdúškové nebyla nalezena a ve většině zkoumaných studií byly simulace vytvářeny na míru jejich potřeb. [9]

Další podobnou prací je studie od Petersona a spol. (2018), která se liší především tím, že místo tlakové plošiny používá dřevěnou kládu. V návrhu jednotlivých tří podmínek, které jsou podobné dvěma fázím použitým v tomto výzkumném projektu, konkrétně druhé a třetí fázi, se liší zavedením “mezistupně” využívajícího VR se zanedbatelnou výškou, která se shoduje s výškou bez VR (2,5 cm). [30]

Tato práce by se dala porovnávat s celou řadou dalších podobných studií, nicméně tyto dvě představují dva rozdílné, ale velmi přínosné přístupy.

6.1 Biosignály

Při statistické analýze byly zjištěny tři významné změny parametrů mezi druhou a třetí fází. Nicméně výsledky dechové frekvence byly opačné, než se očekávalo. Průměrný rozdíl vyšel záporný, což znamená, že dechová frekvence byla vyšší během “klidného” přechodu než v první i druhé stresové fázi, jak ukázaly statistické testy.

Celkové výsledky dechové frekvence jsou velmi sporné, protože nejsou v souladu s fyziologickým rozmezím 12–20 dechů za minutu. Tomuto rozmezí se přibližují pouze výsledky z páté klidové fáze, kde se dolní kvartil nachází na dvaceti deších za minutu. Příčinou této chyby může být nevhodný algoritmus pro hodnocení dechové frekvence a pravděpodobně také nevhodnost použití dechového pásu pro měření během pohybu. Dechový pás zaznamenává dechovou křivku na základě pohybu hrudníku, který je však silně ovlivněn celkovým pohybem účastníka, což tento parametr spíše činí ukazatelem pohybu než dechové frekvence. Z této úvahy vyplývá, že je možné, že se účastníci během druhé fáze pohybovali více než během třetí fáze měření.

Pokud by byla přijata úvaha, že dechová frekvence odráží pohyb, zvýšilo by to validitu výsledků změn tepové frekvence a úrovně kožní vodivosti. Oba tyto para-

metry se totiž zvyšují s větší fyzickou aktivitou. Když tedy došlo ke zvýšení tepové frekvence a kožní vodivosti i přes snížení fyzické aktivity, je možno konstatovat, že stresová reakce byla natolik silná, že převážila sníženou fyzickou aktivitu jedince.

Při nahlédnutí na výsledky rozdílů mezi třetí fází a čtvrtou, tak je možno sledovat a také statistické testu dokazují, že kromě u SCL nedošlo k žádnému zásadnímu rozdílu v daných parametrech. Příčinnou může být prvotní překvapení, které nastalo v předchozí fázi a následná adaptace na danou simulaci. Za zmínění stojí parametr pNN50 s p-hodnotou = 0,06, u kterého tedy téměř došlo k zamítnutí nulové hypotézy.

Celkový trend parametrů tepové frekvence a SCL pro celý dataset je podobný studii Bzdúškové a spol., která má velmi podobný průběh při rozdělení do pěti fází. Výsledky pro jednotlivé skupiny se však neshodují. Je také možné srovnat rozdíly tepové frekvence mezi druhou a třetí fází v celém datasetu s výsledky studie Petersona a spol., které vykazují podobný statisticky významný rozdíl/nárůst, jaký byl dosažen v tomto výzkumném projektu. [9] [30]

Ostatní parametry HRV analýzy vykazovaly náhodné výsledky a pro každého účastníka byly poměrně individuální. Z tohoto důvodu byly změny a jejich porovnání ve skupinách statisticky nevýznamné. Hlavními příčinami vysoké variability těchto parametrů a statistické nevýznamnosti byly především pohybové artefakty, jejichž vlastnosti byly demonstrovány při předzpracování na detekcích R-vln, a individuální vlastnosti každého jedince.

Při porovnání skupin nebyl mezi ženami a muži zjištěn žádný statisticky významný rozdíl mezi fázemi. Jediné rozdíly, které lze mezi těmito skupinami sledovat, se vyskytují vždy v jednotlivých fázích (viz obrázky 5.4, 5.5 a 5.6), což však neposkytuje informaci o stresové reakci.

