



Sveučilište u Zagrebu

Grafički fakultet

Ana Agić

**POBOLJŠANJE KORISNIČKOGA
ISKUSTVA U VIRTUALNOJ
STVARNOSTI POSTAVLJANJEM
PARAMETARA OBLIKOVANJA SCENE I
NAČINA KRETANJA**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2021



Sveučilište u Zagrebu

Grafički fakultet

Ana Agić

**POBOLJŠANJE KORISNIČKOGA
ISKUSTVA U VIRTUALNOJ
STVARNOSTI POSTAVLJANJEM
PARAMETARA OBLIKOVANJA SCENE I
NAČINA KRETANJA**

DOKTORSKI RAD

Mentorice: prof. dr. sc. Lidija Mandić
prof. dr. sc. Lea Skorin-Kapov

Zagreb, 2021



University of Zagreb

Faculty of Graphic Arts

Ana Agić

ENHANCING THE VIRTUAL REALITY USER EXPERIENCE BY SETTING SCENE DESIGN PARAMETERS AND LOCOMOTION TECHNIQUES

DOCTORAL THESIS

Supervisors: prof. Lidija Mandić, PhD
prof. Lea Skorin-Kapov, PhD

Zagreb, 2021

UDK 655:004.946

Imenovano Povjerenstvo za ocjenu doktorskoga rada:

1. prof. dr. sc. Klaudio Pap, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, predsjednik
2. doc. dr. sc. Nikolina Stanić Loknar, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, članica
3. prof. dr. sc. Sonja Grgić, Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva, vanjska članica

Imenovano Povjerenstvo za obranu doktorskoga rada:

1. prof. dr. sc. Klaudio Pap, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, predsjednik
2. doc. dr. sc. Nikolina Stanić Loknar, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, članica
3. prof. dr. sc. Sonja Grgić, Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva, vanjska članica
4. izv. prof. dr. sc. Maja Strgar Kurečić, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, zamjenska članica
5. prof. dr. sc. Željka Car, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, zamjenska vanjska članica

Mentorice:

1. prof. dr. sc. Lidija Mandić, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet
2. prof. dr. sc. Lea Skorin Kapov, Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva

Datum obrane doktorskoga rada: 28. rujna 2021.

Mjesto obrane doktorskoga rada: Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet

Povjerenstvo za obranu doktorskoga rada donijelo je sljedeću odluku:

„Obranila s ocjenom summa cum laude (*s najvećom pohvalom*) jednoglasnom odlukom Povjerenstva“

Informacije o mentoricama:

prof. dr.sc. Lidija Mandić je redovita profesorica na Grafičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, s područjem istraživanja sustava boja, kolorimetrije i virtualne stvarnosti.

prof. dr. sc. Lea Skorin-Kapov je redovita profesorica na Fakultetu Elektrotehnike i Računarstva Sveučilišta u Zagrebu, s područjem istraživanja iskustvene kvalitete višemedijskih usluga u računalnim mrežama.

Information about mentors:

Prof. Lidija Mandić is full professor at the Faculty of Graphic Arts, University of Zagreb, doing research in the fields of color systems, colorimetry and virtual reality.

Prof. Lea Skorin-Kapov is full professor at the Faculty of Electrical Engineering and Computing, University of Zagreb, doing research in the field of Quality of Experience for networked multimedia services.

Zahvale:

Zahvaljujem se svojim mentoricama prof. Mandić i prof. Skorin – Kapov na pomoći i vodstvu koje su mi pružile tokom pisanja ove radnje, na strpljenju i savjetima koje su mi dale bez kojih ovaj rad ne bi bio moguć. Također, hvala i mojim roditeljima na beskrajnom strpljenju i ljubavi koju su mi pružili tokom cijelog mog školovanja. Hvala mojem dečku i prijateljima koji su bili moja podrška i oslonac.

Ovaj rad je posvećen mojoj majci.

Sažetak

U ovoj doktorskoj disertaciji glavna tema istraživanja je virtualna stvarnost i neki njezini aspekti koji utječu na subjektivni doživljaj kibermučnine. Kibermučnina (engl. *Cybersickness*) je neugodna posljedica koja se javlja kod nekih korisnika sustava za virtualnu stvarnost u obliku simptoma mučnine, glavobolje, vrtoglavice, znojenja, zamora očiju i slično.

Disertacija je podijeljena u ukupno 11 poglavlja, od kojih su neka teoretska i daju uvid u teoriju virtualne stvarnosti, njene povijesti, tehničke aspekte i mogućnosti primjene u različite svrhe. Također, poglavlja koja opisuju istraživanja u kojima drugi istraživači kroz teoretske aspekte i istraživačke studije daju svoj doprinos razumijevanju ove tehnologije koja je u zadnjih nekoliko godina doživjela svoj ponovni uzlet. U vezi s time, dan je i pregled mogućnosti i načina evaluacije jednog od aspekta korisničkog iskustva kroz subjektivnu metodu anketama i upitnicima, kao i kroz objektivne metode mjerenja fizioloških promjena kod čovjeka koje nadopunjuju uvid u istraživanja.

U okviru ove disertacije napravljena su i tri istraživanja, koja su opisana u istraživačkim poglavljima. Prvo istraživanje je bilo uz pomoć subjektivne metode ankete i objektivne metode elektroencefalograma (EEG) utvrditi utjecaj medija (2D/3D) na kibermučninu. Istraživačka pitanja, metodologija i rezultati su opisani u podpoglavljima vezanima uz to istraživanje i mogu se vidjeti u prikazu na „Slika 1“. Drugo istraživanje je usmjereno na istraživanje utjecaja brzine kretanja u VR-u na kibermučninu, također evaluirano subjektivnom i objektivnom metodom (uređaj za mjerenje elektroprovodljivosti kože). Slika 1 također ukratko prikazuje istraživačka pitanja, metodologiju i rezultate, kao i u detaljnijoj mjeri podpoglavlja vezana uz to istraživanje. Posljednje istraživanje u ovoj disertaciji je istraživanje tri različita načina kretanja u kombinaciji sa dvije varijante osvjetljenosti scene. Korištena je jedna subjektivna metoda evaluacije i dvije objektivne metode (mjerenje pulsa i EEG) evaluacije jednog aspekta korisničkog iskustva u virtualnoj stvarnosti. Na „Slika 1“ mogu se vidjeti istraživačka pitanja, metodološki pristup i zaključci, dok je detaljni opis ovog istraživanja u odgovarajućim podpoglavljima.

Disertacija završava sa zaključkom u kojem su opisani svi relevantni rezultati istraživanja, popisom literature te dodacima.

Ključne riječi: virtualna stvarnost, iskustvena kvaliteta, kretanje, dizajn scene, kibermučnina.

Prošireni sažetak

Ova doktorska disertacija obuhvaća teme virtualne stvarnosti, njezinih obilježja i karakteristika u danom vremenskom periodu istraživanja. Virtualna stvarnost nije nova tehnologija ali je u zadnjih pet godina doživjela procvat i s obzirom na relativno pristupačne cijene uređaja i poboljšanje karakteristika. Jedan od glavnih problema koji se javlja kod korištenja uređaja za virtualnu stvarnost je osjećaj nelagode i mučnine (engl. *Cybersickness*) [1]. *Cybersickness* ili *kibermučnina* je posljedica konflikta između korisnikovih senzornih sustava, primarno okulomotornog (kako vidimo svijet), vestibularnog (kako osjećamo nagib i pomake glave) i proprioceptivnog sustava (kako osjećamo položaj i pokrete tijela i udova) [2]–[5]. Istraživanje povezanosti osjećaja nelagode i mučnine sa virtualnom stvarnošću je i motivacija za ispitivanja koja su provedena u ovom radu. Korisnik se može osjećati zbunjeno i nelagodno jer se kreće po virtualnom prostoru ali ne i u stvarnom prostoru. To stanje, odnosno taj osjećaj je sličan morskoj bolesti ili bolesti putovanja [6]. Najčešći simptomi su vrtoglavica, znojenje ruku, nestabilnost, glavobolja (koja se može i posljedično javiti) i zamor očiju [7]–[10].

Slijedeći korak za rješavanje ovih problema koji se javljaju kao negativna posljedica konflikta između okulomotornog i vestibularnog sustava je pitanje dizajna sustava u kojem se korisnik nalazi u virtualnom svijetu, što iz hardverskog aspekta, što putem programskih rješenja [11]. To se odnosi na sam dizajn igre ili iskustva u virtualnom okruženju ali i ono što je važnije, način kretanja kroz sam sustav. Do sad smo navikli na klasični oblik kretanja kroz igre s mišem i tipkovnicom ili prilikom korištenja konzola s *joystick*-om. Uređaji za virtualnu stvarnost koriste kontrolere koji se drže u rukama i pomoću kojih se vrši interakcija sa sustavom. Postoje mnogi načini kretanja, od kojih su neki više ili manje prirodni, više ili manje intuitivni i više ili manje kreativno izvedeni. Uzevši u obzir da se korisnik kreće po virtualnom svijetu, njegova pozicija u prostoru se stalno iznova proračunava i njegova okolina se time posljedično mijenja.

S ciljem smanjenja osjećaja kibermučnine provedena su različita istraživanja u kojima je ispitan utjecaj medija (prikaz grafičkog sadržaja na različitim (2D i 3D) zaslonima) na kibermučninu, utjecaj brzine kretanja na kibermučninu i utjecaj načina kretanja i osvjetljenosti scene.

U svim istraživanjima korištene su subjektivne i objektivne metrike za evaluaciju korisničkog iskustva. Potreba za objektivnim metrikama dolazi zbog činjenice da subjektivno mjerenje putem anketa i upitnika nije u svim slučajevima dovoljno da bi se dobio kompletan uvid u doživljaj korisnika. Također u slučaju kada subjektivna evaluacija iz bilo kojeg razloga nije dostupna, tada se procjena iskustvene kvalitete može izvršiti na temelju objektivnih mjernih

podataka (ako se utvrdi da te metrike koreliraju sa subjektivnim procjenama). Ukupno su korištena tri uređaja za prikupljanje objektivnih metrika: uređaj za mjerenje elektrodermalne aktivnosti, elektroencefalogram (EEG) koji mjeri moždanu aktivnost i uređaj za mjerenje pulsa. Smisao korištenja objektivnih i subjektivnih metrika prilikom istraživanja je pronalaženje statistički značajnih razlika i korelacije između testiranih varijabli, kako bi mogli ukazati na pozitivne ili negativne promjene u doživljaju nelagode prilikom kretanja u virtualnom okruženju. Na taj način se može ukazati na bolju ili lošiju opciju prilikom dizajniranja okruženja za virtualnu stvarnost i poboljšati korisničko iskustvo, što na kraju i jest svrha istraživanja.

Istraživanje kibermučnine u različitim medijima (2D i VR uvjetima) bili su prvo provedeno istraživanje. Rezultati statističke obrade ankete pokazuju kako je jači subjektivni osjet kibermučnine u virtualnoj stvarnosti, gdje su gotovo sve testirane varijable pokazale statistički značajnu razliku u odnosu na 2D zaslon. Rezultati objektivnih mjerenja sa EEG-om pokazuju kako je omjer beta/alfa moždanih valova najviši u VR okruženju, a manji u 2D okruženju. Takav rezultat je u skladu sa prijašnjim istraživanjima i povezuje se sa kibermučninom [3], [5]. Korištenje subjektivne i objektivne metrike u metodološkom pristupu su i prvi znanstveni doprinosi ove disertacije.

U drugom istraživanju, ispitivane su različite brzine kretanja u VR-u i povezanost sa kibermučninom. Subjektivna metrika anketa pokazuje koji su dominantni simptomi kibermučnine kroz sve 3 testirane brzine kretanja. Najdominantniji simptomi su vrtoglavica, mutan vid i teškoća fokusiranja objekata. Korelacija je nađena između više testiranih varijabli, gdje se među ostalim, može zaključiti kako je ispitanicima neugodnije u VR-u nego ispitanicima. Objektivna metrika (uređaj za mjerenje elektrodermalne aktivnosti) nije pokazala statistički značajnu razliku između testiranih brzina. Najugodnija odabrana brzina kretanja bila je srednja brzina a najmanje ugodna je bila najbrža brzina. Uspostava korelacije između subjektivne i objektivne metrike odgovara drugom znanstvenom doprinosu ove disertacije.

U posljednjem istraživanju istraživana su tri različita načina kretanja u kombinaciji sa dva različita osvjjetljenja scene. Korištene su subjektivna i objektivne metrike, što odgovara prvom znanstvenom doprinosu, a uspostava korelacija između subjektivne i objektivnih metrika drugom znanstvenom doprinosu. Subjektivna metrika (anketa) pokazala je više statistički značajnih rezultata između testiranih varijabli, kao vrtoglavicu, teškoću fokusiranja objekata, znojenje, mučninu u želucu, umor u VR-u, brzina i način kretanja i prosječni puls. Korelacija

nije nađena između subjektivne metrike ankete i objektivne metrike puls metra. Treći znanstveni doprinos, predložena metoda smanjenja mučnine postavljanjem parametara oblikovanja scene u virtualnoj stvarnosti ostvaren je kroz predloženi način kretanja koji je u ovom istraživanju izazvao najmanje kibermučnine kod ispitanika i kroz rezultate koji su pokazali kako većini ispitanika više odgovaraju scene sa više osvjetljenja u virtualnoj stvarnosti.

Ključne riječi: virtualna stvarnost, iskustvena kvaliteta, kretanje, dizajn scene, kibermučnina.

Extended abstract

This doctoral thesis focuses on methods for enhancing user experience when using virtual reality (VR) applications. Virtual reality is not a new technology, although in the last five years it has witnessed market growth, with relatively affordable prices making it possible for users to purchase such devices for home use. The availability of the technology is awakening people's creative side, fostering the creation of a variety of games, demos and experimental works becoming available on the market. One of the major problems that occurs when using a VR device is the feeling of discomfort and nausea known as cybersickness [1]. Cybersickness results from the mismatch between different sources of user's sensory input, primarily oculomotor, vestibular and proprioceptive system [2]–[5]. The user may experience a feeling of confusion, because she/he is moving in a virtual world, but not in the real world. The feeling one experiences is similar to sea sickness or travelling illness [6]. Symptoms include dizziness, sweaty hands, postural instability, headache (which can occur afterwards), eye strain and others [7]–[10].

The next step when addressing these problems that arises as a negative consequence of conflicts between the oculomotor and the vestibular system is the design of the system in which the user experiences the virtual world [11]. This refers to the design of the surroundings, and more importantly the techniques for navigating (or moving) through the virtual world, also known as locomotion techniques. Nowadays, users are most accustomed to the classic methods of moving around in virtual environments (such as games) with a mouse and keyboard, or with a joystick in the case of game consoles. Unlike those classic gaming systems, VR devices use controllers which are held in the hands and used for interaction and movement in a three-dimensional space. There are many locomotion techniques, some of which feel more or less natural, some are more or less intuitive and some are more or less creatively executed. Also, it should be taken into account that the user is moving around the virtual world and that his/her position is constantly being recalculated and his/her environment is constantly changing.

In this this research (with the intention to reduce the feeling of cybersickness), various studies were conducted in which the influence of media (display of graphic content on different (2D and 3D) screens) on cybersickness, secondly the influence of speed on cybersickness and lastly the influence of locomotion techniques and scene illumination on cybersickness. The user experience is investigated and evaluated using both objective and subjective metrics. The need for objective metrics is due to the fact that subjective assessment by surveys and questionnaires does not necessarily provide comprehensive input on the user experience, hence objective

metrics may be used to provide further insights and information. Furthermore, in case when subjective evaluation is not available for any reason, then an estimation of experiential quality can be made on the basis of objective metrics (if it is established that these metrics correlate with subjective assessments). In accordance with that, three devices for collection of objective metrics are used, namely a device for measuring electrodermal activity, an electroencephalogram (EEG) device which measures brain activity and may indicate changes in human states of relaxation on stress events, and a heart rate monitor.

The purpose of using objective and subjective metrics during research is to investigate potential statistically significant differences and correlations between certain variables in order to point out positive or negative consequences of the changes that have been tested in the research of locomotion in virtual environments. Such findings provide important insights when designing VR environments so as to enhance the user experience, which ultimately is the purpose of this research.

A study of cybersickness in 2D and VR conditions was the first study conducted. The results of the statistical processing of the survey show that there is a stronger subjective feeling of cyber nausea in virtual reality, where almost all tested variables showed a statistically significant difference compared to the 2D screen. The results of objective measurements with EEG show that the beta/alpha ratio of brain waves is highest in the VR environment and lower in the 2D environment. This result is in line with previous research and is associated with cybersickness [3], [5].

The use of subjective and objective metrics in the methodological approach are also the first scientific contribution of this dissertation.

In the second study, different speeds of movement in VR and the association with cyber nausea were examined. The subjective metrics of the survey show which are the dominant symptoms of cybersickness through all three tested speeds of movement. The most dominant symptoms are dizziness, blurred vision, and difficulty focusing on objects. A correlation was found between several tested variables where it can be concluded that female subjects are more uncomfortable in VR than male subjects. The objective metric (corresponding to electrodermal activity) did not show a statistically significant difference between the tested velocities. The most comfortable speed was the medium speed and the least comfortable was the fastest speed. Establishing a correlation between subjective and objective metrics corresponds to the second scientific contribution of this dissertation.

The last study explored three different modes of movement combined with two different types of lighting used in the VR scene, and compared the various tested scenarios in terms of subjective and objective metrics.

Subjective and objective metrics were used, which corresponds to the first scientific contribution, and the establishment of correlations between subjective and objective metrics, which corresponds to the second scientific contribution. Subjective metrics showed more statistically significant results between the variables tested, such as dizziness, difficulty focusing on objects, sweating, nausea in the stomach, fatigue in VR, speed and mode of movement, and mean heart rate. No correlation was found between subjective metrics and the objective metric corresponding to heartrate. The third scientific contribution, the proposed method of reducing nausea by setting the parameters of scene design in virtual reality was achieved through the proposed locomotion method that caused the least cybersickness in respondents and through results that showed that most respondents prefer scenes with more brightness in virtual reality.

Key words: virtual reality, quality of experience, locomotion, scene design, cybersickness.

Sadržaj

1. Uvod.....	1
1.1 Motivacija.....	1
1.2 Definicija problema	2
1.3 Metodologija istraživanja i doprinosi	3
1.4 Struktura disertacije	5
2. Virtualna stvarnost – kratki povijesni razvoj i princip rada	6
2.1 Kratki pregled razvoja virtualne stvarnosti	8
2.2. Princip rada i klasifikacija novijih HMD uređaja.....	13
2.3 Područja primjene virtualne stvarnosti	17
3. Sustav vida i nastajanje stereoskopske slike	18
3.1 Sustav vida.....	18
3.2. Vestibularni sustav i uho	21
4. Subjektivne metode procjene mučnine, prisutnosti i imerzije	22
4.1 Teorije o kibermučnini i definicije pseudo-kretanja.....	24
4.2 Čimbenici koji utječu na doživljaj virtualne stvarnosti	27
4.3 Dosadašnja istraživanja vezana uz virtualnu stvarnost i kibermučninu	32
5. Objektivne metode mjerenja simptoma mučnine u virtualnoj stvarnosti.....	35
5. 1 Elektroencefalogram (EEG) i moždani valovi	40
5.2 Autonomni živčani sustav i njegov utjecaj na puls	42
6. Preliminarno istraživanje – simulacija vožnje u 2D i VR okruženju	44
6.1 Laboratorijsko okruženje i korištena oprema	45
6.2 Metodologija.....	47
6.3 Rezultati i rasprava	48
6.4 Zaključak	53
7. Istraživanje različitih brzina kretanja na kibermučninu u virtualnoj stvarnosti	54
7.1 Metodologija.....	55

7.2 Rezultati i rasprava	59
7.3 Zaključak	64
8. Utjecaj načina kretanja u virtualnoj stvarnosti na korisničko iskustvo i kibermučninu.....	65
8.1 Pregled načina kretanja u virtualnoj stvarnosti.....	65
8.2 Odabrani načini kretanja za potrebe istraživanja.....	68
8.3 Programska rješenja kretanja i korištenje shematskih planova u Unreal Engine 4 aplikaciji	70
8.4 Izrada scene i postavljanje parametara u Unreal Engine 4 aplikaciji	71
8.5 Izrada anketnog upitnika – subjektivna metoda mjerenja kibermučnine	77
8.6. Eksperimentalni dio.....	79
8.6.1 Oprema i ispitanici.....	81
9. Utjecaj načina kretanja u virtualnoj stvarnosti na korisničko iskustvo i kibermučninu: rezultati i rasprava	83
9.1 Rezultati i rasprava: anketa.....	83
9.2 Rezultati i rasprava: rezultati biometrijskog mjerenja pulsa	115
9.3 Rezultati i rasprava: rezultati biometrijskog mjerenja EEG-a.....	119
10. Zaključak	129
11. Literatura	132
Prilog 1. Popis slika:.....	148
Prilog 2. Popis tablica:	150
Prilog 3. Popis akronima (i prijevod sa engleskog) korištenih u ovom radu	152
Prilog 4. Anketa korištena u preliminarnom istraživanju	153
Prilog 5. Anketa korištena u istraživanju različitih brzina kretanja	154
Prilog 6. Anketa korištena u istraživanju različitih načina kretanja.....	155
12. Životopis i popis objavljenih radova	156

1. Uvod

1.1 Motivacija

Nakon što je 2012. godine na tržište izašao Oculus Rift Development Kit 1 sve je više interesa javnosti ali i akademske zajednice za istraživanje mogućnosti i razvoja relativno lako dostupnih uređaja za virtualnu stvarnost [12]. Uzevši u obzir da su ranije uglavnom samo veće produkcijske kuće imale softvere i financijska sredstva za izradu različitih igara, iskustvenih primjera i demo verzija, ljudi iz šire populacije i entuzijasti imali su ogranične mogućnosti da naprave nešto svoje. Nakon Oculus Rifta pojavile su se i druge slične/bolje verzije (engl. *Head Mounted Display*) HMD uređaja kao i prilagođeni softveri za stvaranje sadržaja za virtualnu stvarnost. Zaljubljenici u VR su počeli stvarati svoje uratke, kako samostalno tako i kao nezavisni (engl. *indie*) programeri.

Samom tom ekspanzijom sadržaja počeli su se uviđati i neki problemi koje je potrebno riješiti. Neki od tih problema su hardverske prirode, što znači da ovise o samom uređaju, kao npr. rezolucija, ili osvježavanje zaslona. Druga vrsta problema vezana je uz samog čovjeka i način na koji on funkcionira. Interakcija sa samim sustavom virtualne stvarnosti mnogim ljudima nije intuitivna, jer su navikli na tipkovnicu i miš, odnosno *joystick*. Interakcija sa samim sustavom može biti pasivna, aktivna i interaktivna i utječe na korisničko iskustvo [13]. Također, problem mučnine koji se javlja prilikom kretanja u virtualnom prostoru, a koji je opisan i kao pojam detaljno obrađen u određenim poglavljima ovog rada, stvara kod nekih ljudi svojevrsnu averziju prema ovoj ponovno oživljenoj tehnologiji.

Ti problemi, odnosno nuspojave mogu se ublažiti, ako ne i u određenim slučajevima u potpunosti riješiti, pomoću istraživanja koja upućuju na adekvatne prilagodbe prilikom izrade sadržaja za ovaj medij. Postoje i drugi radovi sa sličnom tematikom, koji se bave istraživanjima kako sustavi virtualne stvarnosti utječu na korisnika, i na osjećaj nelagode koji VR kod nekih izaziva, koji su detaljnije opisani u poglavlju 4.3.

Tema ove disertacije je istraživanje utjecaja brzine kretanja korisnika u VR-u i utjecaj načina kretanja korisnika u sustavu virtualne stvarnosti kroz tri načina kretanja izvedenih u dva različita osvjetljenja okruženja, što čini ukupno 6 različitih iskustava kretanja. Nisu nađeni prethodni radovi koji su istražili utjecaj faktora osvjetljenja u virtualnom okruženju na kibermučninu, što je i dio motivacije za istraživanje. Danas trenutno na Steam platformi (koja je distributer igara, uključujući i one za VR) ima više od 150 naslova igara za Oculus Rift i za HTC Vive [14].