6.2 Tlaková plošina

Výsledky vybraných trendů ze vzorového měření u jednoho účastníka naznačily, jaký coping mechanismus účastník využívá při chůzi k vypořádávání se se stresujícími scénami ve virtuální realitě. Mezi identifikované mechanismy patří větší zatížení vnitřní strany chodidla, což vede k širšímu postoji pro větší stabilitu, a rozdílné rychlosti pravého a levého chodidla při chůzi, což mohlo být na základě pozorování způsobeno opatrným přisouváním nohou.

U zbylých parametrů nebylo možné sledovat žádný trend, který by bylo možné popsat.

6.3 Dotazníky STAI

Statistický test vylučuje statisticky významný rozdíl u dotazníku typu STAI, což je navíc patrné i z pousezení průměru a směrodatné odchylky, kde hodnoty výrazně zasahují i do záporných, což by naznačovalo dokonce i uklidnění. Takový výsledek je v rozporu s hypotézou, že VR simulace způsobí zvýšení úzkosti. Příčinou může být špatná přehlednost odpovědí v dotazníku kvůli opakovanému prohazování tvrzení “Ano, velmi” a “Ne, vůbec”, což mohlo vést k nesprávnému vyplnění na dané škále od jedné do pěti. Chybu ve výsledcích pravděpodobně způsobilo také omezení počtu otázek z čtyřiceti na deset, což mohlo zásadně narušit výpovědní hodnotu dotazníku.

Závěr

V této bakalářské práci byly prozkoumány klíčové aspekty virtuální reality a zaměřilo se na hodnocení reakce organismu v prostředí simulovaném VR. Stručně byla popsána historie VR a vysvětlen její vývoj, který lidskou společnost přivedl až do dnešní doby. Bylo vysvětleno využití VR v medicíně, mimo jiné na příkladech z praxe v oblasti výuky, chirurgie, anatomie a zubařství. Navázalo se na hodnocení vlivu VR na stresovou reakci, přičemž byla popsána souvislost s expoziční terapií VR.

V následující části byly zkoumány fyziologické parametry, které jsou klíčové při hodnocení stresu. Zahrnovalo to měření EKG, piezoelektrického dýchacího senzoru, elektrodermální aktivity (EDA) a využití tlakové plošiny.

V návrhu výzkumného projektu byl vytvořen přehled využívaných zařízení, popsány použité softwary včetně virtuálního prostředí a následně byl popsán průběh experimentu, ke kterému byl uveden časový plán. Na základě návrhu z předešlé kapitoly byl proveden výzkumný projekt, který byl realizován na skupince dvaceti dobrovolníků.

Získané biosignály byly předzpracovány, vhodně přepočítány a následně statisticky vyhodnoceny. Analýza byla provedena jednak na celém datasetu, ale také mezi pohlavími. Kvůli chybnému měření s tlakovou plošinou byla analýza omezena pouze na jednoho vzorového účastníka, jehož výsledky byly popisně zanalyzovány. Dotazníkové šetření úspěšně rozdělilo účastníky podle míry strachu z výšky, ale statisticky nevýznamně zhodnotilo rozdíl v úzkosti před a po měření.

Celkově lze říci, že stresová reakce byla naměřena ve třetí fázi a zůstala zachována i ve čtvrté fázi, jak ukazují statistické testy. Tato reakce byla identifikována pomocí klíčových biosignálů - tepové frekvence a úrovně kožní vodivosti. Tento závěr je v souladu se závěry studií uvedených v diskuzi, s výjimkou nesouladu v případě tlakové plošiny a dotazníkového šetření z důvodů zmíněných v textu práce.

Literatura

- [1] ALFALAH, Salsabeel F. M.; FALAH, Jannat F. M.; ALFALAH, Tasneem; EL-FALAH, Mutasem; MUHAIDAT, Nadia et al. A comparative study between a virtual reality heart anatomy system and traditional medical teaching modalities. Online. *Virtual Reality*. 2019, roč. 23, č. 3, s. 229-234. ISSN 1359-4338. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10055-018-0359-y>. [cit. 2023-12-18].
- [2] *Metaverse, virtuální realita a rozšířená realita: plány Applu a Meta*. Online. AR Code. 2023. Dostupné z: <https://ar-code.com/cs/blog/metaverse-virtualni-realita-a-rozi-ena-realita-plany-applu-a-meta>. [cit. 2023-12-23].
- [3] BAGARIA, Anmol; MAHILKAR, Sonal a SONKAR, Subash C. *Emerging Advancement for Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) in Dentistry*. Online. In: COELHO, Luis Pinto; QUEIRÓS, Ricardo a REIS, Sara Seabra (ed.). *Emerging Advancements for Virtual and Augmented Reality in Healthcare. Advances in Medical Technologies and Clinical Practice*. IGI Global, 2022, s. 132-141. ISBN 9781799883715. Dostupné z: <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-8371-5.ch009>. [cit. 2023-12-18].
- [4] BAKER, Harry. *Beginner's Guide To VR 2022: FAQ And Everything You Need To Know*. Online. Upload VR. 2022, 17. 5. 2022. Dostupné z: <https://www.uploadvr.com/beginners-guide-vr-faq-everything-you-need-to-know/>. [cit. 2023-12-23].
- [5] BAUMFELD, Daniel; DIASS, Celso Garreta Prats a NERY, Caio. *Advances of Baropodometry in Human Health*. Online. São Paulo, Brazil: Federal University of São Paulo, 2018. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/328146528_Advances_of_Baropodometry_in_Human_Health. [cit. 2023-12-22].
- [6] BENEŠ, Jiří. *Základy lékařské biofyziky*. 3., upr. vyd. Praha: Karolinum, 2011. ISBN 978-80-246-2034-3.
- [7] *Biostatistika - prezentace ze cvičení*. Výukové materiály PDF. Masarykova univerzita, Brno.
- [8] BRAITHWAITE, Jason J; WATSON, Derrick G; JONES, Robert a , Mickey. *Guide for Analysing Electrodermal Activity & Skin Conductance Responses for Psychological Experiments*. Online, Guide. Birmingham, UK:

- Behavioural Brain Sciences Centre, University of Birmingham, 2015. Dostupné z: <https://www.birmingham.ac.uk/Documents/college-les/psych/saal/guide-electrodermal-activity.pdf>. [cit. 2023-12-22].
- [9] BZDÚŠKOVÁ, Diana; MARKO, Martin; HIRJAKOVÁ, Zuzana; KIMIJA-NOVÁ, Jana; HLAVAČKA, František et al. The Effects of Virtual Height Exposure on Postural Control and Psychophysiological Stress Are Moderated by Individual Height Intolerance. Online. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2022, roč. 15. ISSN 1662-5161. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.773091>. [cit. 2023-11-25].
- [10] CALVO, Christel. *What Is Virtual Reality Exposure Therapy*. Online. Robots.net. 2023, 2. srpen 2023. Dostupné z: <https://robots.net/tech/what-is-virtual-reality-exposure-therapy/>. [cit. 2023-12-23].
- [11] CHAMPSEIX, Robin. *HRV-analysis*. Online. GitHub. 2018. Dostupné z: <https://aura-healthcare.github.io/hrv-analysis/index.html>. [cit. 2024-05-18].
- [12] COELHO, Luis Pinto, Ricardo QUEIRÓS a Sara Seabra REIS. *Emerging Advancements for Virtual and Augmented Reality in Healthcare*. IGI Global, 2022, 308 s. Premier reference source. ISBN 978-1-7998-8371-5. ISSN:2327-9354.
- [13] DAMMEN, Lotte van; FINSETH, Tor T.; MCCURDY, Bethany H.; BARNETT, Neil P.; CONRADY, Roselynn A. et al. Evoking stress reactivity in virtual reality: A systematic review and meta-analysis. Online. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2022, roč. 138. ISSN 01497634. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.104709>. [cit. 2023-11-25].
- [14] DOCKX, Kim; BEKKERS, Esther MJ; VAN DEN BERGH, Veerle; GINIS, Pieter; ROCHESTER, Lynn et al. Virtual reality for rehabilitation in Parkinson's disease. Online. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2016, roč. 2016, č. 12. ISSN 14651858. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010760.pub2>. [cit. 2023-12-24].
- [15] *Electrodermal Activity (EDA) Sensor*. Online. PLUX Biosignals. Dostupné z: https://www.pluxbiosignals.com/products/electrodermal-activity-eda-sensor-1?_pos=2&_sid=9fa3a0946&_ss=r. [cit. 2023-12-25].
- [16] *Electrocardiography (ECG) Sensor*. Online. PLUX Biosignals. Dostupné z: <https://www.pluxbiosignals.com/products/>