1.2 Definicija problema

Postoje različita područja primjene virtualne stvarnosti (arhitektura, virtualne izložbe, medicina, vojne svrhe, igre itd.). Igre, kao jedno područje primjene VR-a, kao mehaniku putovanja sa točke A na točku B koriste različite načine kretanja. Fokus istraživanja koji je naglašen u ovoj disertaciji je utjecaj faktora kretanja i faktora osvjetljenja na kibermučninu, koja se javlja kao posljedica korištenja VR-a. U nekim provedenim istraživanjima korištene su već postojeće igre kao alat za istraživanje jer su u svojem svojstvu imale već neke mogućnosti koje su odgovarale za istraživačka pitanja (npr. Talos Principle VR ima implementirane različite brzine kretanja pa je moguće na tom primjeru istražiti utjecaj brzine kretanja na kibermučninu). Za istraživanje je napravljena scena za istraživanje različitih načina kretanja i osvjetljenja, da bi se u istim (jednakim) uvjetima moglo istražiti kako kretanje i razina osvjetljenja utječu na kibermučninu.

Cilj ovog istraživanja je subjektivnom i objektivnom metrikom ukazati koji od istraživanih parametara u određenoj virtualnoj okolini izaziva najmanje, odnosno najviše kibermučnine i na koji način bi se ta negativna posljedica virtualne stvarnosti mogla umanjiti s ciljem postizanja boljeg korisničkog iskustva.

Hipoteze:

H1 – Kreiranjem vlastitog prilagođenog upitnika, baziran na temelju prethodnih istraživanja i usuglašen od strane psihologa, moguće je odrediti stupnjeve mučnine u virtualnoj stvarnosti.

H2 – Moguće je utvrditi korelaciju između subjektivnih i objektivnih metrika prilikom mjerenja i procjene mučnine u virtualnom okruženju

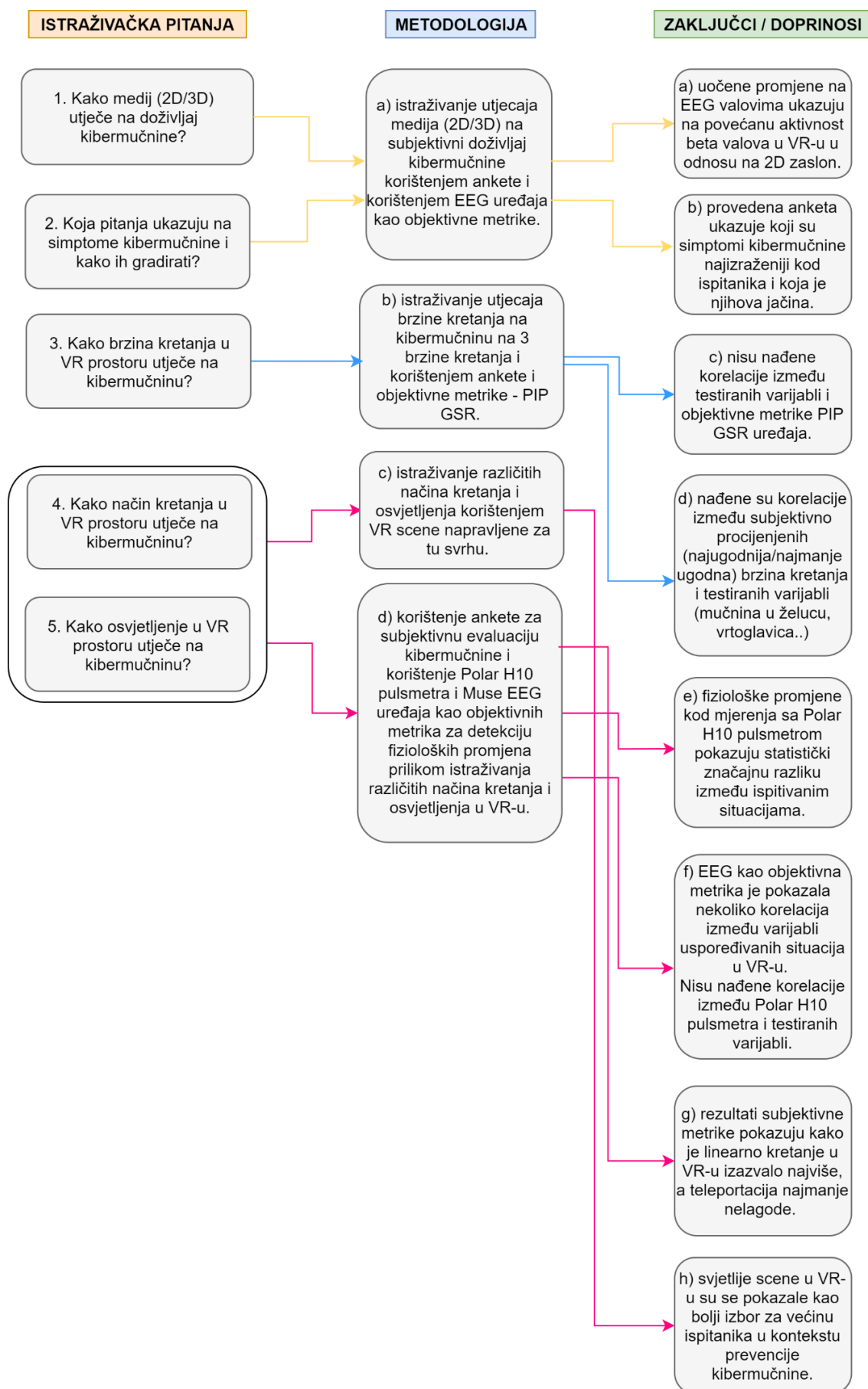
H3 – Moguće je prilagoditi scenu u sustavu za virtualnu stvarnost na temelju dobivenih rezultata radi postizanja boljeg korisničkog iskustva.

1.3 Metodologija istraživanja i doprinosi

Metodologija istraživanja prikazana je kroz shematski prikaz na slici 1 na kojem su povezana istraživačka pitanja sa provedenim istraživanjima. Ukupno su provedena tri istraživanja. Pvo je provedeno preliminarno istraživanje (2018. god.) u kojem se nastojalo odgovoriti na istraživačka pitanja 1 i 2 prikazanih na slici 1. U istraživanju je sudjelovalo 10 ispitanika. Metodološki je istraživanje provedeno na način da se ispitivao utjecaj 2D i VR medija na subjektivni doživljaj kibermučnine pomoću ankete kao subjektivne metode i korištenjem Muse EEG uređaja kao objektivne metode (prikazano kao metodologija a) na slici 1). Zaključci i doprinosi su ukratko opisani na slici 1 (prikazano kao zaključci i doprinosi a) i b)). Ovo istraživanje potvrđuje prvi doprinos u smislu metodološkog pristupa i korištenje subjektivnih i objektivnih metrika za evaluaciju korisničkog iskustva vezanog uz kibermučninu.

U drugom provedenom istraživanju (2019. god.) nastojalo se odgovoriti na istraživačko pitanje 3. prikazano na slici 1. U istraživanju je sudjelovalo 28 ispitanika. Metodološki je istraživanje provedeno na način da su se subjektivnom (anketa) i objektivnom (Pip Biosenzor uređaj za mjerenje elektrodermalne aktivnosti) metodom ispitivale različite brzine kretanja u VR-u i njihov utjecaj na kibermučninu, prikazano kao metodologija b) na slici 1. Zaključci i doprinosi su ukratko opisani na slici 1 (prikazano kao zaključci i doprinosi c) i d)). Ovo istraživanje također potvrđuje prvi doprinos u smislu metodološkog pristupa i korištenje subjektivnih i objektivnih metrika za evaluaciju korisničkog iskustva vezanog uz kibermučninu, kao i drugi doprinos u smislu utvrđivanja korelacije između subjektivne i objektivne metrike.

U trećem provedenom istraživanju (2019. god.) nastojalo se odgovoriti na istraživačka pitanja 4 i 5 koji su prikazani na slici 1. U istraživanju je sudjelovalo 29 ispitanika. Metodološki je istraživanje provedeno na način da su se subjektivnom (anketa) i objektivnom (Muse EEG elektroencefalogram i Polar H10 pulsmetar) metodom ispitivalo različite načine kretanja u VR-u, i utjecaj osvjetljenosti scene i njihov utjecaj na kibermučninu, prikazano kao metodologija c) i d) na slici 1. Zaključci i doprinosi su ukratko opisani na slici 1 (prikazano kao zaključci i doprinosi e) - h)). Ovo istraživanje potvrđuje prvi doprinos u smislu metodološkog pristupa i korištenje subjektivnih i objektivnih metrika za evaluaciju korisničkog iskustva vezanog uz kibermučninu, kao i drugi doprinos u smislu utvrđivanja korelacije između subjektivne i objektivne metrike. Treći doprinos, predložena metoda smanjenja mučnine potvrđena je kroz prijedlog određenog načina kretanja kao najpovoljnijeg za minimiziranje kibermučnine i kroz rezultate koji su pokazali kako je većini ispitanika više odgovarala scena sa većom osvjetljenosti, odnosno dnevna scena u virtualnoj stvarnosti.



Slika 1: Shematski prikaz istraživanja, metodologije, zaključaka i doprinosa

1.4 Struktura disertacije

Disertacija je strukturirana kroz 12 poglavlja, koji opisuju tok rada kroz teoriju, metodologiju, eksperimentalni dio, rezultate i raspravu te zaključak.

U prvom poglavlju je opisana motivacija za istraživanje i generalne pojmove vezane uz virtualnu stvarnost, na koje se nastavlja drugo poglavlje koje uključuje kratki opis i povijest virtualne stvarnosti te princip rada uređaja za virtualnu stvarnost novije generacije koji se koristi u ovom istraživanju. Slijedi treće poglavlje koje prikazuje sustav vida i vestibularni sustav koji su povezani s problematikom kretanja u sustavu virtualne stvarnosti, teorije o kibermučnini i teoretski dio koji uključuje čimbenike koji utječu na kibermučninu. Četvrto poglavlje opisuje subjektivne metode procjene mučnine, prisutnosti i imerzije (uronjenosti). Nakon toga peto poglavlje u kojem su opisane objektivne metode mjerenja fizioloških promjena koje nam koriste kako bismo pomoću njih pokušali procijeniti razinu kibermučnine u istraživanjima. Zatim šesto poglavlje opisuje preliminarno istraživanje: simulacija vožnje u 2D i VR uvjetima i evaluacija simptoma kibermučnine korištenjem subjektivne metode anketom i korištenjem objektivne metode mjerenja fiziološke promjene. Slijedi sedmo poglavlje u kojem je opisano istraživanje utjecaja različitih brzina kretanja u virtualnoj stvarnosti na kibermučninu – opisana je korištena VR igra Talos Principle te primjena subjektivnih i objektivnih metoda procjene kibermučnine. Posljednje istraživačko je osmo poglavlje koje uključuje istraživanje utjecaja različitih načina kretanja u VR-u, sa opisanom metodologijom provođenja eksperimenta, uz opis korištene subjektivne i objektivne metrike mjerenja kibermučnine, za kojim slijedi deveto poglavlje koje prikazuje i objedinjuje rezultate subjektivne i objektivne metode mjerenja provedenog istraživanja različitih načina kretanja. Disertacija završava sa desetim poglavljem koje sadrži zaključke istraživanja s kratkim opisom provedenih eksperimenta i planovima za daljnje istraživanje. Na kraju je dan popis literature i prilozi (Prilog 1 – popis slika, prilog 2 – popis tablica, prilog 3 – popis akronima, prilozi 4 – 6 korištene ankete), te 12 poglavlje životopis i popis objavljenih radova.

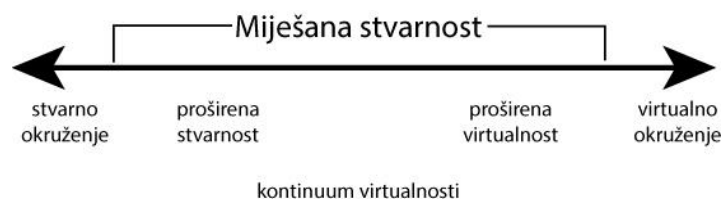
2. Virtualna stvarnost – kratki povijesni razvoj i princip rada

Uređaji za virtualnu stvarnost postoje već od početka prošlog stoljeća, bilo da su bili amaterski primjerci, zatim primjerci glomaznih uređaja koji su se stavljali na glavu, sve do prvih komercijalnih uređaja koji nisu zaživjeli zbog različitih razloga (cijene, manjka sadržaja, glavobolja koje su ljudi tokom korištenja i posljedično imali, kvalitete samog uređaja). U ovom poglavlju dan je kratki pregled tih uređaja te principi rada novijih uređaja za virtualnu stvarnost, od kojih se jedan i koristi u eksperimentalnom dijelu ovog rada.

Također, definiranje virtualne stvarnosti potrebno je radi razumijevanja značenja samog pojma i razlikovanja sa sličnim pojmovima koji se često spominju uz virtualnu stvarnost, kao što je proširena stvarnost. Jedna od definicija kaže kako je virtualna stvarnost simulacija u kojoj je računalna grafika korištena za stvaranje okruženja realističnog izgleda koji uključuje simulaciju u stvarnom vremenu i interakciju kroz nekoliko osjetnih kanala, koji mogu biti vizualni, auditorni, taktilni, mirisni i okusni [15]. Druga definicija kaže kako je to znanstvena i tehnička domena koja koristi računalnu znanost i bihevioralna sučelja kako bi simulirali virtualni svijet, koristeći 3D entitete koji mogu imati interakciju u realnom vremenu međusobno i s jednim ili više korisnika u pseudo-prirodnoj imerziji kroz senzorne kanale [16]. Treća definira virtualnu stvarnost kao računalne simulacije koje imaju za cilj stvoriti osjećaj prisutnosti u virtualnom okruženju [17].

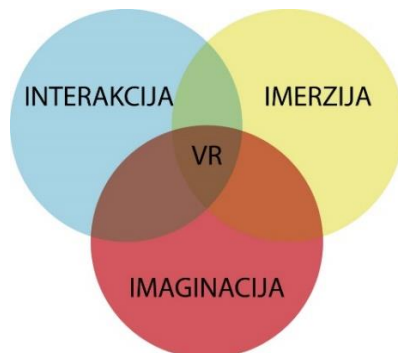
Proširena stvarnost (engl. *Augmented Reality*) i miješana stvarnost (engl. *Mixed Reality*) imaju slične definicije u svojoj suštini, prilikom čega se proširena stvarnost može definirati kao superponiranje informacija i podataka preko okoline korisnika dok korisnik i dalje ima pregled stvarnog svijeta (ako koristi odgovarajuće naočale, gleda kroz zaslon nekog uređaja ili koristi projektor), a miješana stvarnost je smještena između virtualnog svijeta i proširenog i definira se kao spajanje fizičkog svijeta s digitalnim, kao da su virtualni objekti stvarno smješteni u stvarnosti [18].

U svom radu iz 1994. godine Milgram i Kishino govore o pojmovima virtualne, proširene i miješane stvarnosti i njihovoj karakterizaciji [19]. Slika 2 prikazuje njihovu pojednostavljenu shemu miješane stvarnosti i kontinuuma između stvarnosti i virtualnog svijeta, kako oni nazivaju „virtualnost“.



Slika 2: Miješana stvarnost [19]

Burdea i Coiffet u svojoj knjizi navode koncept nazvan „i3“ koji objedinjuje interakciju (sa sustavom), imaginaciju (kreativnost u sustavu) i imerziju (osjećaj uključenost u sam sustav) kao tri ključne komponente sustava virtualne stvarnosti [15], [20]. Slika 3 prikazuje Vennov dijagram „i3“ komponenti sustava virtualne stvarnosti. Također se u literaturi spominje i podjela VR sustava na četiri osnovne komponente; **virtualni svijet** (računalno generiran), **imerzija**, **senzorna povratna informacija** i **interaktivnost** [21]. **Virtualni svijet** se definira kao „Računalno generirani svijet. Sastoji se od objekata i prostornih zakonitosti, koji su međusobno povezani i integrirani“ [21]. **Imerzija** se opisuje kao „Sačinjava senzibilitet svijeta kao da korisnik živi u njemu i može ga dodirnuti. Imerzivno ne znači samo viđeno nego i osjetilno“ [21]. **Senzorna povratna informacija** se definira kao element koji „omogućava korisniku da osjeti razumni rezultat na temelju danog inputa/unosa. Taj rezultat koji korisnik osjeti temelji se na njegovom položaju, akciji i navigaciji“ [21]. **Interaktivnost** je zadnji element koji „omogućuje i odgovoran je za realizaciju i prezentaciju virtualnog svijeta. On omogućuje korisniku da vrši interakciju sa okolinom“ [21]. Osjećaj imerzije i prisustva su ključni dijelovi za bolji doživljaj virtualne stvarnosti. Druga definicija opisuje imerziju kao „osjećaj uključenosti se odnosi na stupanj do kojeg imerzivna medijska okruženja urone perceptivni sustav korisnika u računalno generirane podražaje. Što više sustav blokira podražaje iz fizičkog svijeta, to se sustav smatra više imerzivnim“ [13]. Vizualna simulacija je najvažniji element u virtualnoj simulaciji, ali postoje i drugi elementi kao zvučna, haptička i fizikalna simulacija, koji utječu na osjećaj imerzije [17].



Slika 3: „i3“ komponente virtualne stvarnosti [15]

2.1 Kratki pregled razvoja virtualne stvarnosti

Sredinom 1950-tih godina prošlog stoljeća Morton Heilig izumio je „*Sensoramu*“ koja je patentirana 1962. godine, uređaj koji je pružao iluziju stvarnosti koristeći 3D sliku u pokretu u kombinaciji s pokretljivom vibracionom stolicom, mirisom, stereo zvukom i umjetnim vjetrom za potpuniji doživljaj. *Sensorama* je bila napravljena kako bi korisnika potpuno uživila u virtualnu stvarnost. Heilig je napravio i šest filmova koje je sam snimio i pripremio. Dva bitna dijela *Sensorame* su i „*Sensorama Motion Picture Projector*“ i „*Sensorama 3-D Motion Picture Camera*“ bez kojih ona ne bi radila. Također je izumio i patentirao 1960. godine manji uređaj pod nazivom „*Telesphere mask*“ koji je zapravo prvi uređaj koji je sličio na današnje HMD-ove [22]. Na slikama 4 i 5 ispod prikazani su *Sensorama* i *Telesphere Mask*.



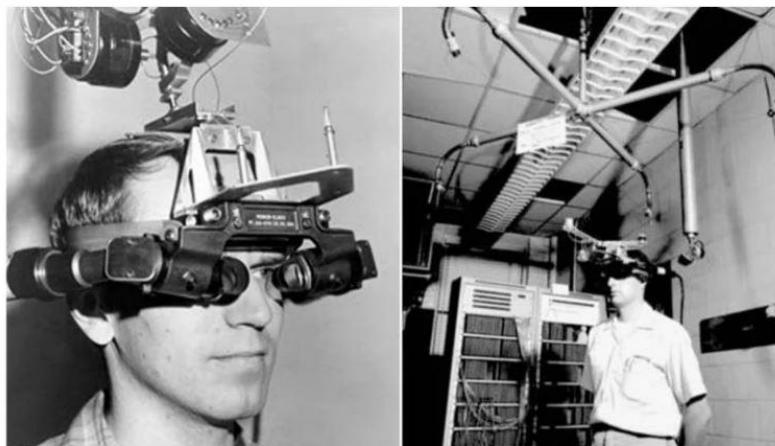
Slika 4: Sensorama – Morton Heilig [23]



Slika 5: Telesphere mask [24]

Slijedeći veći pomak kod razvoja uređaja za virtualnu stvarnost napravio je Ivan Sutherland 1965. godine, nastavivši rad Mortona Heiliga. Sutherland je prvo koristio dvije katodne cijevi koje je pozicionirao kraj korisnikovih ušiju. Takva instalacija na ljudskoj glavi nije pretjerano prikladna s obzirom da su cijevi teške i vrše pritisak na glavu. Stoga je on još ugradio i mehaničku ruku koja je pridržavala cijeli sistem. Mehanička ruka imala je i sustav koji je mjerio korisnikov smjer pogleda. Danas su zaslone koji se montiraju na glavu (HMD-ovi) puno lakši i ne koriste katodne cijevi za zaslone. Taj koncept nazvan je „*The Ultimate Display*“ a uređaj „*The sword of Damocles*“ [25]. Slika 6 prikazuje Sutherlandov uređaj. Dok je radio na svom HMD-u, Sutherland razvija i tehnologiju kojom bi prikazivao kompjutorski generirane scene umjesto analognih slika. Njegov kompjuter je tako generirao slijed slika koje su se prikazivale u kratkim vremenskim intervalima i simulirale današnji pojam videa. U tom slijedu slika mogla se vidjeti virtualna kocka i uređaj je pratio položaj glave i očiju i prilagođavao stereoskopsku

sliku ovisno o dobivenim informacijama. Na internetskoj stranici YouTube može se vidjeti Sutherlandov uređaj kako radi i prikazuje stereoskopsku sliku kocke [26].



Slika 6: Ivan Sutherland „The sword of Damocles“ [27]

Slijedi nekoliko godina zatišja po pitanju razvoja virtualne stvarnosti sve do 1987. godine kada je Jaron Lanier osnovao prvi studio za programiranje virtualne stvarnosti i sa Tomom Zimmermanom napravio „*The Data Glove*“ (rukavicu koja služi kao ulazna jedinica za interakciju sa virtualnom stvarnosti) i „*Eyephone*“ HMD uređaj koji je imao (engl. *Liquid Cristal Display*) LCD ekrane svaki za jedno oko, sa čime se postizala percepcija dubine u virtualnom prostoru. Smatra se da je Lanier prvi uspostavio termin virtualne stvarnosti koji je postao društveno prihvaćen i danas se koristi kao takav [28].

Nastavlja se razvoj rukavica za VR i 1989. godine firma Mattel za firmu Nintendo plasira na tržište „*The Power Glove*“, koji nije imao velik uspjeh, čak je bio i predmet ismijavanja.

Početkom 90' NASA-in inženjer Antionio Medina razvija VR sustav uz pomoć kojega osoba može pilotirati robotskog rovera po Marsu, sustav se zvao „*Computer Simulated Teleoperation*“. Osim NASA-inih sustava, počeli su se razvijati i neki komercijalni uređaji i jedan je bio 1991. godine kada je *Virtuality* grupa lansirala arkadne igre u kojima su se ljudi mogli igrati u 3D svijetu (koristeći HMD) umreženi sa drugim ljudima (npr. Pac Man-a) [29]. Slika 7 prikazuje arkadni sustav *Virtuality*-a.



Slika 7: Arkadni VR uređaji [30]

Početkom 90' godina osmišljen je i predstavljen CAVE (Cave Automatic Virtual Environment), kojeg su napravili C. Neira, D. Sandin, T. DeFanti et al. sa sveučilišta u Illinoisu. Sustav CAVE-a je funkcionirao na način da su se na zidove, pod i strop sobe projicirale slike. Osoba je imala stereoskopske naočale da bi mogla percipirati 3D sliku. Neke verzije su imale i tehnologiju za praćenje pokreta na naočalama korisnika, tako da se točna slika mogla projicirati na zidove kako se osoba kretala [31], [32].

Nintendo je 1995. godine plasirao i „*Virtual Boy*“, konzolu za gledanje trodimenzionalnih slika. On je prikazivao sliku (jednu za svako oko) na monokromatskom crvenom LCD zaslonu koji je mnogima zadavao glavobolje [33]. Izdane su i 22 igre, ali ovaj uređaj također nije polučio uspjeh, zbog cijene, zbog zaslona, zbog glavobolje koju je zadavao korisnicima i nedovršenih igara. Na slikama 8 i 9 prikazani su „*The Power Glove*“ i „*Virtual Boy*“.



Slika 8: Nintendo „The Power Glove“ [34] Slika 9: Nintendo „Virtual boy“ [35]

Istraživači sa sveučilišta Emory i Georgia Tech su napravili 1997. godine VR sustav koji je bio napravljen kao ratna zona, a to je bilo zamišljeno kao sustav za liječenje veterana od PTSP-a. Bio je poznat kao „Virtualni Vijetnam“ [36]. Slika 10 prikazuje Virtualni Vijetnam.



Slika 10: Virtualni Vijetnam [36]

U kontekstu vojnih primjena koristio se i NVR (engl. *Networked Virtual Reality*) gdje se NVR koristi kako bi se omogućilo zapovjedniku u vojsci da u realnom vremenu vidi 3D slike terena sa različitih lokacija (npr. drugih država), sa zemlje ili iz zraka. Takvi sustavi zahtijevaju da određeni kriteriji komunikacije (npr. širina pojasa, latencija i pouzdanost) mrežnih sustava budu ispunjeni [37].

Zyda u radu iz 2016. godine spominje kako je bilo zatišja po pitanju razvoja VR-a od oko 1996. godine pa sve dok Oculus nije napravio svoju kampanju, spomenutu dalje u tekstu, i ponovno oživio interes za VR, kada počinje nova era uređaja, sa sličnim problemima (misleći pritom na mučninu u VR-u) [38].