- electrocardiography-ecg-sensor-1?_pos=3&_sid=c77f100e7&_ss=r.
[cit. 2023-12-25].
- [17] ELLIMAN, James; LOIZOU, Michael a LOIZIDES, Fernando. Virtual Reality Simulation Training for Student Nurse Education. Online. 2016 *8th International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES)*. 2016, s. 1-2. ISBN 978-1-5090-2722-4. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/VS-GAMES.2016.7590377>. [cit. 2023-12-18].
- [18] *FreeMed Platforms*. Online. Sensor Medica. Dostupné z: <https://www.sensormedica.com/en/freemed/>. [cit. 2023-12-22].
- [19] GROMER, Daniel; MADEIRA, Octávia; GAST, Philipp; NEHFISCHER, Markus; JOST, Michael et al. Height Simulation in a Virtual Reality CAVE System: Validity of Fear Responses and Effects of an Immersion Manipulation. Online. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2018, roč. 12. ISSN 1662-5161. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00372>. [cit. 2023-12-24].
- [20] HABERMANNOVÁ, Mgr. Pavlína. *Baropometrie*. Online. Sportklinik. 2020. Dostupné z: <https://www.sportklinik.cz/2020/11/12/baropodometrie/>. [cit. 2023-12-22].
- [21] HUPPERT, Doreen; WUEHR, Max a BRANDT, Thomas. Acrophobia and visual height intolerance: advances in epidemiology and mechanisms. Online. *Journal of Neurology*. 2020, roč. 267, č. S1, s. 231-240. ISSN 0340-5354. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00415-020-09805-4>. [cit. 2023-12-24].
- [22] JULIAN, Laura J. Measures of anxiety: State-Trait Anxiety Inventory (STAI), Beck Anxiety Inventory (BAI), and Hospital Anxiety and Depression Scale-Anxiety (HADS-A). Online. *Arthritis Care & Research*. 2011, roč. 63, č. S11. ISSN 2151-464X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/acr.20561>. [cit. 2024-05-22].
- [23] MAKOWSKI, Dominique. *Analyze Respiratory Rate Variability (RRV)*. Online. NeuroKit. 2020. Dostupné z: <https://rpanderson-neurokit2.readthedocs.io/en/latest/examples/rrv.html>. [cit. 2024-05-13].
- [24] MARTENS, Marieke AG; ANTLEY, Angus; FREEMAN, Daniel; SLATER, Mel; HARRISON, Paul J et al. It feels real: physiological responses to a stressful virtual reality environment and its impact on working memory. Online. *Journal of Psychopharmacology*. 2019, roč. 33, č. 10, s. 1264-1273. ISSN 0269-8811. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/0269881119860156>. [cit. 2023-11-25].

- [25] MATTOO, Shreya. G2. *Virtual Reality: The Promising Future of Immersive Technology* [online]. 2022 [cit. 2023-11-24]. Dostupné z: <https://www.g2.com/articles/virtual-reality>
- [26] *Meditation VR*. Online. Steam. Dostupné z: https://store.steampowered.com/app/1301850/Meditation_VR/. [cit. 2023-12-25].
- [27] MORNSTEIN, Vojtěch. *Lékařská fyzika a biofyzika*. Brno: Masarykova univerzita, 2018. ISBN 978-80-210-8984-6.
- [28] *Oculus Rift S Features*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.oculus.com/rift-s/features/>. [cit. 2024-04-21].
- [29] PENG, Quan-cheng; YIN, Ling a CAO, Yi. Effectiveness of Virtual Reality in the Rehabilitation of Motor Function of Patients With Subacute Stroke: A Meta-Analysis. Online. *Frontiers in Neurology*. 2021, roč. 12. ISSN 1664-2295. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.639535>. [cit. 2023-12-24].
- [30] PETERSON, Steven M.; FURUICHI, Emily; FERRIS, Daniel P. a STAVNESS, Ian. Effects of virtual reality high heights exposure during beam-walking on physiological stress and cognitive loading. Online. *PLOS ONE*. 2018, roč. 13, č. 7. ISSN 1932-6203. Dostupné z: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200306>. [cit. 2023-12-24].
- [31] *Piezo-Electric Respiration (PZT) Sensor*. Online. PLUX Biosignals. Dostupné z: <https://www.pluxbiosignals.com/collections/respiratory/products/respiration-pzt>. [cit. 2023-12-22].
- [32] PLUX BIOSIGNALS. *Biosignalsnotebooks*. Online. GitHub. 2018. Dostupné z: <https://github.com/pluxbiosignals/biosignalsnotebooks?tab=readme-ov-file>. [cit. 2024-05-13].
- [33] *Professional Kit*. Online. PLUX Biosignals. Dostupné z: <https://www.pluxbiosignals.com/collections/research-kits/products/professional-kit>. [cit. 2023-12-25].
- [34] RADIA, M; ARUNAKIRINATHAN, M a SIBLEY, D. A guide to eyes: ophthalmic simulators. Online. *The Bulletin of the Royal College of Surgeons of England*. 2018, roč. 100, č. 4, s. 169-171. ISSN 1473-6357. Dostupné z: <https://doi.org/10.1308/rcsbull.2018.E169>. [cit. 2023-12-18].