2010. godine *Google street view* dobiva podršku za stereoskopsku sliku, a iste godine Lucky Palmer radi prototip za Oculus Rift i dvije godine kasnije je lansirana kampanja na *Kickstarter*-u (platformi za skupljanje donacija za firme početnike i slično). Slika 11 prikazuje Oculus Rift DK1. Ovaj uređaj je prva modernija verzija HMD-a na koju se nastavljaju svi daljnji modeli HMD-ova, a neki od njih su opisani u tablici Tablici 1.



Slika 11: Oculus Rift DK1 [39]

2.2. Princip rada i klasifikacija novijih HMD uređaja

Uređaji za virtualnu stvarnost koji se danas koriste su mnogo napredniji u odnosu na uređaje od prije 30-ak godina, što je i logično s obzirom na razvoj tehnologije. Oni se i dijele na uređaje za virtualnu stvarnost, na one za proširenu stvarnost i na uređaje za miješanu stvarnost. Trenutno u literaturi nema službene klasifikacije i podjele tih uređaja, već pojedini autori sami stvaraju podjelu na temelju nekih kriterija koje sami postave, često na web stranicama [40].

U Tablici 1. navedeni su odabrani uređaji za virtualnu/proširenu/miješanu stvarnost dostupni na tržištu s karakteristikama koje definiraju razine kvalitete, odnosno cijene, a specifikacije su preuzete sa službenih stranica proizvođača i stranica za usporedbu uređaja.

Tablica 1. Uređaji za virtualnu, proširenu i miješanu stvarnost

Virtualna stvarnost							
Uređaj	Rezolucija (po oku)	Frekvencija osvježavanja	Zaslon	Širina vidnog polja (engl. <i>Field of View</i> , <i>FOV</i>)	Cijena (u dolarima - USD \$)	Masa	Godina plasiranja na tržište
Oculus Rift DK1	640x800 px	60 Hz	LCD	110°	\$399	380 g	3/2013
Oculus Rift DK 2	960x1080 px	75 Hz	OLED	100°	\$350	440 g	6/2014
Oculus Rift CV1	1080x1200 px	90 Hz	OLED	110°	\$399	470 g	3/2016
Oculus Rift S	1280x1440 px	80 Hz	LCD	115°	\$399	610 g	5/2019
HTC Vive	1080x1200 px	90 Hz	OLED	110°	\$499	470 g	4/2016
HTC Vive pro (bežični)	1440x1600 px	90 Hz	AMOLED	110°	\$799	555 g	5/2018
PlayStation VR	1920x1080 px	120 Hz	5.7" OLED	100°	\$350	610 g	10/2016
Samsung Gear VR	Ovisi o mobilnom uređaju	/	OLED/ AMOLED	101°	\$129	345 g	11/2015
Google Daydream	Ovisi o mobilnom uređaju	/	OLED/ AMOLED	100°	\$99	261 g	11/2016
Valve Index	1440x1600	80/90/120/144 Hz	LCD	120°	\$999	809g	6/2019

Proširena/miješana stvarnost							
Uređaj	Rezolucija (po oku)	Frekvencija osvježavanja	Zaslon	FOV	Cijena	Masa	Godina plasiranja na tržište
Microsoft Hololens 2 (mixed reality)	Holografška rezolucija 2.5 tisuća svjetlosnih točaka	/	Holografške leće	/	\$3500	566 g	11/2019
Samsung Odyssey (mixed reality)	1440x1600 px	90/60 Hz	Dual 3.5" AMOLED	110°	\$399	644 g	10/2017
Samsung Odyssey + (mixed reality)	1440x1600 px	90/60Hz	Dual 3.5" AMOLED	110°	\$500	594 g	1/2020
HP Windows mixed reality	1440x1440 px	90 Hz	2.89" (x2)	90°/100°	\$299	834 g	10/2017
Sve u jednom; (engl. „standalone“, „all in one“) uređaji za virtualnu stvarnost							
Uređaj	Rezolucija (ukupna)	Frekvencija osvježavanja	Zaslon	FOV	Cijena	Masa	Godina plasiranja na tržište
Oculus Quest	2880x1600 px	72 Hz	OLED	100°	\$399-\$499	570 g	5/2019
Oculus Quest 2	1832x1920 px (po oku)	72-90 Hz	LCD	92° (H), 90° (V), 129° (D)	\$299 za 64 GB	503 g	10/2020
Oculus Go	2560x1440 px	60 Hz-72 Hz	LCD (x2)	100°	\$199-\$249	467 g	5/2018
Pico Neo	2880x1600 px	90 Hz	LCD (x2)	101°	\$749	/	1/2017
Pico Neo 2	3,840x2,160 px	75 Hz	LCD	101°	\$699 / \$899	692 g	5/2020

Na osnovu usporedbe dane u ovoj tablici, vidljivo je da većina uređaja dostupnih na tržištu koristi rezoluciju veću od HD rezolucije (1280x720 px), najmanju rezoluciju ima Oculus Rift DK1 (640x800 px), dok najveću rezoluciju imaju PlayStation VR (1920x1080) i HTC Vive Pro/Valve Indeks (1440x1600). Cijene se kreću od cca \$90 (Google Daydream) i \$130 (Samsung Gear VR) do cca \$799 za Htc Vive Pro ili \$699 Pico Neo 2, ili najskuplji Microsoft Hololens 2 za \$3500. Najlakši uređaj je Google Daydream (261 g) dok je najteži HP Windows Mixed Reality (834 g).

Princip rada HMD uređaja, preciznije HTC Vive uređaja koji se koristi u ovom istraživanju opisan je u ovom poglavlju. Ovaj uređaj je izabran za korištenje u istraživanjima jer je u trenutku planiranja istraživanja bio najnapredniji komercijalni VR uređaj. Sustav funkcionira tako da se prvo postave 2 bazne stanice (engl. *lighthouse*) dijagonalno u prostor koji je predviđen za korištenje. Bazne stanice u kojima se nalaze IR LED (engl. *Infra Red*) diode emitiraju IR snop i sinkroniziraju se s HMD-om. Dok je uređaj u upotrebi, bazne stanice emitiraju laserske zrake 60 puta u sekundi horizontalno i vertikalno, a svjetlosni senzori na HMD-u i na kontrolerima prepoznaju svjetlosni impuls. Ako senzori prepoznaju svjetlosni impuls, oni odbrojavaju, odnosno čekaju da senzor bude pogođen sa laserskim zrakama i ako je to slučaj, senzor zna kada i na kojoj točno lokaciji je receptor pogođen u odnosu na položaj glave i bazne stanice, i prema tim informacijama prilagođava sliku koju korisnik gleda [41].

Ako bazne stanice nisu sinkronizirane, može doći do naglog pomicanja ili nestajanja slike koju korisnik gleda. Također, baznim stanicama mogu smetati i odbljesci od prozora ili televizora. Sam HMD uređaj je spojen sa (engl. *High Definition Multimedia Interface*) HDMI kablom na računalo i koristi resurse računala za prikaz slike za što mu je nužna određena snaga grafičke kartice, procesora i kapacitet memorije. Na HMD-u se može podesiti razmak između očiju, udaljenost leća od očiju i mogu se staviti slušalice za jači osjećaj imerzije.

Slika 12 prikazuje rastavljeni HTC Vive i njegove komponente redom: 1. i 2. vanjsko kućište, 3. kućište za leće, 4. kućište, 5. remen za glavu, 6. srednja sklopka, 7. prednji senzori, 8-12. sklopka za pomicanje razmaka između očiju, 13. pjenasta spužva, 14. plastika na koju ide pjenasta spužva, 15. postolje za leću, 16. leća, 17. postolje za leću sa lećom, 18. i 21. AMOLED (engl. *Active Matrix OLED*) zasloni, 19. matična ploča, 20. prednja kamera. Sustav praćenja položaja korisnika moguć je na dva načina, vanjskim praćenjem (engl. *outside-in tracking*) i obrnutim praćenjem HMD-a prema okolini (engl. *inside-out tracking*) [42].

Vanjsko praćenje funkcionira na način da je uređaj koji prati trenutnu poziciju HMD-a i kontrolera postavljen sa strane u prostoru i usmjeren je prema HMD-u i kontrolerima (u slučaju HTC Vive-a su to bazne stanice, ili kod Oculus Rifta DK 1/2 to je senzor koji se postavljao na monitor, a kod novije verzije Oculus-a to je senzor koji se postavlja na tronožac). Drugi navedeni način praćenja funkcionira tako da je sustav za praćenje na samom HMD-u i prati položaj u odnosu na okolinu, kao kod Microsoft HoloLensa ili Oculus Questa, a pozitivna strana tog načina praćenja je da nema dodanih uređaja koji se postavljaju u prostor i jednostavnije je za korištenje.



Slika 12: Rastavljeni HTC Vive uređaj [41]

2.3 Područja primjene virtualne stvarnosti

Uređaji za virtualnu stvarnost su alat koji se koristi za različita područja primjene. Jedno područje primjene su za medicinske svrhe [43], [44]. Jedna od njih su vizualizacije dijelova tijela i organskih sustava koje se koriste za učenje studenata medicine. Druga svrha su istraživanja vezana uz psihologiju i načine razmišljanja ljudi koji imaju neke kognitivne poteškoće, također i u vidu pomoći pri tretmanu različitih fobija. Istraživanja su klaustrofobija i akrofobija još kasnih 90' u sklopu prvih radova na tom području [45], [46]. Noviji rad iz 2016. godine (Shunnaq i Raeder), predlaže model za sistematično korištenje virtualne stvarnosti kod pomoći pri tretmanu fobija [47].

Noviji smjerovi primjene sustava za virtualnu stvarnost sežu i u kriminologiju i istraživanje faktora koji utječu (ili bi mogli utjecati) na počinjenja kaznenih djela [48]. Uređaji za VR koriste se i u svrhe vizualizacija u arhitektonskim planovima, za postizanje boljeg dojma budućeg izgleda potencijalne građevine. Koriste se i za bolje razumijevanje percepcije i pokreta u sportu i kako se može iskoristiti za treniranje sportaša [49]. Istraživanja vezana uz kibermučninu se rade i na uređajima za proširenu stvarnost, kao što je Microsoft HoloLens, gdje su u istraživanju koje su proveli Vovk et al. rezultati pokazali da je manji osjećaj kibermučnine nego kod uređaja za virtualnu stvarnost [50].

Široko područje primjene su igre sa interaktivnim sadržajem. Platforme kao Steam, Epic Games Store ili Origin su sustavi za plasiranje i prodaju igara. Neke igre su adaptirane ili imaju nastavke iz klasičnog oblika igranja u 2D tehnologiji sa mišem i tipkovnicom ili *joystick*-om za sustave VR-a (npr. Fallout 4 VR, Myst, Half Life Alyx). U ovoj disertaciji su korištene neke igre u svrhu istraživanja parametara koji utječu na kibermučninu, jer u svojim postavkama sadrže elemente koji odgovaraju istraživanom sadržaju. Odabrana su 2 takva sadržaja, prvi kao Project Cars¹ jer ima varijantu za vožnju auta u 2D i VR okruženju, što je odgovaralo za istraživačko pitanje za usporedbu utjecaja medija na kibermučninu. Druga igra je Talos Principle VR², koji ima implementirane različite brzine kretanja, a brzina kretanja je jedna od varijabli koje utječe na kibermučninu, što je još jedno istraživačko pitanje.

¹ https://store.steampowered.com/app/234630/Project_CARS/

² https://store.steampowered.com/app/552440/The_Talos_Principle_VR/

3. Sustav vida i nastajanje stereoskopske slike

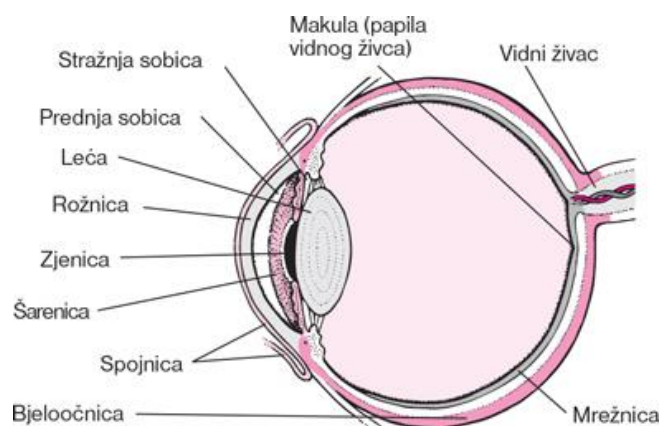
Čovjek ima po tradicionalnoj podijeli 5 osnovnih osjetila putem kojih percipira okolinu; vid (70%), sluh (20%), njuh (5%), okus (1%) i osjet dodira (4%) [51]. Osjetila se dijele na osnovna i dodatna: termocepcija (toplina/hladnoća), nocicepcija (bol), osjet ravnoteže, propiocepcija (položaj i usmjerenje tijela). Ovi osjeti spadaju u eksteroceptivne osjete koje čovjek aktivira putem vanjskog podražaja. Postoje još i interoceptivni, odnosno visceralni (osjeti iz unutarnjih organa) i duboki osjeti (mišići i kosti, osjet dubokog tlaka, vibracije) koje čovjek osjeća unutar svojeg tijela [52].

3.1 Sustav vida

Za virtualnu stvarnost najbitniji su osjet vida i propiocepcija, jer oni uz sluh najviše utječu na osjećaj imerzije i položaja tijela u samom virtualnom okruženju [5], [53]. Sustav vida kod ljudi kompleksan je mehanizam i mozak vrlo brzo prebacuje svoj fokus s različitih podražaja konstantno proračunavajući sve parametre koje percipira. Građa oka je složen sustav koji se sastoji od dijelova od kojih su neki vanjski dijelovi (šarenica, zjenica i bjeloočnica) a neki unutarnji (rožnica, leća, spojnica, žilnica, vidni živac, žuta pjega, i mrežnica) [54]. Rožnica je prozirna kupola na površini oka kroz koju prolazi svjetlo i ona pomaže fokusirati svjetlo na mrežnicu; nakon što svjetlo prođe kroz rožnicu, prolazi kroz zjenicu (crni otvor na šarenici) i ona se ovisno o količini svjetla širi ili sužava. Šarenica je ravni dio oka i jedinstvena je za svakog čovjeka. Može biti različitih boja dok neki ljudi imaju dvije različite šarenice (heretokromija). Boja šarenice ovisi o apsorbiranoj količini svjetla, a ta količina ovisi o gustoći granula melanina [55]. Šarenica upravlja širenjem zjenice sa 2 mišića; sfinkterom (sužava zjenicu) i dilatatorom (proširuje zjenicu). Što je zjenica veća, šarenica je manja i obratno.

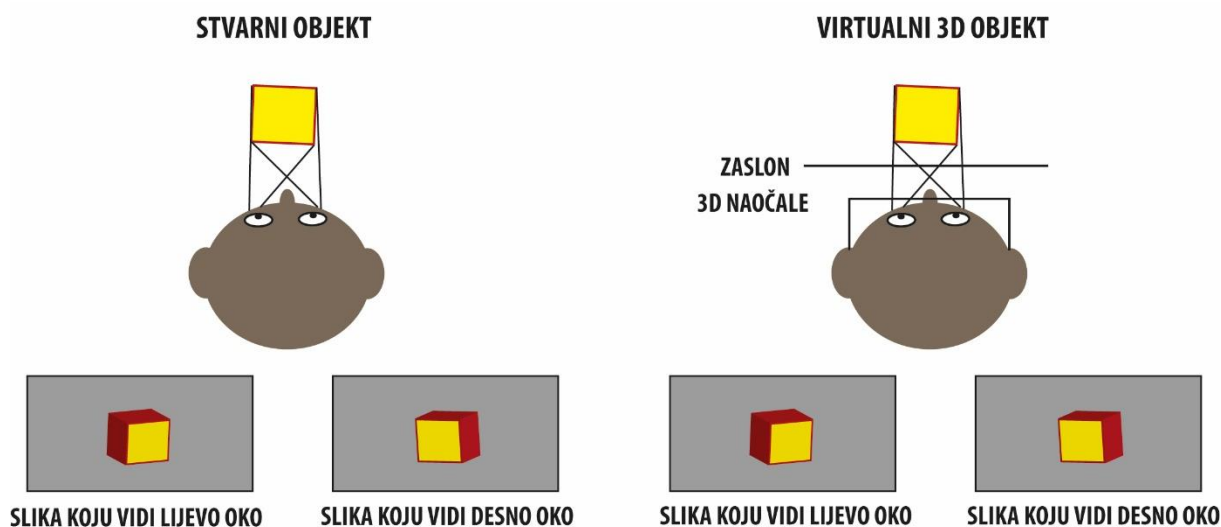
Nakon što prođe kroz rožnicu i zjenicu svjetlost se lomi na leći i pada na mrežnicu. Mrežnica je najkompleksniji dio oka na kojoj je smješteno 9 slojeva živčanih stanica, od kojih su neke pigmentni sloj, fotoosjetljive stanice štapići i čunjići, sloj vlakana vidnog živca i sloj ganglijskih stanica. Najosjetljiviji dio mrežnice je fovea koja je odgovorna za oštar vid. Štapići i čunjići služe za pretvaranje optičkog signala u kemijske i električne, koji se prenose putem ganglijskih stanica preko očnog živca u mozak. Slika u obliku impulsa putuje kroz mozak putem vidnih (optičkih) traktova do drugog djela mozga gdje se nalazi primarna vidna kora u medijalnom okcipitalnom režnju mozga, gdje se signal obrađuje i interpretira. Slika 13 prikazuje dijelove oka. Funkcije oka su adaptacija (na tamu/svijetlo), kromatska adaptacija, oština vida –

akomodacija (sposobnost oka da izoštri sliku objekta kojeg gledamo), kontrast, brzina zapažanja i percepcija dubine [56].



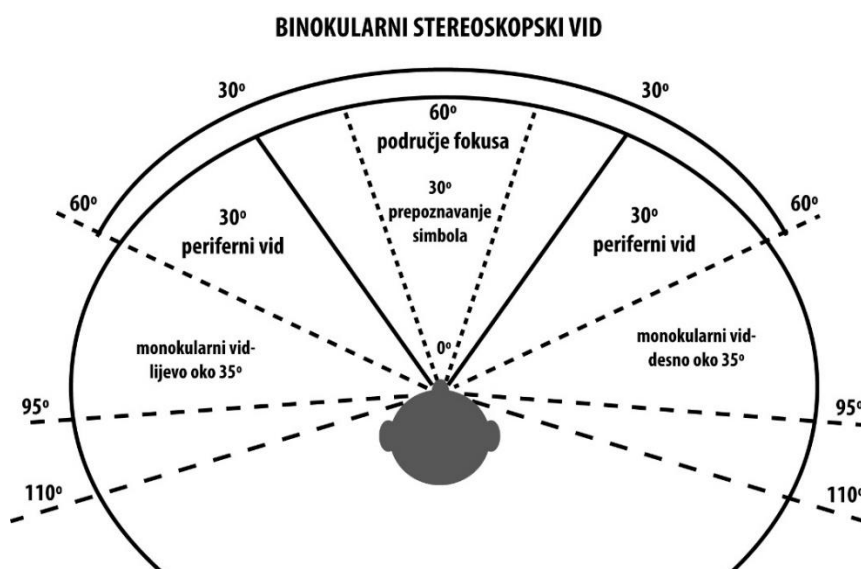
Slika 13: Dijelovi oka [57]

Ljudski vidni sustav je binokularan, što znači da korištenjem oba oka stvara potpunu sliku u mozgu. Čovjek ima sposobnost stvaranja stereoskopske slike, što mu omogućava percepciju dubine, koja omogućava procjenu koliko su objekti koje fokusira blizu ili daleko. Bez percepcije dubine ne bi bili sposobni obavljati neke svakodnevne radnje ili voziti automobil. Za sustav virtualne stvarnosti bitna je stereoskopska slika, jer ona daje dojam trodimenzionalnosti. Svako oko vidi malo drugačiju sliku koju mozak naknadno spaja. Na slici 14 prikazan je primjer gledanja u stvarnosti i sa uređajem za virtualnu stvarnost.



Slika 14: 3D objekt u stvarnosti i u virtualnom okruženju

Vidni sustav kod čovjeka uvelike se oslanja na mogućnost razlikovanja boja i razina osvjetljenja u prostoru. Širina vidnog polja (FOV), sposobnost kromatske adaptacije, osjetljivost na kontrast, oštrina vida i pozicija tijela utječu na ukupni doživljaj okoline koju čovjek promatra. Širina vidnog polja može se numerički odrediti kao horizontalna, vertikalna i dijagonalna, što znači da čovjek ima horizontalno $\sim 160^\circ$ vidnog polja (sa pribrojenim perifernim vidom), vertikalno $\sim 120^\circ$ i dijagonalno $\sim 120^\circ$, što je i vrijednost koja se najčešće koristi kad se opisuje koliko čovjek ima širinu vidnog polja [58]. Na slici 15 je prikazana širina vidnog polja kod čovjeka. Perimetrija u oftalmologiji je metoda određivanja širine vidnog polja kod pacijenata. Postoje različiti testovi ispitivanja širine vidnog polja kao što je konfrontacija, kinetička perimetrija (pomični svjetlosni podražaji) i statična perimetrija (statični svjetlosni podražaji).



Slika 15: Širina vidnog polja kod čovjeka

3.2. Vestibularni sustav i uho

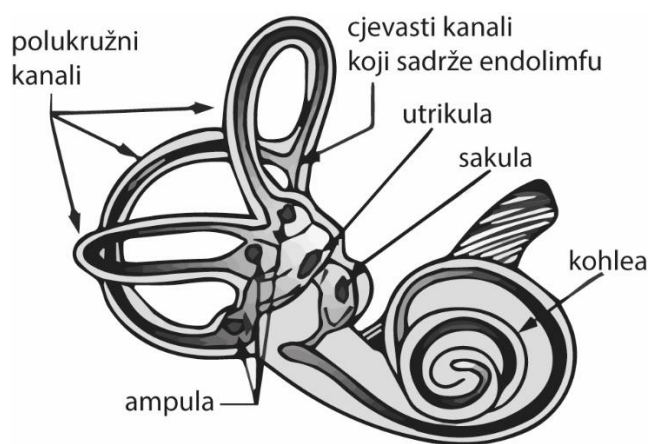
Organ uha kao još jedan dvojni organ kod čovjeka ima višestruku ulogu. Prva i očita je ta da nam omogućava da čujemo zvuk (koji se definira kao tlačni val koji se širi zrakom) i prepoznamo iz kojeg smjera dolazi. Sastoji se od tri dijela, vanjskog, srednjeg i unutarnjeg uha. Druga funkcija je sustav ravnoteže ili vestibularni sustav (lat. *organum vestibulare*) a nalazi se u predvorju unutarnjeg uha, i ima dvije temeljne funkcije [59]:

- a) dinamičku (koja bilježi kutno ubrzanje glave po sve 3 osi),
- b) statičku (koja bilježi statični položaj glave u odnosu na silu težu i linearno ubrzanje).

Također ima i tri zadaće, kao posljedicu povezanosti vestibularne jezgre s malim mozgom, s jezgrama okulomotornog sustava te s kralježničnom moždinom [59]:

- 1) Održavanje ravnoteže i stava tijela.
- 2) Usklađivanje pokreta glave s pokretima trupa.
- 3) Usklađivanje pokreta glave s pokretima očiju i održavanje trajno oštre slike gledanog predmeta na obje mrežnice, dok se glava pomiče a oči miruju i obrnuto.

Slika 16 prikazuje vestibularni dio uha.



Slika 16: Vestibularni dio uha

Draper u svojoj disertaciji istražuje vezu između vestibularnog sustava i virtualnih sistema te negativnom posljedicom mučnine koja se događa [60]. On opsežno istražuje pojam vestibularno-okulomotornog refleksa (VOR) koji je definiran kao automatski refleks koji pomaže stabilizirati sliku na mrežnici oka, koje je potkrijepio sa različitim eksperimentima koje je proveo. Zaključuje da VOR nije zasebni entitet koji se može promatrati odvojeno od drugih okulomotornih procesa i potrebno je promatrati proprioceptivne promjene i vizualne podražaje, jer VOR nije samo refleks.

4. Subjektivne metode procjene mučnine, prisutnosti i imerzije

Procjene mučnine

Problem bolesti putovanja, kako se na hrvatski prevodi (engl. *motion sickness*) istražuje se već od sredine 20. stoljeća i javlja se prilikom vožnje u prijevoznim sredstvima. Ta neugodna senzacija javlja se kod ljudi i manifestira se najčešće sa simptomima vrtoglavice, mučnine, znojenja, slinjenja, pospanosti, dezorijentiranosti i onesposobljenosti te se povezuje s vagusnim živcem i autonomnim živčanim sustavom [61].

Mnogo se istraživalo u smislu tzv. simulatora letenja i mučnine (engl. *sickness simulator*) korištenih u vojne svrhe, odnosno pilota koje se testira sa različitim upitnicima dok voze simulatore za prave avione. Jedan od najpoznatijih upitnika koji se koristi za istraživanje ove problematike je Kennedyjev SSQ (eng. *Simulator Sickness Questionnaire*) iz 1993. godine, koji je nastao iz MSQ upitnika (engl. *The Pensacola Motion Sickness Questionnaire*) iz 1965. godine [62]. Kennedy je sa suradnicima izradio SSQ zbog razlika u simptomima koji se javljaju u simulacijama letenja, jer su simptomi blaži i rjeđi nego kod mučnine prilikom stvarnog kretanja koju ljudi doživljavaju.

SSQ upitnik je sustavno podijeljen u tri kategorije simptoma;

- 1) simptomi mučnine (slinjenje, znojenje, mučnina, podrigivanje..),
- 2) okulomotorne poteškoće (zamor očiju, teškoća fokusiranja, mutan vid, glavobolja) i
- 3) simptome dezorijentiranosti (mantanje i vrtoglavica), mantanje (sa zatvorenim očima), mantanje (sa otvorenim očima), umor, znojenje i teškoća koncentriranja.

Sve simptome se subjektivno ocjenjuje na skali od 0-3, gdje je 0 bez simptoma a 3 teži oblik simptoma. Kako bi se dobili rezultati za 3 skupine simptoma, numerička vrijednost zbroja odgovora od 0-4 se množi sa odgovarajućim faktorom i na kraju se sve zbraja u finalni rezultat (engl. *Total Score*). Njegov upitnik se i dalje koristi za istraživanje kibermučnine kod virtualne stvarnosti u originalnom ali i prilagođenom obliku (u smislu da su nakon SSQ-a nastali i neki drugi upitnici koji dijele ista i slična pitanja) [63].

Goldingov MSSQ (engl. *Motion Sickness Susceptibility Questionnaires*) upitnik koristi se za predviđanje individualnih razlika u bolesti putovanja na temelju različitih stimulansa (brod, vlak, auto, avion i sl.). Taj upitnik ima kraću (18 pitanja) (9 pitanja se ponavlja 2 puta za različita životna razdoblja) i opširniju verziju (54 pitanja), u kojima se istih 9 pitanja ponavlja 6 puta za različita životna razdoblja [64], [65].

Keshavarz i Hecht predstavljaju istraživanje u kojem su koristili FMS (engl. *Fast Motion Sickness Scale*) skalu za brzo mjerenje mučnine (koja se temelji na Young et al. skali iz 2003.

godine) i ima 20 stupnjeva gdje je 0 = bez mučnine a 20 = izražena mučnina. Oni su u svom istraživanju imali 2 eksperimenta u kojima su svake minute koristili FMS skalu i na kraju svakog eksperimenta SSQ upitnik [66].

Gianaros et al. su napravili svoj MSAQ (engl. *Motion Sickness Assessment Questionnaire*) od 16 pitanja koji su testirali na optokinetičkom valjku koji izaziva osjećaj mučnine [67]. Ovakva istraživanja s anketama i upitnicima pomažu prilikom klasificiranja bolesti putovanja i kibermučnine, jer su ti pojmovi i njihov kontekst povezani.

Također, Ames et al. u svom radu prikazuju svoj VRSQ (engl. *Virtual Reality Symptom Score*) od ukupno 13 pitanja koje dijele u 2 kategorije (generalni tjelesni simptomi i simptomi vezani uz vid) [68].

Prisutnost i imerzija

Witmer i Singer u svom radu iz 1998. godine bave se pitanjem osjećaja prisutnosti ispitanika (engl. *presence*) u virtualnim okruženjima. Definiraju osjećaj prisutnosti kao sposobnost korisnika da se osjeća kao dio sustava virtualne stvarnosti i da sustavi koji pružaju veći osjećaj uključenosti (engl. *immersion*) samim time omogućuju veći osjećaj prisutnosti. Njihov PQ (engl. *Presence Questionnaire*) upitnik bavi se određivanjem razine prisutnosti u virtualnom okruženju kroz 32 pitanja [69].

Usoh et al. su se u svom istraživanju usredotočili na problematiku tzv. testa realnosti, a to je upitnik koji se koristi u istraživanjima dojma realnosti. To konkretno znači da bi rezultati upitnika koji se bave osjećajem prisutnosti trebali u stvarnom okruženju imati veći ukupni rezultat nego u virtualnom okruženju. Oni su ispitanicima dali Witmer i Singerov upitnik i svoj, (koji su razvili Slater, Usoh and Steed) SUS upitnik. Nisu našli značajnu razliku u rezultatima kod oba upitnika [70].

Opsežniji pristup upitnicima za evaluaciju osjećaja prisutnosti u virtualnim okruženjima nudi C. Youngblut u svom izvješću iz 2003. godine [71].

Razlika između simulatora letenja, CAVE (engl. *Cave Automatic Virtual Environment*) sistema i virtualnog okruženja je stupanj uključenosti (tj. imerzije, koji je jedan od tri komponente VR-a) i prisutnosti unutar sustava. Podloga problematike negativne posljedice koja se javlja u obliku mučnine kod svih sistema je činjenica da se korisnik ne kreće stvarno kroz prostor (ili se fizički kreće vrlo malo) a u sustavu simulatora letenja ili VR-u ima dojam kretanja. Često se za primjer daje situacija u kojoj osoba sjedi u vlaku pored drugog vlaka koji kreće, pa osoba nije sigurna jel ona krenula unatrag ili susjedni vlak kreće prema naprijed. Ta senzacija se naziva i osjećaj pseudo-kretanja (engl. *vection*), o čemu više u sljedećem poglavlju.

4.1 Teorije o kibermučnini i definicije pseudo-kretanja

Postoji nekoliko teorija o kibermučnini, koja se istražuje kroz biološki aspekt u smislu posljedica koje ljudi osjećaju tokom i nakon korištenja uređaja za virtualnu stvarnost (glavobolja, vrtoglavica, zamor očiju, znojenje ruku, itd.). Neke teorije koje opisuju kibermučninu se povezuju s teorijama o simulatorima letenja koji imaju sličan efekt. Kennedy i Frank u svom izvještaju iz 1985. godine govore upravo o teorijama bolesti putovanja povezanim sa simulatorima letenja. Opisuju nekoliko teorija; teorija prekomjerne stimulacije (do mučnine dolazi dok je vestibularni sustav osobe predugo izložen stimulusima), teorija pomaka fluida (podijeljena na 2 kontradiktorne, jedna kaže kako je mučnina povezana sa nedostatkom cerebralne cirkulacije, a druga teorija daje objašnjenje da je mučnina posljedica prevelike cerebralne cirkulacije), teorija tjeskobe/straha (teoretizira oko nedokazane povezanosti mučnine i tjeskobe), teorija o ravnoteži autonomnog živčanog sustava (povezuje se s lijekovima koji se daju protiv mučnine), teorija toksične reakcije (objašnjava da povraćanje kao posljedica digestije toksina ima veze sa bolesti putovanja, u smislu da čovjek povrati prilikom bolesti putovanja, i interpretira stimulus kao toksin) i teorija percepcijskog konflikta (poznata kao i teorija senzorskog sukoba) [72]. Kod sustava virtualne stvarnosti najčešće se spominju teorija senzorskog sukoba (engl. *sensory conflict theory*), posturalne nestabilnosti (engl. *postural instability theory*), teorija otrovanja (engl. *poison theory*) i teorija gravitacijskog okvira (engl. *rest frame theory*) [73], [2], [8]. Tablica 2 prikazuje teorije o kibermučnini, preuzeta je u cijelosti iz [8].

- 1) Teorija senzorskog sukoba (engl. *sensory conflict theory*) – temelji se na nepodudaranju osjetila koja su zadužena za dojam položaja tijela, osjetila za pokret, čiji konflikt ima za posljedicu osjećaj mučnine odnosno kibermučnine ako se govori o virtualnoj stvarnosti [73]. Dva osjetila su vestibularni sustav i vizualni sustav a senzorni konflikt se javlja dok mozak prima signale koji se ne podudaraju s već naučenim i poznatim uzorcima. Tako se za primjer kibermučnine često uzima simulator vožnje uz pomoć 3D monitora ili u virtualnoj stvarnosti, gdje osoba prilikom vožnje ima vizualnu percepciju promjene scene/okoline oko sebe i ima osjećaj pseudo kretanja, ali se zapravo fizički ne pomiče. Ima i osjet ubrzanja i usporavanja prilikom interakcije s pedalama, koji je zapravo konfuzan sa stvarnom situacijom, u kojoj osoba relativno mirno sjedi u stolcu. Ova teorija je najstarija i o njoj pišu Reason i Brand još 1975. godine [74], [75].

- 2) Teorija posturalne nestabilnosti (engl. *postural instability theory*) – govori o tome kako je uzrok mučnini, odnosno kibermučnini duže izlaganje tijela posturalnoj nestabilnosti. Prilikom imerzije u virtualnu stvarnost dinamičnost scena uzrokuje lagano pomicanje čovjeka naprijed-natrag, lijevo desno, što u konačnici ima negativni efekt kibermučnine.
- 3) Teorija otrovanja (engl. *poison theory*) – dijeli se na 2 verzije; indirektnu hipotezu otrovanja koja se objašnjava kroz biološki razvoj mehanizma kod čovjeka koji povezuje mučninu s bolesti putovanja, koji bi kod digestije potencijalnog otrova povratili isti. Druga, direktna hipoteza otrovanja tvrdi da je mučnina povezana sa toksinima jer su evolucijski povezani s aktivnostima koje su uključivale dugotrajno kretanje i ubrzanje [76].
- 4) Teorija gravitacijskog okvira (engl. *rest frame theory*) – temelji se na teoriji da se osoba oslanja na svoju percepciju što je „gore/iznad“ u odnosu na svijet, a gradacija simptoma koje osjeća bi trebala biti povezana sa stvarnom gravitacijom. Taj osjećaj je sličan onom kojeg opisuje teorija posturalne nestabilnosti, ali ova teorija je općenitija i koristi se kad teorija posturalne nestabilnosti nije adekvatna iz nekog razloga.

Tablica 2: Teorije o kibermučnini (sadržaj tablice preuzet iz [8])

Teorija	Kratki opis	Najrelevantniji virtualni aspekti
Teorija senzorskog sukoba	Ako se podražaji iz vanjskog okruženja različito doživljavaju različitim osjetilima, simptomi kibermučnine će se pojaviti.	Praćenje pokreta, vekcija (pseudo kretanje) i navigacija.
Teorija posturalne nestabilnosti	Ako osoba nije u stanju održati položaj tijela koji je potreban s obzirom na vanjske podražaje, simptomi će se pojaviti.	Orijentacijski znakovi, i položaj tijela tokom imerzije u virtualnu stvarnost.
Teorija otrovanja	Ako je pogrešno opaženo okruženje moglo biti posljedica otrovanja u prošlosti, simptomi će se pojaviti.	Realističnost, praćenje pokreta i navigacija.
Teorija gravitacijskog okvira	Ako je smjer kojeg osoba doživljava gore/iznad različit od gore/iznad zbog gravitacije, simptomi će se pojaviti.	Priviknutost i orijentacijski znakovi.

Palmisano et al. u svom radu iz 2015. godine kroz 4 poglavlja govore o različitom definiranju pseudo-kretanja, njegovoj važnosti, načinima mjerenja i istraživanjima vezanim uz neurološki aspekt [77]. Oni daju pregled 4 definicije pseudo-kretanja koje se javljaju u stručnim i znanstvenim člancima Web of Science baze do 2014. godine, navedene redom:

1) Vizualna iluzija kretanja kod stacionarnog promatrača – koja može biti cirkularno pseudo-kretanje (kao kod rotacijskog bubnja koji je služio kao mjerni instrument za istraživanje pseudo-kretanja) ili linearno pseudo-kretanje, koje se opisuje kao vizualna iluzija kretanja osobe (engl. *self-translation*) [78].

2) Iluzija kretanja – koja može biti inducirana i pomoću ne vizualnih osjetila, kao na primjer dok je osoba vezanih očiju, auditornom vekcijom, koja se postiže micanjem auditorne okoline oko osobe, odnosno zvučnim efektima koje daju iluziju kretanja. Također postoje i haptokinetička vekcija (osoba ima osjet pokreta dok se po njenom tijelu simulira taktilna promjena), artokinetička vekcija (osobi se pomiču ekstremiteti) i biomehanička vekcija (osoba koja stoji ili sjedi, opetovano stupa po ergometru).

3) Vizualno posredovana iluzija vlastitog gibanja (realna ili prividna) – opisuje vekciju kao pojavu koja se može proučavati ne samo kroz vizualne simulacije koje osoba pasivno promatra, već kao i situacije koje su i realne i iluzorne, npr. gledanje zaslona s pokretnim sadržajem i istovremeno hodanje po ergometru.

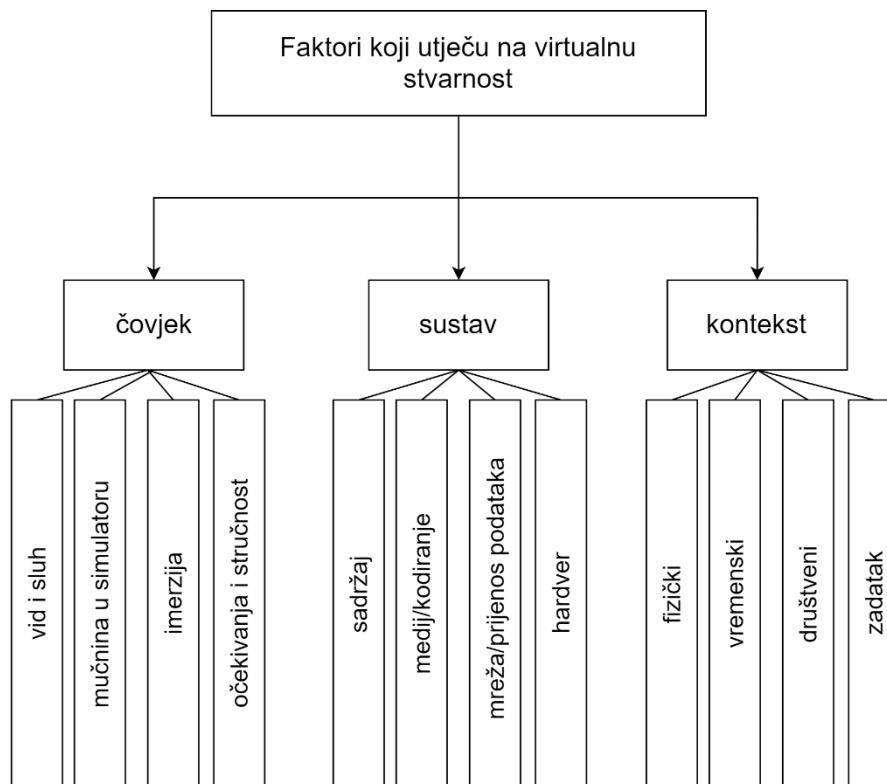
4) Svjesno subjektivno iskustvo vlastitog gibanja (realno ili prividno) – najopširniji opis vekcije koji pokriva sva različita istraživanja o iluzornom gibanju, bilo da su vizualnog ili ne vizualnog karaktera (kao primjeri u 2. definiciji) i uključuje multisenzorni pristup kao u definiciji navedenoj pod: 3) *Vizualno posredovana iluzija vlastitog gibanja*.

4.2 Čimbenici koji utječu na doživljaj virtualne stvarnosti

Ljudi različito doživljavaju virtualnu stvarnost, ovisno o dobi, spolu, količini iskustva igranja računalnih igara, uređaju koji koriste i psihičkom stanju. Pojmovi koji se vežu uz vrednovanje korisničkog iskustva su korisničko iskustvo (engl. *User Experience, UX*) i iskustvena kvaliteta (engl. *Quality of Experience, QoE*). Istraživanje korisničkog iskustva se razvilo iz istraživanja uporabljivosti/upotrebljivosti [79]. Promjena koja se dogodila prema modernijem poimanju UX-a je promjena prema shvaćanju da se UX usmjerava prema tome da je međuodnos čovjek-računalo specifično emotivno iskustvo koje omogućava pozitivno iskustvo ali ne sudjeluje u njemu [79]. Također, UX uključuje širi spektar procjene od QoE-a, emocije, zabavu, estetiku itd. Isti autori opisuju kako je QoE više usmjeren na procjenu i evaluaciju aplikacija i usluga u smislu da osobe kvantitativno evaluiraju percipiranu kvalitetu, upotrebljivost ili izvedbu [79], [80].

Kolasinski u svom izvješću iz 1995. godine govori o faktorima koji utječu na doživljaj virtualne stvarnosti koji se mogu podijeliti na tri veće skupine; faktori uređaja (simulatora), faktori čovjeka i faktori zadatka (kojeg korisnik treba izvršiti) [81]. Također, jedna novija podjela iz dokumenta iz 2020. godine, dijeli kategorije čimbenika na čovjeka, sustav i kontekst [82].

Definicija kojom definiraju QoE za imerzivne sustave glasi da je QoE „*Stupanj oduševljenja ili uznemirenosti korisnika aplikacije ili usluge koji uključuje imerzivno medijsko iskustvo. Rezultat je ispunjenja korisničkih očekivanja u pogledu korisnosti i / ili uživanja u aplikaciji ili usluzi u kontekstu korisnikove osobnosti i trenutnog stanja.*“ [13] U ovom poglavlju opisane su prve dvije skupine, dok su elementi treće (faktori okruženja/zadatka; stupanj kontrole nad sustavom, način kretanja, razina osvjetljenja, brzina kretanja itd.) opisani u poglavlju „7.1 Pregled načina kretanja u virtualnoj stvarnosti“. Elementi kao što su način kretanja, brzina kretanja i osvjetljenje su istraživani elementi na koje je stavljen fokus u ovom radu. Faktori uređaja odnose se na hardverske/softverske odlike koje se s vremenom unapređuju ali i dalje utječu na korisničko iskustvo. Ispod su navedene neke od tih karakteristika, a one se spominju i u preporukama ITU-T G.1035 iz 5/2020 koje govore o faktorima koji utječu na kvalitetu iskustva za usluge/uređaje virtualne stvarnosti, a slika 17 grafički prikazuje te faktore [82].



Slika 17: Faktori koji utječu na iskustvenu kvalitetu u VR-u [82]

1) rezolucija zaslona; definira se kao broj piksela (najmanja jedinična vrijednost) po nekom području, točnije umnožak broja piksela po širini i visini zaslona [83]. Rezolucija može prikazati kolika je rezolucija neke digitalne slike u PPI (engl. *Pixel Per Inch*). Slika 18 ispod prikazuje različite rezolucije.



Slika 18: Primjeri različitih rezolucija

2) Latencija – postoji više različitih latencija, a u ovom slučaju se govori o brzini promjene slike na zaslonu u odnosu na promjenu koja se evidentira u programskom procesu. Odnosi se na latenciju vezanu uz pokret (engl. *Motion-to-Photon-Latency*), gdje se radi o vremenu koje je potrebno da se korisnikov pokret potpuno reflektira na zaslonu [84].

3) Širina vidnog polja (engl. *Field Of View*) – u trećem poglavlju je objašnjena širina vidnog polja, važna za virtualnu stvarnost zato jer što je širina vidnog polja uređaja veća, veći je osjećaj uronjenosti u sustav [85].

4) Kidanje/lomljenje slike (engl. *screen tearing*) je negativna posljedica prebrzog izračunavanja slika nego što se one mogu prikazati na zaslonu, što se vizualno prikazuje na način da je na zaslonu dio prethodne slike i dio nove slike, ili različite distorzije i linije [86]. Javlja se najčešće kod igranja igara koje imaju vrlo dinamičan slijed igranja i promjena perspektive kamere. Slika 19 prikazuje kidanje slike na primjeru igranja računalne igre. Rješenje za ovaj problem je uključivanje opcije vertikalne sinkronizacije (engl. *Vsync*) u postavkama grafičke kartice koja usklađuje obradu slike i njezino pojavljivanje na zaslonu [76].



Slika 19: Kidanje slike [76]

5) Treperenje i kašnjenje (engl. *flicker* i *jitter*) – pojmovi koji su međusobno povezani, treperenje se može definirati kao loš prijenos paketa podataka koji se posljedično prikazuju u različito vrijeme, a *jitter* je varijabilnost kašnjenja u nekom vremenu, jer ako podatkovnim paketima treba različito vrijeme da stignu, *jitter* je veći. Posljedica je da se na zaslonu vide artefakti i treperenje slike [85].

Faktori vezani uz čovjeka (faktori korisničkog iskustva)

1) IPD (engl. *Inter Pupillary Distance*) – mjeri se kao udaljenost između centara zjenica i prosječno varira između 6,17 cm za žene i 6,40 cm za muškarce [87]. HTC Vive ima na HMD-u kotačić sa kojim se može podešavati IPD tako da korisniku odgovara razmak leća.

2) Dioptrijska – odgovarajuća dioptrijska je nužna za gledanje u stvarnosti ali i u virtualnoj stvarnosti, jer posljedično zbog naprezanja oka može doći do zamora očiju i glavobolje.

3) Strabizam – laički nazvan i razrokost ili škiljavost je poremećaj u kojem oba oka nisu pozicionirana paralelno već postoji devijacija jednog ili oba oka. Posljedica strabizma je da oči ne gledaju paralelno već imaju otklon od nekoliko stupnjeva i nastaju dvoslike, odnosno svako oko vidi svoju sliku. Ta posljedica ima utjecaja kod gledanja sadržaja virtualne stvarnosti jer može doći do osjećaja mučnine i glavobolje.

4) Spol – nema mnogo istraživanja koja se bave utjecajem spola na doživljaj virtualne stvarnosti, iako su neka pokazala kako su žene podložnije kibermučnini, te da razina hormona kod žena također igra ulogu u doživljaju VR-a [2], [10], [88].

5) Dob – istraživanje koje je proveo Golding govori kako djeca od 4-12 godina starosti, a koja su sklona mučnini u prijevoznim sredstvima imaju veću sklonost kibermučnini [10], [64].

6) Prethodno iskustvo i navika korištenja VR-a – ima utjecaja na korisnika jer se konstantnim i čestim korištenjem sustava stvara tolerancija i u većini slučajeva se smanjuje negativna posljedica virtualne stvarnosti [11].

7) Bolest – osobe koje imaju kronične bolesti, tegobe sa uhom, one koje pate od nesanice, pod utjecajem jakog stresa su i slično, trebale bi sa oprezom koristiti sustave virtualne stvarnosti.

8) Faktor čovjeka unutar sustava VR-a – važan aspekt kojeg Stanney, Mourant i Kennedy opisuju u svom radu i postavljaju nekoliko pitanja vezanih uz odnos čovjeka i VR sustav [89]. Neka od pitanja su: koji zadaci su najpogodniji za osobu da ih obavlja u VR-u? Koliko osjetilnih povratnih informacija koje VR sustav pruža, osoba može procesuirati? Koji tip dizajna će poboljšati izvođenje zadataka osobe koja je u VR sustavu?

Brion i Pumudu u svom preglednom radu daju tablicu u kojoj opisuju individualne faktore koji utječu na kibermučninu i opisuju razloge. Tablica je prevedena i preuzeta u cijelosti iz njihovog rada iz 2018. godine i prikazana ispod u Tablici 3 [85].

Tablica 3: Faktori čovjeka koji utječu na kibermučninu (preuzeto iz [85])

Faktor	Korelacija sa kibermučninom	Obrazloženje
Dob	visoka	Mlađa populacija je podložnija
Spol	srednja	Žene su podložnije
Etnicitet	niska	Nije istraživano
Iskustvo	visoka	Više iskustva smanjuje podložnost kibermučnini
Razina koncentracije	srednja	Smanjena koncentracija vjerojatno smanjuje kibermučninu
Posturalna stabilnost	visoka	Nestabilna postura vodi ka kibermučnini
Povijest bolesti (glavobolje, migrene, vrtoglavice)	visoka	Povijest bolesti povećava vjerojatnost osjeta kibermučnine
BMI (indeks tjelesne mase)	srednja	Dokazalo se da BMI nema velik učinak na kibermučninu

4.3 Dosadašnja istraživanja vezana uz virtualnu stvarnost i kibermučninu

U ovom potpoglavlju navedena su neka istraživanja vezana uz virtualnu stvarnost i kibermučninu. Istraživanja se temelje na različitim eksperimentima koja uključuju anketne upitnike samostalno kao i u kombinaciji s objektivnim metrikama. Istraživanja se provode s ciljem poboljšanja korisničkog iskustva, tako da se istraže mogućnosti virtualne stvarnosti, i česti problemi koji se javljaju, te istraživanje načina kako bi se unaprijedio sustav i bio dostupniji većem broju ljudi. Mnoga istraživanja se bave kretanjem ili pseudo kretanjem, neka u obliku traženja objekata, neka u obliku labirinata, kao i ona koja se bave samo načinima kretanja kroz virtualne prostore i njihov utjecaj na osobu, odnosno ispitanike.