- [35] SCOZZARI, Simona a GAMBERINI, Luciano. Virtual Reality as a Tool for Cognitive Behavioral Therapy: A Review. Online. In: BRAHNAM, Sheryl a JAIN, Lakhmi C. (ed.). *Advanced Computational Intelligence Paradigms in Healthcare 6. Virtual Reality in Psychotherapy, Rehabilitation, and Assessment*. Studies in Computational Intelligence. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011, s. 63-108. ISBN 978-3-642-17823-8. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-642-17824-5_5. [cit. 2023-12-18].
- [36] SHAFFER, Fred a GINSBERG, J. P. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. Online. *Frontiers in Public Health*. 2017, roč. 5. ISSN 2296-2565. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>. [cit. 2024-05-22].
- [37] SHARMA, Avinash; HUNT, Christopher L.; MAHESHWARI, Asheesh; OSBORN, Luke; LEVAY, Gyorgy et al. A Mixed-Reality Training Environment for Upper Limb Prosthesis Control. Online. In: *2018 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS)*. IEEE, 2018, s. 1-4. ISBN 978-1-5386-3603-9. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/BIOCAS.2018.8584739>. [cit. 2023-12-24].
- [38] STEINMAN, Shari A. a TEACHMAN, Bethany A. Cognitive processing and acrophobia: Validating the Heights Interpretation Questionnaire. Online. *Journal of Anxiety Disorders*. 2011, roč. 25, č. 7, s. 896-902. ISSN 08876185. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2011.05.001>. [cit. 2024-05-22].
- [39] TRAPPEY, Charles V.; TRAPPEY, Amy J. C.; CHANG, C. M.; TSAI, M. C.; KUO, Routine R. T. et al. Virtual Reality Exposure Therapy and Physiological Data Analysis for Treatment of Stress Disorders. Online. In: COELHO, Luis Pinto; QUEIRÓS, Ricardo a REIS, Sara Seabra (ed.). *Emerging Advancements for Virtual and Augmented Reality in Healthcare. Advances in Medical Technologies and Clinical Practice*. IGI Global, 2022, s. 143-170. ISBN 9781799883715. Dostupné z: <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-8371-5.ch010>. [cit. 2023-12-18].
- [40] TSYKTOR, Vasyl. CYBER PULSE. *What Is Non-Immersive Virtual Reality? – Definition & Examples* [online]. 2019 [cit. 2023-11-23]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20210803212317/https://cyberpulse.info/what-is-non-immersive-virtual-reality-definition-examples/>
- [41] TSYKTOR, Vasyl. CYBER PULSE. *What Is Semi-Immersive Virtual Reality? – The Technology Simplified* [online]. 2019 [cit. 2023-11-23]. Dostupné