Nesbitt, Davis, Blackmore i Nalivaiko su u svom istraživanju tražili korelaciju između vremena reakcije na vizualni stimulus i razine mučnine sa dva često korištena upitnika (engl. *Motion Sickness Susceptibility Questionnaire* - MSSQ i *Motion Sickness Assessment Questionnaire* - MSAQ). Koristili su HMD uređaj i vožnju toboganom (2 verzije tobogana), na uzorku od 24 ispitanika. Zaključili su da su razine mučnine različite za svaku od dvije vožnje toboganom, u pogledu jačine i brzine kojom se razvila nelagoda. Korelacija je nađena između jednostavne mjere stupnja mučnine (subjektivni doživljaj mučnine svake 2 minute) i korištenih upitnika, s naglaskom na MSAQ upitnik i gastrointestinalnu pod skalu (kojoj je i intencija mjeriti efekte mučnine) [90].

Iskenderova, Weidner i Broll su u svom radu iz 2017. godine istraživali utjecaj alkohola na kibermučninu, na uzorku od 31 ispitanika, koristeći Oculus Rift DK2. Virtualna scena koju su koristili bio je hangar sa avionima gdje su ispitanici trebali pronaći tri karte. Ispitanicima su dali općeniti upitnik (informacije o osobi), CAGE upitnik (engl. *Cut down/ Annoyed/ Guilty/ Eye opener* - vezan za ispitivanje ovisnosti o alkoholu), upitnik vezan za igranje video igara, i MSSQ upitnik. Nakon provedenih mjerenja i dobivenih rezultata, zaključili su da nema značajne statističke razlike između rezultata SSQ upitnika za ispitanike koji su pili alkohol i za one koji nisu pili, niti da nema značajne statističke razlike za okulomotorne i orijentacijske simptome. Za simptom mučnine uočeno je da je veća kod skupine ispitanika koja nije pila alkohol. Blaga intoksikacija alkoholom je rezultirala manjom kibermučninom [91].

Nekoliko istraživanja se bavi problematikom posturalne nestabilnosti u virtualnoj stvarnosti. Susan V.G. Cobb u svom radu 1999. godine, daje pregled dotadašnjih testova u stručnoj literaturi kao i svoje istraživanje. Koristila je Visette II HMD na 40 ispitanika i ispitivala je stabilnost prije i nakon imerzije u VR, koristeći statični i dinamični test i dva upitnika (SSQ i

upitnik o posturalnoj nestabilnosti). Zaključuje da nema značajne razlike između testa hodanja po liniji sa zatvorenim očima i hodanja po podu za zatvorenim očima. Posturalne nestabilnosti također nema u testu hodanja sa otvorenim očima. Magnetometar zamaha koji je Cobb koristila pokazuje značajne rezultate unutar 30 sekundi nakon imerzije u virtualnoj stvarnosti [92]. Noviji rad iz 2016., autora Dennison i D'Zmura, također se bavi problematikom posturalne nestabilnosti u VR-u. Oni u rezultatima svojih mjerenja prikazanih u radu ne nalaze jaku vezu između kibermučnine i posturalne nestabilnosti. Koristili su Oculus Rift DK2 i svoju testnu scenu virtualnog rotirajućeg tunela, koji se rotirao različitim brzinama. Kao subjektivnu mjeru koristili su MSSQ i SSQ upitnike koje je ispunilo 15 ispitanika. Zaključuju da ispitanici sa većom subjektivnom razinom nelagode imaju manju razliku u posturalnoj stabilnosti, što je bilo neočekivano [93].

Ruddle u svom radu iz 2004. godine istražuje utjecaj karakteristika okoline i korisnikove interakcije na razinu nelagode u virtualnom okruženju. On je utjecaj tih karakteristika istraživao kroz 10 bihevioralnih eksperimenata provedenih na već postojećem sistemu VEDACS (engl. *Virtual Environment Description and Classification System*) koji klasificira virtualnu stvarnost kroz 7 kategorija (dimenzije okoline, vizualna kompleksnost, kretanje objekata i korisnika, zadatak koji korisnik obavlja, pružanje pomoći, zvuk, vrijeme provedeno u VR-u). Nakon provedbe eksperimenata zaključuje da dulji boravak u VR-u izaziva značajne okulomotorne simptome, da je na mučninu utjecala vrsta kretanja koju je ispitanik koristio, osobito dok je ispitanik morao gledati u svoje virtualne noge [94].

Kretanje (često se koristi izraz navigacija) je važan element u sustavu virtualne stvarnosti, jer potiče osjećaj uključenosti, odnosno imerzije u sustav. Sebok, Nystad i Helgar istražuju navigaciju kod desktop virtualnih sustava (projicirali su virtualnu sliku na veliki zaslon koristeći SONY-jev projektor). Ispitanici su kroz 2 faze istraživanja prošli prvo testnu scenu gdje su se učili kretati, dok je druga faza bila ista kao i prva ali su se mogućnosti kretanja i navigacije malo izmijenili. Rezultati istraživanja pokazuju da su korisnici imali problema s navigacijom u obje faze, kao i s brzinom kretanja, itd. Autori na kraju daju preporuke za dizajn navigacijskog sistema na temelju svojih zaključaka (uključivanje gravitacije, uključivanje mogućnosti letenja za iskusnije korisnike, uključivanje sustava za izbjegavanje da korisnici ne mogu prolaziti kroz zidove, implementirati kod kretanja blaže prijelaze kod navigacije prilikom micanja miša, postaviti mapu sa trenutnim položajem, integrirati navigaciju u jedan uređaj-miš ili *joystick*.) [95].

Ruddle, Volkova i Bulthoff u radu iz 2013. istražuju načine kretanja u virtualnoj stvarnosti, kroz 2 eksperimenta. Koristili su *joystick* sa klasičnim zaslonom, HMD sa *joystick*-om i HMD sa ergometrom (trakom za hodanje). Među ostalim, zaključuju kako su ispitanici koji su fizički hodali bili vještiji u kretanju od onih koji su koristili *joystick*. Također se osvrću na utjecaj brzine, gdje je utvrđena negativna korelacija između vremena putovanja kroz prostor i postotka rute kojom su se sudionici sudarili, znači preciznost kretanja na uštrb vremena [96].

U studiji iz 2018. godine, istraživana su četiri načina kretanja (kretanje s kontrolerom (verzija kao gljiva na joystick-u), kretanje s kontrolerom sa tunelskim vidom, teleportacija i čovjek joystick varijanta gdje se osoba naginje naprijed ili unatrag sa kontrolerima u rukama ako se želi kretati). Istraživanje je pokazalo kako je teleportacija kao način kretanja imala najbolji QoE rezultat i izaziva najmanje nelagode [97].

Iz ovih iznad navedenih istraživanja može se vidjeti kakve testne scenarije istraživači koriste prilikom istraživanja kiberučnine. Testni scenariji uključuju tobogane, traženje objekata po sceni, labirinte, rotirajuće tunele, utjecaj alkohola, razne varijante ispitivanja posturalne nestabilnosti, navigiranje po scenama i slično. Evaluacija se provodi kroz ankete i objektivne metrike opisane u prethodnim poglavljima. Istraživanja opisana u ovoj disertaciji daju širi uvid u povezanost utjecaja brzine kretanja na kiberučninu, te utjecaj osvjetljenja i načina kretanja na kiberučninu u testnoj sceni koja je osmišljena upravo za to istraživanje.

5. Objektivne metode mjerenja simptoma mučnine u virtualnoj stvarnosti

Postoje različite metode i načini mjerenja mučnine u virtualnoj stvarnosti koji se koriste prilikom ispitivanja, a sa ciljem da se istraže elementi koji na nju utječu, te da se utvrdi kako se može ublažiti taj efekt da bi se dobilo bolje korisničko iskustvo. Najčešće se koriste skale za psihofizičke procjene i ankete za evaluacije psihofizičkoga iskustva kao i pitanja otvorenog tipa, ali odgovaranje na ankete je svjesni proces i ne daje uvid u temeljne kognitivne procese [98]. U tablici 4 kronološki su navedeni odabrani radovi koji koriste objektivne metode mjerenja, kratki opis njihove namjene, rezultati istraživanja i naziv rada.

Tablica 4: Pregled radova koji istražuju fiziološke promjene kod korisnika prilikom korištenja VR-a

Znanstveni rad	Uređaj(i) za objektivno mjerenje kibermučnine	Cilj istraživanja	Rezultat/zaključak istraživanja
Bischof, Boulanger (2003): „Spatial Navigation in Virtual Reality Environments: An EEG Analysis“ [99]	EEG sa 38 zlatnih elektroda	Istraživanje promjena u moždanim valovima prilikom kretanja kroz 5 virtualnih labirinta. (N=14)	Zaključuju na temelju rezultata da su theta moždani valovi povezani sa pohranjivanjem i povratom informacija o prostornoj navigaciji.
Kim, Kim, Kim et al. (2005): „Characteristic changes in the physiological components of cybersickness“ [9]	Biopac poligraf uređaj (EEG, elektro-okulogram EOG, puls metar, provodljivost kože (GSR), temperatura kože, elektrogastrogram EGG)	Istraživanje razlika u fiziološkim promjenama kod ispitanika kod kibermučnine. Ispitanici su imali zadatak da u vremenskom periodu od 9,5 minuta detektiraju objekte u VR-u. (N=61)	Dobiveni rezultati pokazuju pozitivnu korelaciju treptanja, elektrogastrogama, i delta EEG vala sa simptomima kibermučnine.
Drachen, Nacke, Yannakakis et al. (2010): „Correlation between heart rate, electrodermal activity and player experience in first-person shooter games“ [100]	Garmin Forerunner 50 za mjerenje pulsa i Thought Technologies ProComp Infinity bio za mjerenje elektrodermalne aktivnosti EDA	Istraživanje razlika u fiziološkim promjenama kod ispitanika između 3 igre na desktop računalu (<i>Prey</i> , <i>Doom 3</i> i <i>Bioshock</i>). (N= 16)	Autori su istraživali ima li korelacije između pulsa i elektrodermalne aktivnosti u odnosu na upitnik koji su koristili. Nađene su korelacije između pulsa i upitnika kod svih parova pitanja, a kod EDA su nađene

			korelacije u odnosu na neka pitanja.
Znanstveni rad	Uređaj(i) za objektivno mjerenje kibermučnine	Cilj istraživanja	Rezultat/ zaključak istraživanja
Clemente, Rodriguez, Rey et al. (2014): „Assessment of the influence of navigation control and screen size on the sense of presence in virtual reality using EEG“ [101]	Emotiv Epoc EEG	Istraživanje osjećaja prisustva između 3 situacije; slike, video i slobodna navigacija u VR-u. (N= 20)	Rezultati pokazuju veću alfa i theta moždanu aktivnost u slobodnoj navigaciji u VR-u.
Keshavarz, Campos i Berti (2015): „Vection lies in the brain of the beholder: EEG parameters as an objective measurement of vection“ [102]	EEG	Korištenje EEG-a kao objektivne metrike za mjerenje subjektivnog osjećaja vektije u sustavima virtualne stvarnosti.	Zaključak ovog preglednog rada je kako je EEG izvrstan alat za istraživanje vektije zbog jednostavnosti korištenja, jer korisnik ne treba nikakve posebne radnje raditi, EEG signal je bogat izvor informacija.
Vilhelmsen, van der Weel, van der Meer (2015): A high-density EEG study of differences between three high speeds of simulated forward motion from optic flow in adult participants	EEG	Korištenje EEG-a kao objektivne metrike u istraživanju reakcije mozga na simulirani optički tok (engl. <i>optic flow</i>) na 3 različite brzine kretanja (25,50 i 75 km/h), a sliku su projicirali na projekcijsko platno. (N=12)	Zaključuju kako kod kretanja dolazi do alpha de-sinkronizacije i sinkronizacije kod mirovanja. Promjene u moždanoj aktivnosti primijećene su kod usporedbe za sve 3 brzine u usporedbi sa stanjem mirovanja kod P3 i P4 kanala na parijetalnom režnju.
Egan, Brennan, Barrett et al. (2016): „An evaluation of Heart Rate and ElectroDermal Activity as an objective QoE evaluation method for immersive virtual reality environments“ [103]	Pip Biosenzor EDA, FitBit Charge za mjerenje pulsa	Istraživanje razlika u fiziološkim promjenama (puls i elektrodermalna aktivnost) kod ispitanika između klasičnog 2D i VR sadržaja na istom sadržaju grada kojeg su napravili za	Rezultati istraživanja pokazuju da nema značajne razlike između pulsa u uvjetima gledanja sadržaja kod klasičnog 2D monitora i VR sadržaja. Nađena je značajna razlika kod elektrodermalne aktivnosti, i autori

		potrebe istraživanja. (N=33)	smatraju da je to, u njihovom slučaju efikasnija metrika za mjerenje kvalitete korisničkog iskustva.
Znanstveni rad	Uređaj(i) za objektivno mjerenje kibermučnine	Cilj istraživanja	Rezultat/ zaključak istraživanja
Dennison, Wisti, D'Zmura (2016): „Use of physiological signals to predict cybersickness“ [104]	Biopac MP150 (elektrokardiogram (ECG), elektro-gastrogram (EGG), elektrookulogram (EOG), photoplethysmogram preko pulsno oksimetra (PPG), frekvencija disanja i provodljivost kože (GSR)	Mjerenje razine kibermučnine u 2 uvjeta, 2D (klasični zaslon) i u virtualnoj stvarnosti koristeći Xbox kontroler igrajući <i>Half Life 2</i> , koristeći se sa različitim objektivnim i subjektivnim metrikama za evaluaciju korisničkog iskustva. (N=20)	Rezultati istraživanja pokazuju da promjene želučane aktivnosti, disanja i treptanja mogu koristiti u procjenjivanju simptoma nakon imerzije u virtualnu stvarnost. <i>(Redoslijed prikazivanja sadržaja je bio VR nakon gledanja na klasičnom monitoru).</i>
Abdelfattah, Merrick, Abbass (2016): „Theta-Beta Ratios are prominent EEG features for visual tracking tasks“ [105]	19 kanalni MindMedia™ QEEG device NeXus-32	Istraživanje imaju li zadaci vizualnog praćenja utjecaja na theta/beta omjer. Istraživano korištenjem klasičnog monitora. (N= 10)	Rezultati pokazuju da su omjeri theta/beta moždanih valova dobar indikator kod promjena moždanih valova prilikom praćenja vizualnih zadataka.
Liu, Peli, Hwang (2017): „Measuring visually induced motion sickness using wearable devices“ [106]	Muse EEG, BP7 uređaj za mjerenje tlaka i PO3 pulsni oksimetar.	Istraživanje vizualno inducirane kibermučnine (VIMS) u simulatoru vožnje koji ima volan i širinu vidnog polja 220°. Ispitanicima su snimili EEG prije početka vožnje i tokom vožnje, koja je trajala od nekoliko minuta do pola sata. (N= 15)	Neki od navedenih rezultata istraživanja pokazuju da mjerenje pulsa ne mora nužno biti primjerena metoda za mjerenje VIMS-a, jer nije nađena značajna razlika između mjerenih stanja. Također, kod EEG zapisa utvrđene su značajne promjene kod medijana delta i theta valova, i standardne devijacije alfa valova.

Znanstveni rad	Uređaj(i) za objektivno mjerenje kibermučnine	Cilj istraživanja	Rezultat/zaključak istraživanja
Gavgani, Hodgson, Nalivaiko (2017): „Effects of visual flow direction on signs and symptoms of cybersickness“ [107]	ECG, provodljivost kože na čelu (Model 2701 BioDerm Skin Conductance Meter).	Istraživanje kako smjer vizualnog toka utječe na fiziološke promjene pulsa i provodljivosti kože na primjeru vlaka u zabavnom parku koji ide naprijed-natrag u VR sustavu. (N=12)	Zaključuju da smjer kretanja ima utjecaja na fiziološke promjene kod ispitanika, u smislu da kretanje prema naprijed ima više utjecaja na kibermučninu. Puls se nije mijenjao u odnosu na subjektivno povećanje mučnine. Zabilježili su značajne promjene kod provodljivosti kože pri kretanju ispitanika prema naprijed, u odnosu na kretanje unatrag.
Marchiori, Niforatos, Preto (2018): „Analysis of users’ heart rate data and self-reported perceptions to understand effective virtual reality characteristics“ [108]	Empatica E4 narukvica	Istraživanje različitih aspekata koji utječu na doživljaj korisničkog iskustva promotivnih videa za turističku destinaciju u VR-u. (N=23)	Rezultati pokazuju kako skokovi u rezultatima mjerenja pulsa imaju veze sa promjenom perspektive gledanja nekog sadržaja (npr. vožnja u balonu na vrući zrak), kao i nađenu korelaciju između scena koje se ispitanicima sviđaju i dojma realnosti.
Guna, Geršak, Humar et al. (2019): „Influence of video content type on users’ virtual reality sickness perception and physiological response“ [109]	MP150 Biopac (puls, provodljivost kože (GSR), temperatura kože)	Istraživanje kibermučnine između 5 različitih uređaja (1 televizor, 3 HMD uređaja i 1 HMD u kojeg se stavi mobitel) i 2 različita 3D videa (jedan „dinamičan“ i jedan „neutralni“ video). (N= 26)	Rezultati pokazuju da provodljivost kože ima visoku korelaciju sa simptomima kibermučnine.
Wen, Aris (2020): „Electroencephalogram (EEG) stress analysis	EEG g-MOBilab sa 5 zlatnih elektroda.	Istraživanje stresa u virtualnoj stvarnosti u sceni koja je post apokaliptičnog	Tokom istraživanja su uspoređivali stanje bez stresa i stanje pod stresom i putem EEG-a

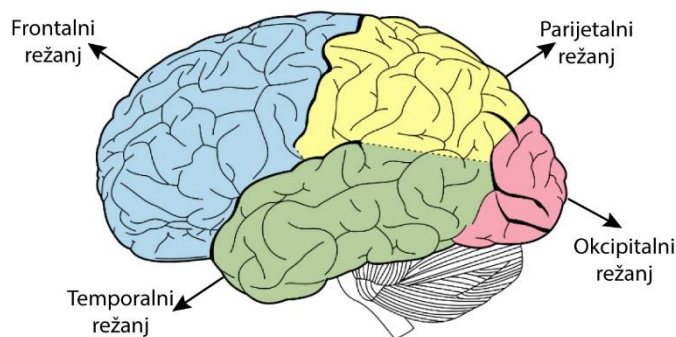
on alpha/beta ratio and theta/beta ratio“ [110]		karaktera, sa zombijima i virtualnom vožnjom. (N=26)	pratili kako se mijenjaju alfa/beta i theta/beta omjeri za ispitivane situacije. zaključuju kako je metoda praćenja omjera moždanih valova dobar način da se utvrdi stanje stresa objektivnom metrikom.
---	--	--	---

Iz tablice 4. iznad se može vidjeti koji se uređaji koriste za objektivno mjerenje kibermučnine. Najčešće se koriste uređaji za mjerenje EEG-a, zatim uređaji za mjerenje elektrodermalne aktivnosti, puls metri, dok se rjeđe mjeri temperatura, elektrokardiogram, okulometar i slično. Ono što nedostaje u trenutnim istraživanjima su različiti scenariji koji bi se testirali, kao npr. brzina kretanja, načini kretanja a ne samo vožnja toboganima, apokalipse i slično. Ima nekoliko primjera radova navedenih u tablici gdje se koriste igre kao testni scenarij (npr. Bioshock i Half Life 2) i kako sami autori tih radova smatraju, kombinacija neurofizioloških i ne-fizioloških metrika je možda nužna kako bi se procijenio razvoj kibermučnine unutar VR sistema [104]. Upravo je zato u ovoj disertaciji naglasak na objektivnim i subjektivnim metrikama koje se koriste kako bi se dodatno istražili utjecaji na kibermučninu.

5. 1 Elektroencefalogram (EEG) i moždani valovi

EEG je uređaj koji služi za mjerenje moždane aktivnosti, odnosno električnog potencijala i praćenja promjena koje se događaju na moždanim valovima. Izumio ga je njemački psihijatar Hans Berger, te je snimio prvi zapis EEG-a [111], [112]. Električna aktivnost mozga je konstantna i različita u različitim fazama budnosti i stanja svijesti. EEG valovi su odraz ogromnog broja aktivnosti neurona u moždanoj kori, odnosno talamokortikalnog sustava [59]. Definicija EEG vala je svaka promjena razlike potencijala između parova elektroda u EEG snimci (definicija je preuzeta iz pojmovnika o EEG valovima i skraćenicama koje se koriste u literaturi) [113]. Amoroso u svom radu iz 1965. godine opisuje uz slike i kratke opisne rečenice za svaki val i artefakte koji nastaju, kao i normalne i abnormalne valove [114].

Frekvencija EEG valova je od 1 do 50 Hz, a amplituda promjenjiva od 20 do 200 μ V. Dijelev se u nekoliko vrsta po intenzitetu frekvencije: alfa, beta, gama, theta i delta valovi, te još nekoliko tipova specifičnih valova (lambda valovi – vezani uz otvaranje i zatvaranje očiju, tjemeni valovi – nastaju prije početka spavanja itd.). Svaki tip vala ima svoje specifičnosti opisane detaljnije u daljnjem dijelu teksta. Također, smrt mozga nastupa kad više nema moždane aktivnosti, odnosno ravna linija na EEG-u. Slika 20 prikazuje mozak i podjelu na glavne režnjeve, frontalni režanj (u kojem se odvija proces razmišljanja, planiranja, rješavanje problema), parijetalni režanj (dio mozga koji je odgovoran za integraciju senzornih informacija, kao što su dodir, temperatura, bol i pritisak), temporalni režanj (služi za obradu senzornih informacija, zvuk i prepoznavanje jezika, stvaranje sjećanja, također i neke kompleksne vizualne informacije), i okcipitalni režanj (koji je glavni moždani centar za obradu vizualnog inputa koji dolazi od očnih živaca i bez ovog režnja čovjek ne bi mogao raspoznavati objekte, procijeniti dubinu i udaljenost) [115].



Slika 20: Podjela mozga

Alfa valovi α – tzv. Bergerov ritam, frekvencija 8-13 Hz, obilježavaju stanje opuštenosti i najvidljiviji su na parijetalnom i okcipitalnom dijelu mozga [116].

Beta valovi β – frekvencija od 13 do 35 Hz, aktivnost valova koja se povezuje sa aktivacijom mozga i stanjem desinhronizacije, odnosno stanjem pojačane budnosti i usmjerene pozornosti, vidljivost beta valova je najprominentnija u frontalnom korteksu mozga pri intenzivnoj mentalnoj vježbi. Alfa i beta valovi koriste se pri detekciji različitih emotivnih stanja [59], [116].

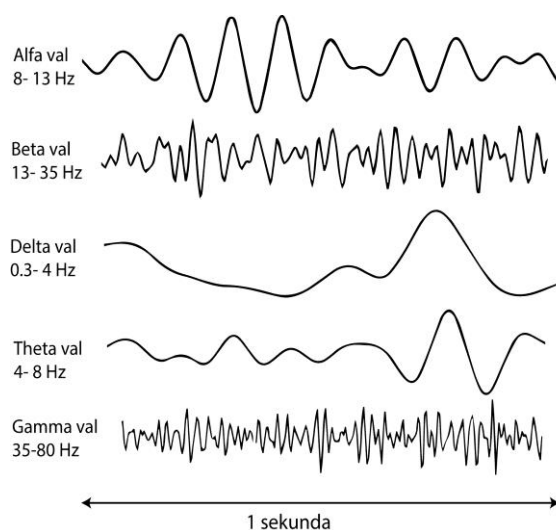
Theta valovi θ – frekvencija od 4 do 8 Hz, ritmični spori valovi, povezuju se sa stanjima u kojima je čovjek kreativan i spontan, kao i kod stanja pospanosti. Prisutnost velikog broja theta valova se povezuje sa poremećajem pozornosti kod ljudi [112].

Delta valovi δ – frekvencija od 0.3 do 4 Hz – najsporiji su moždani valovi, javljaju se predominantno u snu i kod male djece. Kod starije djece i odraslih, prisutnost velikog broja delta valova povezuje se s usporenom kognitivnom sposobnošću i poremećajima pozornosti [112].

Gama valovi γ – 35 do 80 Hz, najbrža frekvencija valova se povezuje sa aktivnom senzornom obradom informacija, koncentracijom, ali općenito nema mnogo istraživanja i informacija o ovoj vrsti vala [111].

Frekvencije moždanih valova su prikazane na slici 21.

Iz EEG mjerenja također se može određivati stupanj pobuđenosti i valencije (engl. *arousal i valence*), koji se koristi u istraživanjima u psihologiji, a taj krug emocija po kojem se klasificiraju emocije osmislio je James Russell 1980. godine [117].



Slika 21: Frekvencije moždanih valova

5.2 Autonomni živčani sustav i njegov utjecaj na puls

Autonomni živčani sustav je dio čovjekovog organizma koji sudjeluje u održavanju ravnoteže i stabilnosti općeg stanja organizma, homeostaze. Autonomni živčani sustav nije pod utjecajem volje, i on (uz endokrini sustav) djeluje i nadzire unutrašnje organe i vitalne funkcije i čine ga 2 dijela; simpatikus i parasimpatikus. Djeluju na jačinu i frekvenciju kojom srce pumpa krv, na tlak, na probavu, na tjelesnu temperaturu, na adaptaciju oka i uha, na spolnu funkciju i drugo. Simpatikus i parasimpatikus djeluju zajedno u održavanju homeostaze, i u nekim situacijama podražuju pojedine organe a nekad i cijelo tijelo [52].

Simpatikus se aktivira u situacijama u kojima čovjek treba uložiti napor i u stanjima u kojima osjeća strah i ugroženost. Ubrzava rad srca, blago sužava krvne žile, proširuje zjenice, pojačava znojenje i usporava rad želuca i crijeva.

Parasimpatikus se aktivira u smirenijim situacijama, djeluje na usporavanje rada srca i disanja, sužava zjenice, pojačava slinjenje i pokreće rad crijeva. Živac vagus kao jedan od glavnih komponenti parasimpatičkog živčanog sustava djeluje na neke tjelesne funkcije, među kojima je rad srca i kontrola znojenja. Vagus se u nekim stresnim situacijama može jako pobuditi, što je reakcija na simpatički sustav i može dovesti do naglog smanjenja srčane frekvencije i nesvjestice, tzv. vazovagalna sinkopa.

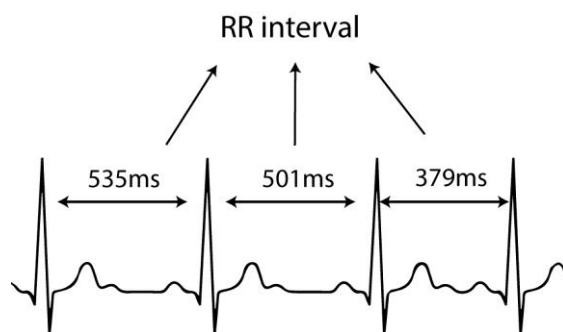
Mnogi autori spominju autonomni živčani sustav i njegovu povezanost s kibermučninom u teoretskim dijelovima svojih istraživanja [32], [61], [72], [73], [104], [118], [119].

Mjerenje pulsa česta je objektivna metrika kod evaluacije kibermučnine u virtualnoj stvarnosti i primjeri istraživanja mogu se vidjeti u Tablici 4 [9], [10], [100], [103], [108]. Normalni prosječni puls za čovjeka je oko 72 otkucaja, odnosno između 60 do 100 otkucaja u minuti [52], [120]. Osim pulsa, uređaji kao Polar H10³ mjere i vremenski razmak između konsekvativnih otkucaja srca, dalje u tekstu IBI (engl. *Inter Beat Interval*). IBI se može mjeriti na uzorcima koji su dulji (24 h), kratki (≈ 5 min) i jako kratki (< 5 min). IBI kod zdravog srca se najbolje može objasniti sa matematičkim kaosom [121]. Kod elektrokardiograma razmak između otkucaja srca se mjeri kroz tzv. N-N interval (engl. *Normal-to-Normal*), otkucaj srca (još se naziva i R-R interval (R označava dio QRS kompleksa koji je sastavni dio jednog otkucaja srca, gdje je R najveći vrh) a kod uređaja kao što su Polar prsna traka ili CorSense⁴ mjeri se ekvivalent R-R

³ Polar: https://www.polar.com/en/products/accessories/H10_heart_rate_sensor

⁴ Elite CorSense: <https://elitehrv.com/corsense>

intervalu, odnosno N-N interval, a to je se još naziva IBI interval [122]. Slika 22 prikazuje puls i RR interval.



Slika 22: Puls i RR interval

Postoje različiti načini obrade IBI intervala, a oni uključuju vremensku domenu, frekvencijsku domenu i nelinearne mjere [121]. Obrada podataka u vremenskoj domeni uključuje, među ostalima i SDNN (ms) (engl. *Standard deviation of NN intervals*), RMSSD (ms) (engl. *Root mean square of successive RR interval differences*), pNN50 (%) (postotak sukcesivnih RR intervala koji se razlikuju više od 50 ms) metodu i MRR (engl. *meanRR*) [123]. Frekvencijska domena uključuje raspodjelu snage signala po 4 kanala frekvencije (ultra niska frekvencija (ULF), vrlo niska frekvencija (VLF), niska frekvencija (LF), visoka frekvencija (HF)). Često se računa omjer niske i visoke frekvencije i povezuje se sa odnosom omjera utjecaja između simpatikusa i parasimpatikusa [121]. Nelinearne mjere su vizualne reprezentacije od kojih su neke Poincaré prikaz koji može biti prikazan kao SD1 (standardna devijacija okomita na liniju), SD2 (standardna devijacija uzduž linije) i SD1/SD2 omjer. Smatra se da je zdravije srce ono koje ima veći IBI, jer se autonomni živčani sustav bolje prilagođava stresnim situacijama. Ljudi koji su fizički spremniji i pod manjim stresom imaju veći IBI. Kad se uspoređuje IBI među ljudima, bitno je da su svi ispitanici testirani u istim uvjetima i okolnostima.

6. Preliminarno istraživanje – simulacija vožnje u 2D i VR okruženju

Ovo poglavlje posvećeno je preliminarnom istraživanju i u okviru ovog istraživanja nastojalo se odgovoriti na istraživačko pitanje 1 prikazano na slici 1. Ciljevi ovog istraživanja su slijedeći:

a) utjecaj na subjektivni osjećaj simptoma povezanih s kibermučninom (mjerenih pomoću modificiranog upitnika SSQ) te 2) utjecaj na fiziološke metrike prikupljene pomoću EEG uređaja. Korištena je igra Project Cars zbog mogućnosti vožnje u 2D i 3D okruženju. Elektroencefalograf (EEG) koji je korišten u ovom istraživanju, česta je objektivna metrika.

Postoji nekoliko istraživanja u kojima se koristi auto ili simulacija vožnje kako bi se ispitaio utjecaj na mučninu [106], [124].

Liu, Peli i Hwang koristili su nekoliko objektivnih metrika (puls, EEG, oksimetar) i VIMS upitnik za istraživanje mučnine u širokokutnom (220°) simulatoru vožnje. Ispitanicima (15 ispitanika) su mjerili objektivne metrike prije vožnje, tokom vožnje i nakon vožnje. Ispitanici su vozili u simulatoru u vremenskom trajanju od nekoliko minuta do više od pola sata, dok im ne postane mučno. Zaključuju kako mjerenje pulsa ne mora nužno biti primjerena metoda za mjerenje VIMS-a, jer nije nađena značajna razlika između mjerenih stanja. Također, kod EEG zapisa utvrđene su značajne promjene kod medijana delta i theta valova, i standardne devijacije alfa valova [106].

Rangelova et al. su u istraživanju koristili objektivne metrike (EKG i uređaj za mjerenje provodljivosti kože) i SSQ, MSSQ i IPQ upitnike. Ispitanici (9 ispitanika) su bili u 2 testne situacije, obje u VR-u (u jednoj je korištena mobilna platforma dok u drugoj bez nje). Ispitanici nisu vozili auto nego su bili voženi kao u autonomnim vozilima. Zaključuju kako su ispitanicima varijable *neugode*, *teškoće fokusiranja* i *vrtoglavica sa otvorenim očima* bile manje prilikom korištenja mobilne platforme. Veći puls je zabilježen kod vožnje bez mobilne platforme [124].

Razlika između gore navedenih istraživanja ovog preliminarnog je u tome što se u ovom istraživanju testiraju 2D i VR uvjeti, ispitanicima je omogućeno da sami upravljaju vozilom i da ga prije vožnje isprobaju. Također, ispitanici su vozili ograničenu stazu a ne dok im ne postane mučno (kao kod Liu, Peli, Hwang). Istraživanje je objavljeno u časopisu Acta Graphica [125].

6.1 Laboratorijsko okruženje i korištena oprema

Korištena oprema je HTC Vive uređaj za virtualnu stvarnost, Muse EEG⁵, stolno računalo s Intel i7 procesorom, NVidia GeForce 1070 grafičkom karticom, 16 GB RAM memorije, 27" LG zaslonom i Steam kontroler koji funkcionira kao volan pri simulaciji vožnje. Slika 23 prikazuje a) HTC VIVE, b) Muse EEG uređaj za mjerenje moždane aktivnosti i c) Steam kontroler. Simulacija vožnje je Project Cars igra dostupna na Steam platformi⁶.



Slika 23: Oprema a) HTC Vive, b) Muse EEG c) Steam kontroler

Upitnik koji je korišten se temelji na Kennedyjevom SSQ upitniku (koji služi za ispitivanje simptoma mučnine kod simulatora letenja, dok je ovo istraživanje usmjereno na istraživanje simptoma kibermučnine), koji je izmijenjen za potrebe ovog istraživanja, u smislu da je korištena skala Likertovog tipa u rasponu od 1 (uopće se ne slažem) do 5 (u potpunosti se slažem), koja ima više stupnjeva od originalne skale (originalna skala kod upitnika je od 0-3). Skala od 1-5 je korištena zbog bolje gradacije odgovora i statističke obrade. Upitnik je također pojednostavljen, u smislu da su izbačena određena pitanja (kao generalna neugoda?, slinite li?, teškoća koncentriranja?, osjet punoće glave (engl. *fullness of head*), mantanje sa otvorenim/zatvorenim očima?, osjet želuca? i podrigujete li?). Hirzle et al. u svom opširnom pregledu daju kritički osvrt na Kennedy-jev SSQ i njegovo korištenje u preko 300 objavljenih radova u posljednjih 10 godina [126]. Također smatraju da SSQ, makar je korišten u mnogim istraživanjima VR-a, ne uvrštava tzv. DES (enl. *Digital Eye Strain*) kategoriju simptoma kao ni ergonomiju korištenja HMD-ova. Carnegie je također mijenjao originalni Kennedyjev upitnik na način da je dodavao i izbacivao neka pitanja i koristio Likert skalu sa 5 stupnjeva [127].

Postoje razlike između Likert skale i skale Likertovog tipa u načinu izrade [128]. Neke od razlika su da je skala Likertovog tipa manje usredotočena na istraživanje o generalnom stavu o nekoj temi i više je usmjerena na individualna pitanja i nije nužna simetrija kod neutralne

⁵ <https://choosemuse.com/muse-2/>

⁶ https://store.steampowered.com/app/234630/Project_CARS/

sredine [129]. Prilog 1. prikazuje ovu anketu. Svi ispitanici vozili su po istoj stazi, isti automobil u 2D i VR okruženju, primjer scene vožnje je prikazan na slici 24.

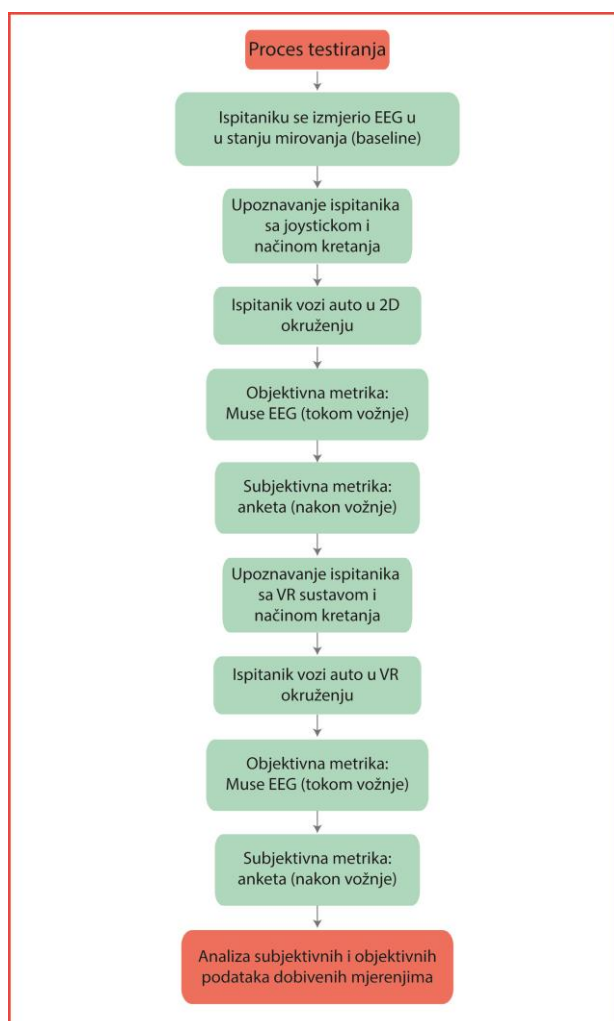


Slika 24: Primjer scene vožnje (Project Cars)

U istraživanju je sudjelovalo 10 ispitanika, od kojih 6 žena i 4 muškaraca, starosti od 25 do 34 godina ($M = 29,7$). Nitko od ispitanika ne boluje od akutnih ili kroničnih bolesti. Od 10 ispitanika 6 nose naočale, i 7 imaju iskustva sa virtualnom stvarnošću. Ispitanici nisu primili nikakvu financijsku naknadu za sudjelovanje u istraživanju.

6.2 Metodologija

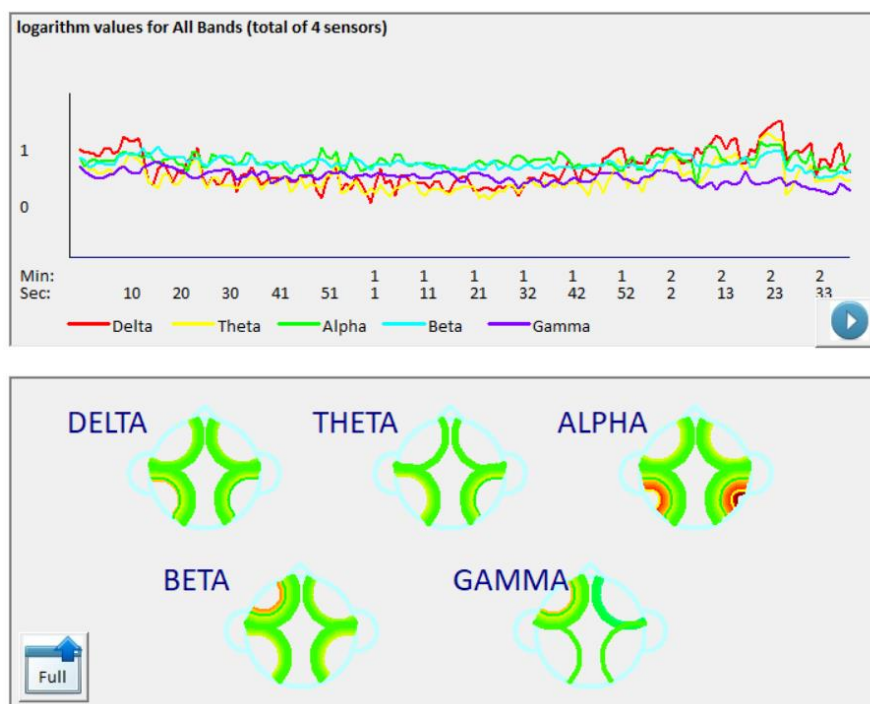
Proces testiranja započeo je mjerenjem EEG-a u stanju mirovanja (3 minute). Zatim se ispitanika upoznalo sa *joystickom* i načinom kretanja u obliku probne vožnje u 2D okruženju. Ispitanik zatim vozi automobil u 2D okruženju i tokom vožnje mu se mjeri EEG (trajanje vožnje ovisi o brzini kretanja ispitanika, oko 4 minute). Nakon što ispitanik odvozi predviđenu stazu, odgovara na pitanja iz ankete. Nakon toga, ispitaniku je pokazan VR sustav i omogućena mu je probna vožnja. Zatim odvozi istu stazu kao u 2D okruženju prilikom čega mu se mjeri EEG (trajanje vožnje ovisi o brzini kretanja ispitanika, oko 4 minute), a nakon vožnje odgovara na pitanja iz ankete. Testiranje je trajalo između 10-15 min po ispitaniku (sa uključenim uvodnim opisom, probnim vožnjama, mjerenim vožnjama i odgovorima na pitanja). Redoslijed testiranja je bio za sve ispitanike isti i nije bilo pauze između mjerenja osim ove za odgovaranje na pitanja i namještanje opreme na glavu ispitanika. Metodologija istraživanja grafički je opisana na slici 25 ispod.



Slika 25: Hodogram/metodološki prikaz testiranja kiberučnine u 2D i VR uvjetima

6.3 Rezultati i rasprava

Rezultati provedenog istraživanja opisani su u ovom poglavlju i objedinjuju objektivne rezultate dobivene mjerenjem EEG-a i subjektivnu evaluaciju korisničkog iskustva korištenjem anketnog upitnika. Grafovi 1, 2 i 3 prikazuju EEG zapis mjeran Muse uređajem koji predstavljaju zapise u: neutralnom stanju, prilikom vožnje u 2D okruženju i prilikom vožnje u sustavu virtualne stvarnosti za jednog ispitanika. Grafovi su podijeljeni u 2 dijela, gdje gornji graf prikazuje logaritamsku vrijednost za svaki kanal dok donja slika prikazuje dijelove mozga na kojima je zabilježena veća/manja aktivnost određenih valova. Donja slika je topografski prikaz po valovima alfa, beta, delta, theta i gama. Debljina polukrugova označava veću ili manju aktivnost mozga u odnosu na moždane valove. Iz toga je vidljivo kako koji promatrani val ima odziv u određenom dijelu mozga u odnosu na promatranu situaciju. Zapisi mjerenih situacija snimljeni su pomoću Mind Monitor⁷ aplikacije za mobilni uređaj. Grafovi su napravljeni u aplikaciji Neuro Visual App⁸, koja obrađuje dobiveni signal i vizualizira izračunate logaritamske vrijednosti za svaki kanal u mjerenom vremenskom periodu.

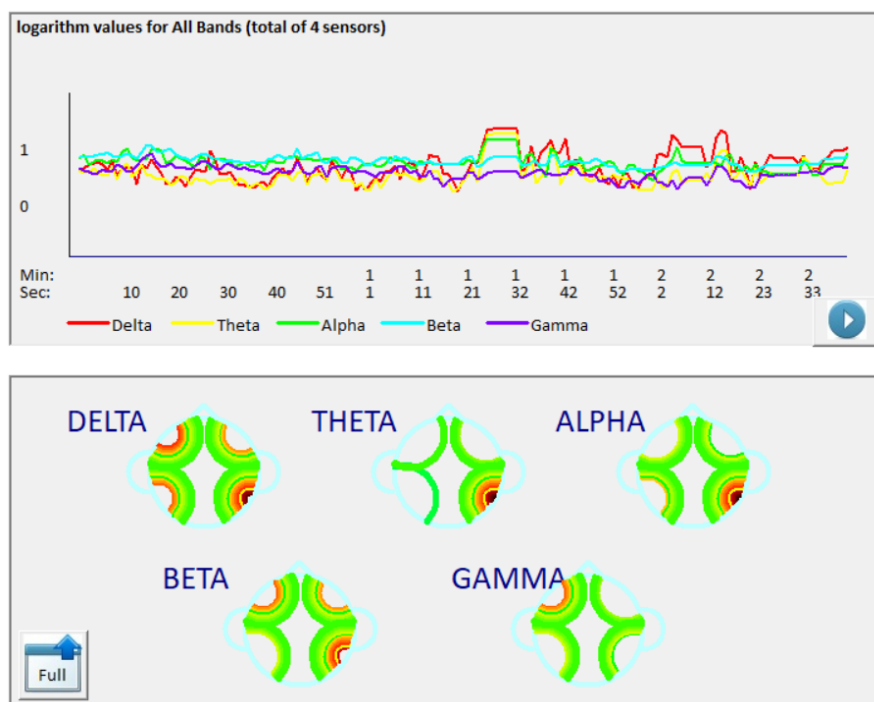


Graf 1: Logaritamske vrijednosti EEG zapisa u mirovanju (za 1 ispitanika)

⁷ <https://mind-monitor.com/> - aplikacija za snimanje EEG signala kompatibilna sa Muse EEG uređajem

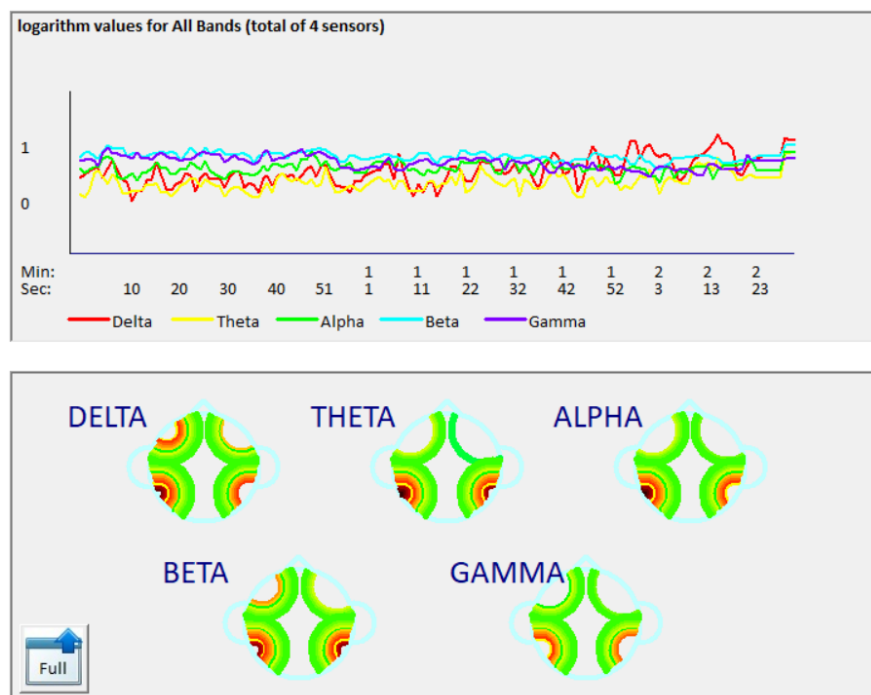
⁸ <http://www.mindresearch.xyz/NeuroVisual.html> - aplikacija za vizualizaciju EEG signala kompatibilna sa Muse EEG uređajem

Na prikazu mjerenja neutralnog stanja uočljiva je aktivnost alfa valova u stražnjem dijelu mozga i nešto beta valova u frontalnom dijelu mozga.



Graf 2: Logaritamske vrijednosti EEG zapisa prilikom vožnje u 2D uvjetima (za 1 ispitanika)

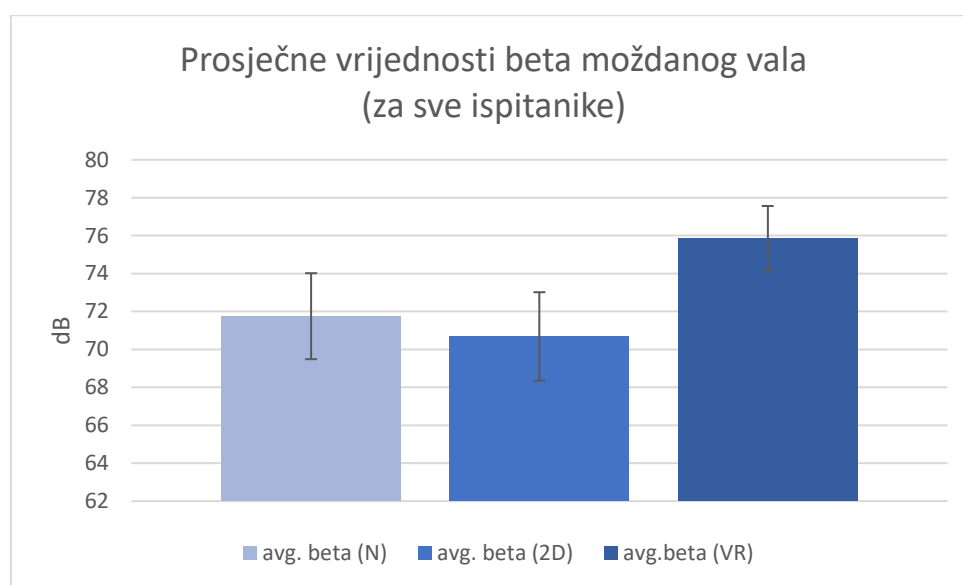
Na prikazu situacije u 2D uvjetima uočljiva je aktivnost delta, theta, alfa i beta valova.