- z: <https://web.archive.org/web/20220524134806/https://cyberpulse.info/what-is-semi-immersive-virtual-reality/>
- [42] TSYKTOR, Vasyl. CYBER PULSE. *What Is Fully-Immersive VR? – Technology Explained* [online]. 2019 [cit. 2023-11-23]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20220521082500/https://cyberpulse.info/what-is-fully-immersive-vr-technology-explained/>
- [43] VALVE CORPORATION. *Plank not included*. Online. 2017. Dostupné z: https://store.steampowered.com/app/602010/Plank_not_included/. [cit. 2023-12-01].
- [44] VANKIPURAM, Akshay; KHANAL, Prabal; ASHBY, Aaron; VANKIPURAM, Mithra; GUPTA, Ashish et al. Design and Development of a Virtual Reality Simulator for Advanced Cardiac Life Support Training. Online. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*. 2014, roč. 18, č. 4, s. 1478-1484. ISSN 2168-2194. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/JBHI.2013.2285102>. [cit. 2023-12-18].
- [45] *VIVE PRO*. Online. VIVE. Dostupné z: <https://www.vive.com/eu/product/vive-pro/>. [cit. 2023-12-25].
- [46] VR EDUCATION. *Virtuální realita – historie a současnost* [online]. [cca 2022] [cit. 2023-11-23]. Dostupné z: <https://vreducation.cz/virtualni-realita-historie-a-soucasnost/>
- [47] VIRTUAL REALITY SOCIETY. *History Of Virtual Reality* [online]. [2017] [cit. 2023-11-24]. Dostupné z: <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html>
- [48] WANG, Fu; LIU, Ying; TIAN, Min; ZHANG, Yumei; ZHANG, Shaofeng et al. Application of a 3D Haptic Virtual Reality Simulation System for Dental Crown Preparation Training. Online. In: 2016 *8th International Conference on Information Technology in Medicine and Education (ITME)*. IEEE, 2016, s. 424-427. ISBN 978-1-5090-3906-7. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/ITME.2016.0101>. [cit. 2023-12-18].
- [49] WANG, Jialin; SHI, Rongkai; ZHENG, Wenxuan; XIE, Weijie; KAO, Dominic et al. Effect of Frame Rate on User Experience, Performance, and Simulator Sickness in Virtual Reality. Online. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 2023, roč. 29, č. 5, s. 2478-2488. ISSN 1077-2626. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/TVCG.2023.3247057>. [cit. 2023-11-25].

- [50] WOODFORD, Chris. *Piezoelectricity*. Online. Explain that stuff. 2020. Dostupné z: <https://www.explainthatstuff.com/piezoelectricity.html>. [cit. 2023-12-22].

Seznam symbolů a zkratek

VR	Virtuální realita
AR	Augmented reality - Rozšířená realita
HMD	Head mounted display - displej namontovaný na hlavě
FOV	Field of view - zorné pole
FPS	Frames per second - snímků za sekundu
EKG	Elektrokardiografie
EDA	Elektrodermální aktivita
PTSD	Post-traumatic stress disorder - Posttraumatická stresová porucha
ANS	Autonomic nervous system - Autonomní nervová soustava
SV	Světová válka
OCD	Obsessive–compulsive disorder - Obsedantně-kompulzivní porucha
CBT	Cognitive behavioral therapy - kognitivně-behaviorální terapií
SCL	skin conductance level - úroveň kožní vodivosti
SCR	skin conductance response - odpovědi na kožní vodivost
TF	Tepová frekvence
TP	Total power - Celkový výkon
DF	Dechová frekvence

Seznam příloh

A	Ukázka informovaného souhlasu	71
B	Ukázka dotazníků	72
B.1	Dotazník před měřením	72
B.2	Dotazník po měření	72
C	Ukázka tabulek naměřených parametrů	73
C.1	Tabulka biosignálů	73
C.2	Tabulka tlakové plošiny	73

A Ukázka informovaného souhlasu

V této příloze je možné vidět ukázkou informovaného souhlasu, který účastníci podepisovali ve výzkumném projektu k této práci. Obsahuje stručný popis měření, popis nakládání s daty a další relevantní informace.

B Ukázka dotazníků

B.1 Dotazník před měřením

V této příloze je možné vidět ukázkou dotazníku, který byl vyplňován před měřením. Skládá se ze tří částí: shromáždění osobních údajů, dotazník míry strachu a dotazník typu STAI. [22] [38]

B.2 Dotazník po měření

V této příloze je možné vidět ukázkou dotazníku, který byl vyplňován po měření. Obsahuje pouze dotazník typu STAI. [22]

C Ukázka tabulek naměřených parametrů

C.1 Tabulka biosignálů

V této příloze je možné vidět tabulku s vypočítanými parametry z biosignálů. Obsahuje veškeré HRV parametry, EDA (SCL) parametry a průměrné hodnoty dechových frekvencí.

C.2 Tabulka tlakové plošiny

V této příloze je možné vidět tabulku se získanými parametry z tlakové plošiny. Obsahuje navíc parametry, které nejsou v práci uvedeny.