Graf 3: Logaritamske vrijednosti EEG zapisa prilikom vožnje u VR uvjetima (za 1 ispitanika)

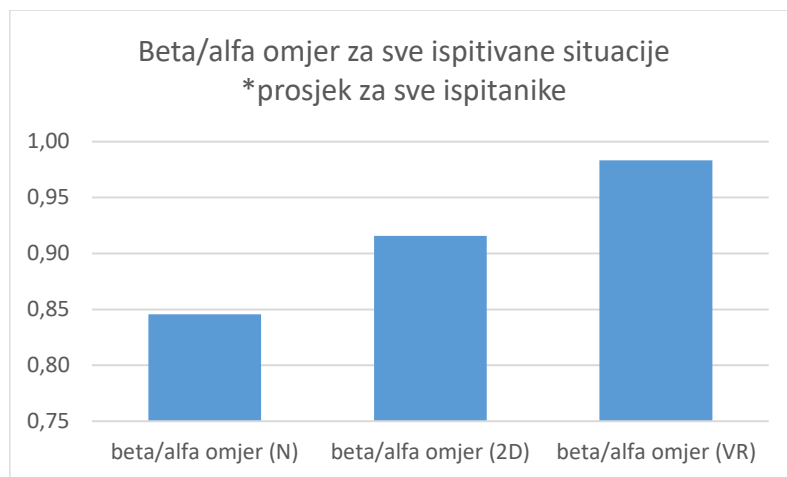
Iz grafova 1, 2 i 3, usporedno gledajući neutralno, (tj. stanje mirovanja), te vožnju u 2D i VR situaciji, može se uvidjeti kako je veća aktivnost delta, theta i beta moždanih valova u 2D uvjetima, a ta aktivnost je još izraženija prilikom vožnje u VR uvjetima.

Mind Monitor aplikacija također nudi u svojoj analizi prosjek apsolutnih vrijednosti za svaki mjereni val. On je izračunat iz logaritamske vrijednosti za svaki EEG val iz spektralne gustoće snage (tzv. PSD engl. *Power Spectral Density*) i mjeri se u decibelima (dB) [130]. Graf 4 ispod prikazuje prosjeke beta vala za sve ispitanike kroz sve 3 situacije (neutralno stanje, 2D vožnja auta i vožnja u virtualnoj stvarnosti).



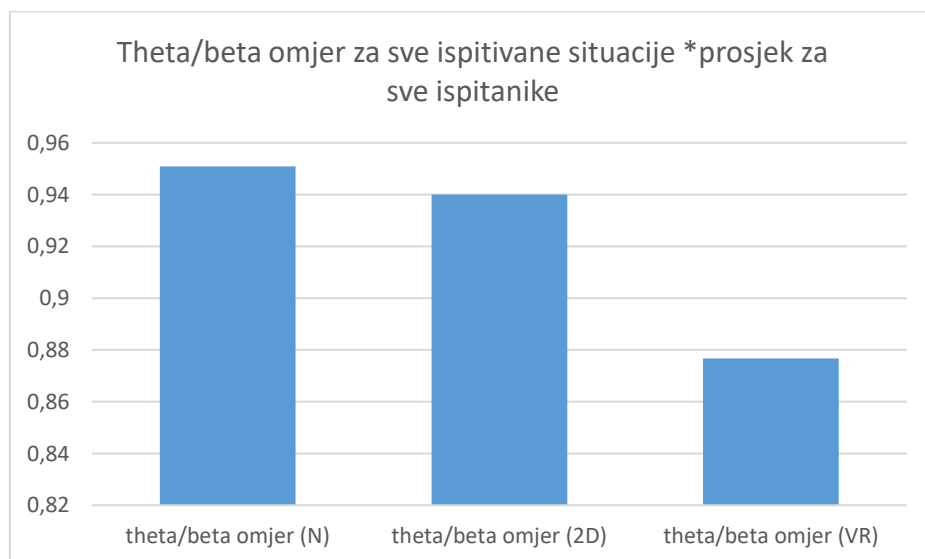
Graf 4: prosječne vrijednosti beta vala za 3 mjerene situacije (uz prikazane intervale pouzdanosti od 95%).

Iz grafa je vidljivo kako je beta val dominantan u virtualnom okruženju u odnosu na vožnju auta u 2D okruženju, što se može objasniti sa pojačanom pozornošću sa obzirom da je veći stupanj imerzije u virtualnom okruženju, nego kod klasičnog igranja. O povećanju aktivnosti beta valova i povezanosti sa simptomima vrtoglavice kod kibermučnine pišu Gallagher i Ferrè u svom radu iz 2018. godine [5]. Također, neki autori povezuju pojačanu aktivnost beta valova sa uzbuđenjem, što se još u literaturi naziva i „beta stres“, koji se još računa kao beta/alfa omjer [131]–[133]. Ovaj rezultat se može objasniti na način da kod ljudi koji nemaju iskustva sa VR tehnologijom, ili ga imaju malo, takvo iskustvo može biti uzbudljiv/stresan događaj. Graf 5 prikazuje omjere beta/alfa valova za sva 3 mjerena stanja.



Graf 5: Omjeri prosječnih vrijednosti beta/alfa valova za sva 3 mjerena stanja

Također, u grafu 6 ispod je prikazan omjer theta/beta valova za sva 3 mjerena stanja, u kojem je vidljivo da je omjer theta/beta valova najveći u neutralnom stanju, a najmanji u virtualnoj stvarnosti prilikom vožnje. Takav rezultat su polučili i Wen i Aris u radu iz 2020. godine, u kojem su mjerili alfa/beta i theta/beta omjere prilikom istraživanja stresa u virtualnoj stvarnosti prikazivanjem scene post apokalipse sa zombijima u kojoj se ispitanik vozi kao u zabavnom parku (engl. *roller coaster*) [110]. Iz ovakvog rezultata theta/beta omjera može se zaključiti da se theta moždani val generalno smanjuje u ispitivanoj situaciji, te se povećava koncentracija beta moždanih valova koja se povezuje sa povećanom koncentracijom i pobuđenošću kod zdravih osoba.



Graf 6: Omjeri prosječnih vrijednosti theta/beta valova za sva 3 mjerena stanja

Rezultati ankete dobiveni su statističkom obradom u programu IBM SPSS 23.0. S obzirom da je Shapiro – Wilk test pokazao da testirane varijable značajno odstupaju od Gaussove krivulje, neparametrijske statističke metode su korištene uz osnovnu deskriptivnu statistiku.

Kako se u ovom eksperimentu uspoređuju dvije testirane situacije, korišten je Wilcoxonov neparametrijski test za testiranje zavisnih skupina ispitanika. Statistička značajnost je definirana na $p < 0.05$. Rezultati su prikazani u Tablici 5.

Tablica 5: Rezultati Wilcoxonovog testa ekvivalentnih parova

	vrtočlavlavica VR – vrtočlavlavica 2D	mutan vid_VR - mutan vid_2D	tes.fok.obj_VR - tes.fok.obj_2D	glavobolja_VR - glavobolja_2D	znojenje_VR - znojenje_2D	muć.u ž_VR - muć.u ž_2D	por.na pov_VR - por.na pov_2D	zamor očiju_VR - zamor očiju_2D
Z p	-2,121 0,034	-2,549 0,011	-2,588 0,010	-2,456 0,014	-1,474 0,140	-2,121 0,034	-1,890 0,059	-2,714 0,007

Iz Tablice 5 se može uočiti kako šest od osam testiranih parova varijabli pokazuje statistički značajnu razliku. Prvi uspoređeni par je vrtočlavlavica u 2D i VR uvjetima gdje je uočeno kako su ispitanici osjetili veću vrtočlavlavicu u VR uvjetima vožnje auta ($Z = -2,121$, $p = 0,034$). Mutan vid je također varijabla sa uočenom statistički značajnom razlikom ($Z = -2,549$, $p = 0,011$) gdje je vid ispitanicima mutniji u VR okruženju, kao i teškoća fokusiranja objekata ($Z = -2,588$, $p = 0,010$). Glavobolja je izraženija u VR okruženju ($Z = -2,456$, $p = 0,014$), kao i mućnina u želucu ($Z = -2,121$, $p = 0,034$), dok je varijabla poriv na povraćanje malo viša od statistički značajne razlike ($Z = -1,890$, $p = 0,059$). Varijabla zamor očiju veća je kod ispitanika u VR-u, što je i bio očekivani rezultat.

Ovi rezultati su slični u nekim aspektima sa rezultatima koja su objavljena u istraživanju iz 2018. godine, u kojem je istraživao utjecaj vožnje auta u virtualnoj stvarnosti u dvije ispitivane situacije (plus neutralno stanje u mirovanju, tzv. engl. *baseline*) [124]. Njihove dvije ispitivane situacije su bile obje u sustavu virtualne stvarnosti, jedna je bila sa korištenjem pokretljive platforme a druga bez. Ta pokretljiva platforma je služila da pojača osjet uronjenosti prilikom vožnje. Korištene su subjektivne (SSQ, MSSQ, IPQ upitnici) i objektivne metrike (puls i provodljivost kože) na 9 ispitanika. Zaključuju kako su simptomi kao generalna neugoda i nelagoda u želucu bili viši kod situacije bez pokretljive platforme a teškoća fokusiranja i osjet punine glave (engl. *fullness of head*) bili jače izraženi kod pokretljive platforme.

6.4 Zaključak

U ovom preliminarnom radu istraživano je korisničko iskustvo simulacije vožnje automobila u 2D i VR uvjetima. Korištena je anketa kao subjektivna metrika evaluacije subjektivnih simptoma kibermučnine i Muse EEG uređaj za mjerenje moždane aktivnosti kao objektivna metrika. Cilj istraživanja je bio utvrditi ima li razlike kod određenih moždanih valova u različitim uvjetima vožnje, i kakav je subjektivni doživljaj korisnika u odnosu na medij prikazivanja slike, odnosno vožnje. Rezultati objektivne metrike pokazuju da je beta/alfa omjer najveći prilikom vožnje u VR uvjetima a najmanji u stanju mirovanja. Također theta/beta omjer je najmanji u VR uvjetima a najveći u mirovanju, što se poklapa sa prijašnjim istraživanjima. Kod rezultata ankete se može primijetiti kako je izraženiji subjektivni osjećaj nelagode kod osam ispitanih varijabli veći u VR uvjetima, od kojih su neke vrtočlavica, mutan vid, glavobolja i mučnina u želucu.

Ovo istraživanje je napravljeno sa ciljem da se utvrdi ima li i koje su razlike u simptomima kibermučnine u 2 testirana medija (klasični 2D i VR) uvjeti.

Rezultati ovog istraživanja pokazuju potrebu za daljnjim proširivanjem ankete kako bi se pitanja u upitniku prilagodila testiranom sadržaju u VR okruženju, a to proširivanje pitanja provedeno je u slijedećim istraživanjima koja su provedena u sklopu ove disertacije. Poveznica između provedenih istraživanja je u nadograđivanju upitnika u odnosu na istraživani sadržaj.

7. Istraživanje različitih brzina kretanja na kibermučninu u virtualnoj stvarnosti

U ovom poglavlju prezentirano je istraživanje brzine kretanja u virtualnoj stvarnosti koja je jedan od faktora koji utječu na mučninu u virtualnom prostoru [11], [134]. U ovom istraživanju nastojalo se odgovoriti na istraživačko pitanje 3 o utjecaju različitih brzina kretanja u virtualnoj stvarnosti, prikazano na slici 1. Do trenutka pisanja ove disertacije, nađeno je samo nekoliko radova u kojima je istraživao utjecaj brzine kretanja na doživljaj virtualnog okruženja, opisanih dalje u tekstu.

So, Lo i Ho (2001), opisuju istraživanje u kojem su proučavali efekt 8 različitih brzina kretanja na mučninu u virtualnom prostoru. Koristili su Kennedy-jev SSQ upitnik za evaluaciju subjektivne metrike. Zaključuju da su subjektivne procjene mučnine i osjećaja pseudo kretanja najveći nakon deset (za mučninu) i pet minuta (za osjećaj pseudo kretanja). Također, da su subjektivne procjene mučnine i osjećaja pseudo kretanja najviše između brzina od 3 m/s do 10 m/s a nakon toga se negativni efekti mučnine stabiliziraju [135].

Isti autori, također 2001. godine objavljuju još jedno istraživanje u kojem se bave brzinom kretanja i načinom kako kvantificirati doživljaj percipiranog kretanja unutar sustava virtualne stvarnosti, da bi mogli koristiti taj model za predviđanje kibermučnine. Smatraju da postoji samo jedna subjektivna metrika za kvantifikaciju vizualnih podražaja, a to je prostorna brzina (engl. *spatial velocity*). Analizirali su podatke iz dva prethodna istraživanja i zaključili da ako se faktor prostorne brzine povećava (bilo s povećanjem kompleksnosti scene ili s povećanjem brzine kretanja), povećava se i osjećaj mučnine, što su i dokazali značajnom korelacijom [136]. Istraživanje o utjecaju brzine kretanja (10 m/s i 24 m/s) na kibermučninu koje su proveli Kвок, Ng i Lau iz 2018. godine u 4 testirane situacije (VR i CAVE sustav), zaključuju da veća brzina izaziva više nelagode kod ispitanika [137].

Brzina kretanja povezana je i s vizualno induciranom mučninom u VR-u (engl. VIMS; *Visually Induced Motion Sickness*), koja u suštini izaziva mučninu ovisno o tome koliko se brzo miče okolina koju osoba vidi, a povezana je s teorijom senzornog konflikta.

Kuiper, Bos i Diels u svom radu iz 2019. godine opisuju povezanost između varijabilne vekcije i samo vekcije (osjećaja pseudo kretanja), koja izaziva VIMS kod sudionika koji su bili konstantno izloženi optičkom protoku u VR-u. Zaključuju da: niti je prosječna vekcija, niti varijabilna vekcija bila u značajnoj korelaciji s mučninom u VR-u, te da osjećaj pseudo kretanja ne mora nužno izazvati VIMS [138]. Dennison i D'Zmura povezuju posturalnu nestabilnost i kibermučninu, kroz eksperiment u kojem su ispitanike u sjedećem i stajaćem položaju proveli kroz virtualni tunel koji se rotirao oko njihovog vidnog prostora. Povećanjem brzine rotacije,

povećala se i razina neugode u VR-u. Također, njihovi rezultati pokazuju kako se s povećanjem brzine povećala samo percepcija vertikalnog pomaka i da je moguće da se osobe naviknu na stimulus ali da im i dalje bude neugodno, te da rezultati njihovog eksperimenta sugeriraju da posturalna nestabilnost nije ni preduvjet niti simptom mučnine u VR-u [93].

Rezultati ovog istraživanja utjecaja brzine kretanja na kibermučninu objavljeni su u časopisu [139].

7.1 Metodologija

Istraživane su različite brzine kretanja u igri Talos Principle VR, gdje je promatrano koji je utjecaj različitih brzina kretanja na subjektivnu percepciju kibermučnine. Ovaj testni sadržaj je odabran zato jer već ima implementirane različite brzine kretanja koje se mogu s lakoćom mijenjati tokom igre u opcijama. Talos Principle je logička igra, koju je napravila hrvatska tvrtka za izradu igara, Croteam, u kojoj igrač treba rješavati razne zagonetke da bi napredovao u nivoima igre. Originalno je bila namijenjena za desktop računala ali je kasnije prilagođena za VR. Slika x prikazuje izgled i okolinu igre. U opcijama igre, izbornik omogućava igraču da bira između dva načina kretanja, svaki s varijacijama. Prvi način kretanja je teleportacija (engl. „*blink teleportation*“), a drugi način je tzv. klasični tip kretanja (koji se u ovom radu još naziva i linearno kretanje, (engl. „*hover*“ ili „*sliding*“). Taj drugi način kretanja ima ponuđene 3 brzine kretanja, koje su fiksno postavljene; sporu 4,25 m/s, srednju 6,37 m/s i brzu 8,5 m/s (m/s metri u virtualnom okruženju), koje su testirane. Korišten je HTC Vive uređaj za virtualnu stvarnost, a s obzirom da se ispitanici mogu kretati po sceni samo s jednim kontrolerom, druga ruka je slobodna za Pip Biosensor uređaj koji je korišten kao objektivna metrika. Pip Biosensor⁹ je uređaj koji mjeri razlike u elektrodermalnoj aktivnosti, a te razlike se povezuju s razinom stresa koju osoba doživljava u tom trenutku.

Elektrodermalna aktivnost je jedna od metoda mjerenja biološkog signala čovjeka koja se koristi za mjerenje psiholoških uzbuđenja kao što su strah, stres, uzbuđenje i umor. Radi na principu mjerenja električne provodljivosti kože kroz znojne žlijezde, pri čemu se provodljivost kože mijenja ovisno o znojenju [140]. Neka od istraživanja koja Kelley i Stanney referiraju u svojoj knjizi također spominju elektrodermalnu aktivnost koja se povećava nakon samo 10 minuta korištenja uređaja za virtualnu stvarnost [58]. Pip koristi vlastiti algoritam pri izračunu i prikazu numeričkih rezultata za broj opuštenih trenutaka (engl. „*relaxed*“), stabilnih/neutrnih (engl. „*steady*“) trenutaka i stresnih trenutaka (engl. „*stressed*“) i mjeri

⁹ Pip Biosensor uređaj: <https://thepip.com/en-eu/>

aproksimativno 8 puta u sekundi [103]. Korisnik drži Pip uređaj u ruci s palcem i kažiprstom. Uređaj se povezuje putem Bluetooth-a s aplikacijom na mobitelu na koji šalje snimljene podatke (podatke je moguće pregledavati i na mobitelu i putem web stranice na koju se korisnik ulogira). Slike 26 i 27 prikazuju scenu iz Talos Principle VR igre i Pip Biosensor uređaj.



Slika 26: Scena iz Talos Principle VR igre



Slika 27: Pip Biosensor

U istraživanju je sudjelovalo ukupno 30 ispitanika, od kojih su 2 odustala od sudjelovanja zbog nelagode, što ostavlja 28 ispitanika koji su prošli kompletno istraživanje. Od 28 ispitanika, sudjelovalo je 15 žena i 13 muškaraca s rasponom godina između 19 i 58 ($M = 21$ god.). Za većinu ispitanika (18 ispitanika), ovo je bilo prvo susretanje s VR tehnologijom, dok su neki već prije isprobali VR (9 ispitanika koristi VR nekoliko puta godišnje, a 1 ispitanik barem 1 tjedno). Korištena anketa sadržavala je ukupno 12 pitanja vezana uz doživljaj virtualne stvarnosti. Anketa se bazira na Kennedyjevom upitniku iz 1993. godine koji je za ovo istraživanje izmijenjen iz istih razloga kao u prethodnom istraživanju utjecaja 2D/3D medija na simptome kibermučnine [62].

Kennedyjev upitnik u originalnom obliku sadržava 16 pitanja podijeljenih u 3 kategorije i skalu od 0-3 stupnja. U ovoj verziji upitnika također su izbačena neka pitanja (kao generalna neugoda?, slinite li?, teškoća koncentriranja?, osjet punoće glave (engl. *fullness of head*), mantanje sa otvorenim/zatvorenim očima?, osjet želuca? i podrigujete li?), ali su dodana druga pitanja (kao osjećate li teškoću prilikom nošenja headseta?, koji vam je dominantni simptom od navedenih?). Smatrano je da se sa izbacivanjem nekih pitanja pojednostavljuje istraživanje kibermučnine, a i u istraživanju koje je proveo Carnegie, ispitanici su smatrali takva i slična pitanja kao oblik šale, pa je i Carnegie mijenjao originalni SSQ [127]. Hirzle et al. smatra da upitnici za evaluaciju simptoma kibermučnine trebaju sadržavati i pitanja o ergonometričnosti korištenja HMD-a, pa je u ovo istraživanje uvršteno pitanje *fizička nelagoda prilikom nošenja HMD-a* i *umor u VR-u* [126]. Smisao izbacivanja nekih pitanja je pojednostavljivanje ali sa proširenim rasponom u skali odgovora. U anketi je bilo 10 općenitih pitanja vezanih uz doživljaj

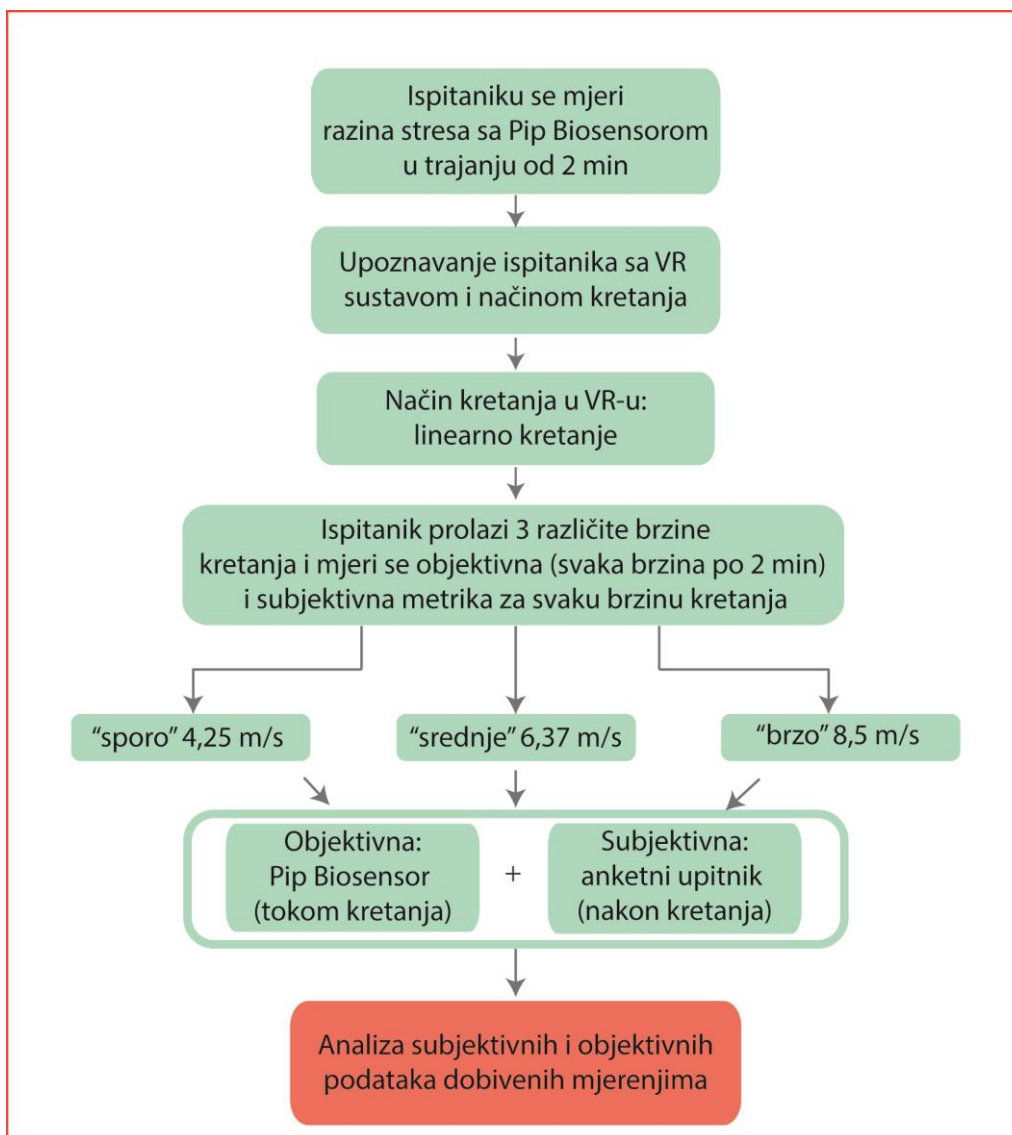
VR scene, sa mogućim odgovorima na skali Likertovog tipa od 1 – 5 (1 (uopće se ne slažem), do 5 (u potpunosti se slažem), uz jedno dodatno pitanje na kraju svake testirane brzine i jedno dodatno pitanje na kraju istraživanja. Prilog 2. prikazuje korištenu anketu.

Slika 28 prikazuje postav eksperimenta s opremom, a slika 29 metodologiju.



Slika 28: Postav eksperimenta s opremom

Metodologija istraživanja je bila slijedeća; svakom ispitaniku koji je pristupio istraživanju prvo se izmjerila razina stresa sa Pip Biosenzorom u trajanju od 2 minute. Zatim su mu se postavila općenita pitanja vezana iz dob, spol, iskustvo u VR-u itd. Nakon toga, ispitaniku se pokazao sustav virtualne stvarnosti i funkcije kontrolera u smislu kretanja kroz testni prostor. Testiranje započinje sa prvom brzinom (nasumično odabranom) i korisnik u jednoj ruci drži kontroler a u drugoj Pip uređaj koji istovremeno mjeri razinu stresa. Nakon slobodnog kretanja po sceni u trajanju od 2 minute, ispitaniku se postave pitanja vezana uz tu simptome kibermučnine. Zatim ispitanik prolazi druge dvije nasumično odabrane brzine kretanja na isti način kao i prvu scenu. Testiranje je trajalo oko 15 minuta (sa uključenim kratkim uvodom, općenitim pitanjima i testiranim brzinama). Nakon cijelog testiranja zadnje pitanje za ispitanike bilo je da odrede koja im je brzina kretanja bila najugodnija/najmanje ugodna.



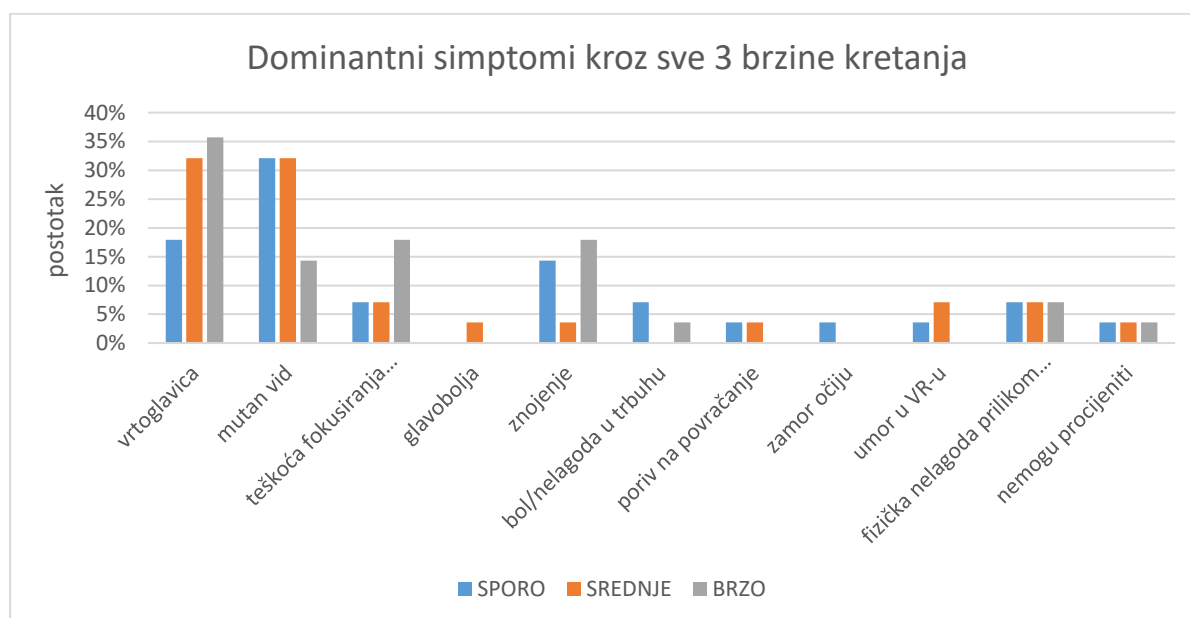
Slika 29: Hodogram/metodološki prikaz testiranja različitih brzina kretanja u virtualnom okruženju

7.2 Rezultati i rasprava

Rezultati su dobiveni statističkom obradom u programu IBM SPSS 23.0. S obzirom da je Shapiro – Wilk test pokazao da testirane varijable značajno odstupaju od Gaussove krivulje, neparametrijske statističke metode su korištene uz osnovnu deskriptivnu statistiku. Friedmanov test je korišten kako bi se ispitale sličnosti između zavisnih grupa ispitanika. Zatim, za ispitivanje korelacije između ordinalnih varijabli, korišten je Spearmanov korelacijski test, dok je Kendall Tau-b korelacijski test korišten za ispitivanje korelacija između ordinalnih i nominalnih varijabli. Statistička značajnost je definirana na $p < 0.05$.

Od ukupno 28 ispitanika, 18 (64.3%) nije imalo nikakvog iskustva sa VR-om, 9 (32.1%) ispitanika koristi VR nekoliko puta godišnje i 1 ispitanik (3.6%) koristi VR tehnologiju barem jednom tjedno. Što se tiče mučnine u prijevoznim sredstvima, samo 3 (10.7%) ispitanika ju doživljava u odrasloj dobi, dok 25 (89.3%) nema problema. Ispitanici su pitani jesu li patili od mučnine u prijevoznim sredstvima kao djeca i 12 (42.9%) se izjasnilo da da, dok ostalih 16 (57.1%) ne. 10 (35.7%) ispitanika nose naočale ili leće a preostalih 18 (64.3%) imaju normalni vid.

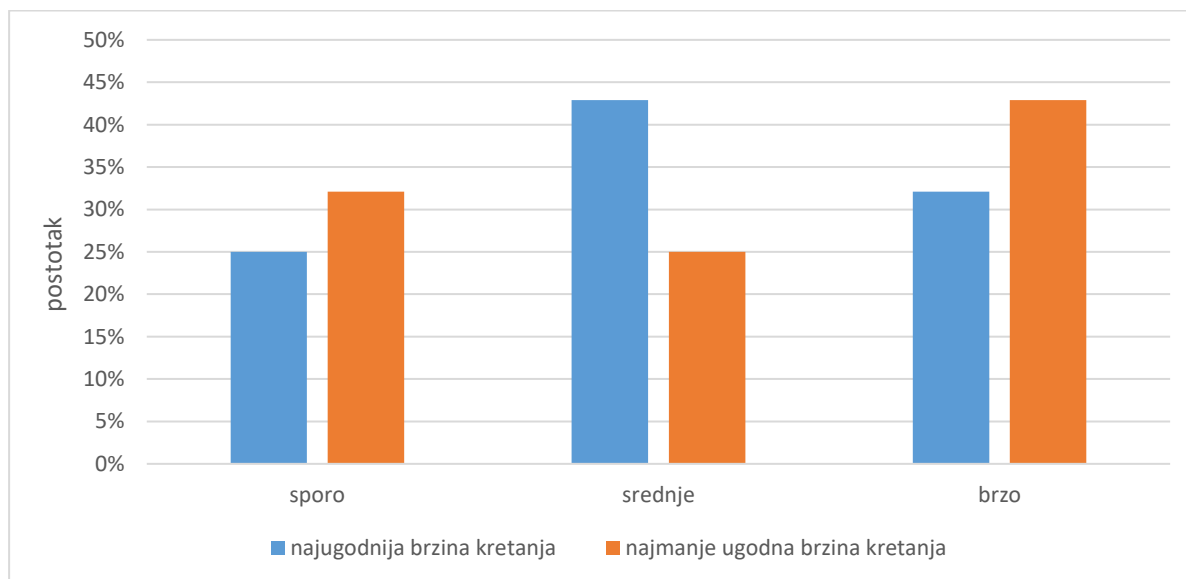
Zadnje pitanje u upitniku nakon svake testirane brzine bilo je da ispitanik sam odredi koji mu je simptom bio dominantan. Pitanje je postavljeno radi utvrđivanja ima li veće prisutnosti nekog simptoma. Na grafu 7 su prikazani postoci dominantnih simptoma za sve 3 brzine kretanja.



Graf 7: Postoci dominantnih simptoma za sve 3 brzine kretanja

Iz grafa je vidljivo da je najčešće odabrani simptom vrtoglavica, koju je odabralo 10 ispitanika: (35.7%) u najvećoj brzini, zatim 9 ispitanika (32.1%) za srednju brzinu i 5 (17.9%) za sporu brzinu. Drugi najprominentniji dominantni simptom je mutan vid, kojeg je izabrao isti broj ispitanika u sporoj i srednjoj brzini (9 ispitanika, 32.1%) i samo 4 ispitanika (14.3%) u situaciji kod najveće brzine.

Pitanje koje je postavljeno (nakon što su sve 3 brzine testirane), bilo je da ispitanik odabere koja mu je od 3 ponuđene bila najugodnija a koja najmanje ugodna brzina za kretanje. Rezultati pokazuju da je najugodnija bila srednja brzina (12 ispitanika 42.9%), a najneugodnija brzina kretanja je najveća brzina (12 ispitanika 42.9%). Graf 8 prikazuje najugodniju i najmanje ugodnu brzinu kretanja.



Graf 8: Najugodnija i najmanje ugodna brzina kretanja

Tablica 6 prikazuje statističku razliku za sve varijable testirane kroz sve 3 brzine (N=28). Varijable nisu pokazale značajnu statističku razliku u odnosu na brzine. Tablica 7 prikazuje rezultate objektivne metrike Pip Biosenzora za koje su prikazani medijani i standardne devijacije (N=28), koji nisu rezultirali nikakvim statistički relevantnim rezultatima, niti međusobno niti u odnosu na neutralno stanje.

Tablica 6: Statistička razlika između varijabli iz upitnika za sve 3 brzine

	Sporo	Srednje	Brzo		
	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>F_r</i>	<i>p</i>
Vrtoglavica	1,5	2	2	2,493	0,287
Mutan vid	2	2	2	1,143	0,565
Teškoća fokusiranja objekata	1,5	1	1,5	5,600	0,061
Glavobolja	1	1	1	5,429	0,066
Znojenje	2	2	2	0,520	0,771
Mučnina u želucu	1	1	1	0,692	0,707
Poriv na povraćanje	1	1	1	1,000	0,607
Zamor očiju	1,5	2	2	0,304	0,859
Umor u VR-u	1	2	1	0,383	0,826
Fizička nelagoda prilikom nošenja HMD-a	1,5	2	2	1,167	0,558

Tablica 7: PIP Biosensor statistička razlika za sva mjerena stanja

	Neutralno	Sporo	Srednje	Brzo		
	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>F_r</i>	<i>p</i>
Stresni događaji	20	17,5	20	18	5,834	0,120
Pripravni/neutralni događaji	17	18	20,5	16	3,520	0,318
Opušteni događaji	14,5	20	16,5	18,5	4,115	0,249

Spearmanov korelacijski test je napravljen između svih ordinalnih varijabli za sve tri ponuđene brzine kretanja i objektivnu metriku Pip Biosensor uređaja za mjerenje. Za testiranje korelacije između nominalnih i ordinalnih varijabli, korišten je Kendall Tau-b korelacijski test. Tablica 8 prikazuje ovdje opisane korelacije. Varijable koje nisu imale baš nikakvu korelaciju nisu u ovoj tablici (kao varijabla „znojenje“). Podebljane vrijednosti unutar tablice označavaju značajnu korelaciju.

Nađena je slaba do umjerena pozitivna korelacija između varijable „spol“ i varijable „fizička nelagoda prilikom nošenja HMD-a“ u sporoj ($r=0,489$, $p=0,006$), srednjoj ($r=0,504$, $p=0,005$) i brzini ($r=0,394$, $p=0,027$), i između varijable „spol“ : i „mučnina u želucu“ ($r=0,374$, $p=0,049$), i „poriv na povraćanje“ pri najvećoj brzini ($r=0,374$, $p=0,049$), i indicira da je ženske ispitanice jače osjećaju navedene simptome. Postoji umjerena pozitivna korelacija vezana uz varijablu „dob“ i „mučnina u prijevoznim sredstvima“, ($r=0,448$, $p=0,008$), što indicira da se osjećaj mučnine povećava s godinama. Može se primijetiti i slaba do umjerena korelacija između godina i: „vrtoglavice“ pri najvećoj brzini ($r=0,458$, $p=0,014$), „poriv na povraćanje“ pri sporij brzini ($r=0,388$, $p=0,041$) i srednjoj brzini ($r=0,412$, $p=0,029$), ali ne i pri najvećoj brzini. Također, varijabla „učestalost korištenja (VR tehnologije)“ pokazuje nekoliko slabih do umjerenih korelacija sa srednjom brzinom kretanja i: „mučnina u želucu“ ($r=0,493$, $p=0,007$), „poriv na povraćanje“ ($r=0,427$, $p=0,022$), „fizička nelagoda prilikom nošenja HMD-a“ ($r=0,370$, $p=0,035$) i broja stresnih događaja koje je Pip Biosensor uređaj očitao ($r=0,326$,

$p=0,045$). Varijable „Učestalost korištenja (VR tehnologije)“ i „glavobolja“ pokazuju pozitivnu korelaciju pri najvećoj brzini kretanja ($r=0,450$, $p=0,017$), što indicira da osobe koje češće koriste VR tehnologiju, češće osjećaju glavobolju.

Što se tiče varijable koja se odnosi na „mučninu u prijevoznim sredstvima“, nađena je korelacija s varijablom „poriv na povraćanje“ ($r=0,413$, $p=0,03$). Također je ispitana varijabla „mučnina u prijevoznim sredstvima kao djeca“ i ona pokazuje negativnu ali značajnu korelaciju u sporij ($r=-0,389$, $p=0,028$) i najbržoj brzini ($r=-0,392$, $p=0,027$) s varijablom „mutan vid“ i „teškoća fokusiranja objekata“ u najbržoj brzini ($r=-0,376$, $p=0,035$). Također, varijabla „mučnina u prijevoznim sredstvima kao djeca“ i „vrtoglavica“ pokazuju slabu ali pozitivnu korelaciju ($r=0,357$, $p=0,047$), što indicira da odrasli kojima je bilo mučno u vozilima dok su bili djeca imaju veću tendenciju da im bude mučno u virtualnoj stvarnosti.

Tablica 8: Korelacije između varijabli za sve 3 brzine

	Mučnina u prijevoznim sredstvima	Vrtoglavica	Mutan vid	Teškoća fokusiranja na objekte	Glavobolja	Mučnina u želucu	Poriv na povraćanje	Umor u VR-u	Fizička nelagoda prilikom nošenja HMD-a	Stresni momenti Pip Biosensor
Spol		S: $r=-0,146$ $p=0,429$	S: $r=0,283$ $p=0,110$	S: $r=-0,044$ $p=0,804$	S: $r=0,133$ $p=0,479$	S: $r=-0,209$ $p=0,272$	S: $r=0,256$ $p=0,180$	S: $r=0,067$ $p=0,706$	S: $r=0,489^*$ $p=0,006$	S: $r=0,011$ $p=0,945$
		M: $r=0,071$ $p=0,693$	M: $r=0,203$ $p=0,261$	M: $r=0,028$ $p=0,877$	M: $r=0,278$ $p=0,139$	M: $r=0,317$ $p=0,089$	M: $r=0,249$ $p=0,189$	M: $r=0,191$ $p=0,289$	M: $r=0,504^*$ $p=0,005$	M: $r=0,076$ $p=0,643$
		F: $r=0,184$ $p=0,297$	F: $r=0,269$ $p=0,129$	F: $r=0,089$ $p=0,619$	F: $r=-0,010$ $p=0,959$	F: $r=0,374^*$ $p=0,049$	F: $r=0,374^*$ $p=0,049$	F: $r=0,161$ $p=0,369$	F: $r=0,394^*$ $p=0,027$	F: $r=0,079$ $p=0,628$
Dob	$r=0,448^*$ $p=0,008$	S: $r=0,096$ $p=0,626$	S: $r=0,103$ $p=0,604$	S: $r=0,084$ $p=0,669$	S: $r=0,143$ $p=0,469$	S: $r=0,158$ $p=0,422$	S: $r=0,388^*$ $p=0,041$	S: $r=0,193$ $p=0,324$	S: $r=0,250$ $p=0,200$	S: $r=0,366$ $p=0,056$
		M: $r=0,191$ $p=0,330$	M: $r=0,107$ $p=0,587$	M: $r=0,150$ $p=0,447$	M: $r=-0,018$ $p=0,927$	M: $r=0,298$ $p=0,123$	M: $r=0,412^*$ $p=0,029$	M: $r=0,274$ $p=0,158$	M: $r=0,230$ $p=0,239$	M: $r=0,058$ $p=0,768$
		F: $r=0,458^*$ $p=0,014$	F: $r=0,197$ $p=0,315$	F: $r=0,062$ $p=0,754$	F: $r=0,173$ $p=0,378$	F: $r=0,329$ $p=0,087$	F: $r=0,343$ $p=0,074$	F: $r=0,137$ $p=0,488$	F: $r=0,216$ $p=0,269$	F: $r=0,076$ $p=0,699$
Koliko često koristite VR?		S: $r=0,067$ $p=0,713$	S: $r=0,044$ $p=0,803$	S: $r=0,054$ $p=0,758$	S: $r=0,147$ $p=0,426$	S: $r=-0,102$ $p=0,584$	S: $r=0,060$ $p=0,750$	S: $r=0,155$ $p=0,377$	S: $r=0,213$ $p=0,248$	S: $r=0,280$ $p=0,078$
		M: $r=0,207$ $p=0,242$	M: $r=0,023$ $p=0,898$	M: $r=0,067$ $p=0,709$	M: $r=0,166$ $p=0,380$	M: $r=0,493^*$ $p=0,007$	M: $r=0,427^*$ $p=0,022$	M: $r=0,338$ $p=0,056$	M: $r=0,370^*$ $p=0,035$	M: $r=0,326^*$ $p=0,045$
		F: $r=0,009$ $p=0,960$	F: $r=-0,113$ $p=0,518$	F: $r=-0,027$ $p=0,878$	F: $r=0,450^*$ $p=0,017$	F: $r=0,351$ $p=0,061$	F: $r=0,351$ $p=0,061$	F: $r=0,234$ $p=0,186$	F: $r=0,240$ $p=0,170$	F: $r=0,004$ $p=0,981$
Mučnina u prijevoznim sredstvima		S: $r=0,061$ $p=0,742$	S: $r=0,152$ $p=0,391$	S: $r=-0,151$ $p=0,400$	S: $r=-0,175$ $p=0,351$	S: $r=-0,139$ $p=0,463$	S: $r=0,333$ $p=0,081$	S: $r=-0,283$ $p=0,113$	S: $r=0,115$ $p=0,521$	S: $r=0,300$ $p=0,063$
		M: $r=0,314$ $p=0,080$	M: $r=-0,153$ $p=0,398$	M: $r=-0,098$ $p=0,589$	M: $r=-0,176$ $p=0,350$	M: $r=0,068$ $p=0,717$	M: $r=0,413^*$ $p=0,030$	M: $r=-0,021$ $p=0,905$	M: $r=0,084$ $p=0,637$	M: $r=0,031$ $p=0,852$

		F: r=0,062 p=0,725	F: r=-0,007 p=0,969	F: r=-0,150 p=0,400	F: r=0,365 p=0,056	F: r=0,151 p=0,427	F: r=0,174 p=0,359	F: r=0,111 p=0,535	F: r=-0,021 p=0,905	F: r=0,060 p=0,710
Mučnina u prijevoznim sredstvima (kao djeca)	r= 0,400* p= 0,038	S: r=0,275 p=0,136	S: r=- 0,389* p= 0,028	S: r=-0,188 p=0,292	S: r=0,091 p=0,627	S: r=0,044 p=0,819	S: r=0,030 p=0,876	S: r=-0,322 p=0,072	S: r=-0,152 p=0,394	S: r=0,034 p=0,834
		M: r= 0,357* p= 0,047	M: r=-0,292 p=0,107	M: r=-0,137 p=0,451	M: r=0,268 p=0,154	M: r=-0,133 p=0,476	M: r=0,139 p=0,464	M: r=-0,277 p=0,123	M: r=-0,136 p=0,446	M: r=-0,023 p=0,888
		F: r=-0,013 p=0,492	F: r= 0,392* p= 0,027	F: r=- 0,376* p= 0,035	F: r=0,317 p=0,096	F: r=-0,167 p=0,380	F: r=-0,152 p=0,423	F: r=-0,241 p=0,179	F: r=-0,141 p=0,427	F: r=0,091 p=0,577

S = spora brzina, M = srednja brzina, F = najveća brzina, ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$ koeficijent korelacije

Također, korelacije između najugodnije i najmanje ugodne brzine za kretanje u odnosu na varijable su također nađene i prikazane u Tablici 9. Primjetno je da najveća nelagoda u odnosu na srednju brzinu ima pozitivnu korelaciju s varijablom „mučnina u želucu“ ($r = 0,452$, $p = 0,016$), i negativnu korelaciju s istom varijablom u odnosu na najmanju nelagodu ($r = -0,391$, $p = 0,040$). Najveća nelagoda što se tiče srednje brzine je u korelaciji sa „umorom u VR-u“ i „fizička nelagoda prilikom nošenja HMD-a“ ($r = 0,407$, $p = 0,032$). Nađena je i korelacija sa najmanje ugodnom brzinom i varijablom „vrtoglavica“ pri najvećoj brzini ($r = 0,473$, $p = 0,011$), zatim „mučnina u želucu“ ($r = 0,432$, $p = 0,022$) i poriv na povraćanje ($r = 0,432$, $p = 0,022$).

Tablica 9: Korelacije između najugodnije i najmanje ugodne brzine kretanja u odnosu na varijable

	Srednja brzina: Mučnina u želucu	Srednja brzina: Umor u VR-U	Srednja brzina: Fizička nelagoda prilikom nošenja HMD-a	Najbrža brzina: vrtoglavica	Najbrža brzina: Mučnina u želucu	Najbrža brzina: Poriv na povraćanje
Najmanje ugodna brzina kretanja	r=0,452*, p=0,016	r=0,468*, p=0,012	r=0,407*, p=0,032	r=0,473*, p=0,011	r=0,432*, p=0,022	r=0,432*, p=0,022
Najugodnija brzina kretanja	r=-0,391*, p=0,040	r=-0,102, p=0,604	r=-0,327, p=0,090	r=-0,356, p=0,063	r=-0,319, p=0,098	r=-0,178, p=0,366

7.3 Zaključak

U istraživanju koje je provedeno, s ciljem utvrđivanja utjecaja brzine kretanja na kibermučninu kod klasičnog načina kretanja u VR-u korištene su subjektivne i objektivne metode istraživanja korisničkog iskustva, a sadržaj na kojem je izvedeno istraživanje je igra Talos Principle VR, hrvatskih programera računalnih igara. Subjektivna metoda je anketni upitnik koji se temelji na Kennedy-evom upitniku iz 1993. godine, uz neke preinake. Sastoji se od nekoliko općenitih pitanja o ispitaniku i 11 pitanja vezanih uz iskustvo u VR-u, plus jedno dodatno pitanje nakon cijelog ispitivanja vezano uz brzinu kretanja „Koja brzina kretanja vam je bila najugodnija/najmanje ugodna“.

Korišten je Pip Biosensor kao objektivna metoda mjerenja nelagode u virtualnom prostoru. Ispitivanje je provedeno na 28 dobrovoljnih ispitanika. Rezultati upitnika nisu pokazali statistički značajnu razliku kod različitih brzina kretanja kod objektivne metrike Pip Biosensor. Dominantni simptomi koje su ispitanici naveli kod različitih brzina kretanja (kao vrtoglavicu, mutan vid, glavobolju i znojenje) rezultiraju simptomima koji se mogu naknadno istraživati. Pip Biosensor uređaj za mjerenje stresa nije dao statistički značajne rezultate između spore, srednje i najveće brzine kretanja, kao ni u odnosu na neutralno stanje ispitanika. Nađene su neke zanimljive statistički značajne korelacije između varijabli spol, mučnina u želucu i poriv na povraćanje kod najveće brzine, gdje su ženske ispitanice navele najjače simptome nelagode u VR-u, što je već i potvrđeno u ranijim studijama [141], [142]. Godine ispitanika također pozitivno koreliraju s vrtoglavicom pri najvećoj brzini kretanja, a primjećuje se i umjerena pozitivnu korelaciju sa mučninom u prijevoznim sredstvima.

Pitanje koje se postavlja je mogu li se ovi zaključci generalizirati i na druge vrste sadržaja recimo automobile ili letjelice ili avione? Prije nego se da odgovor na to pitanje potrebno je provesti još istraživanja, s obzirom da se može dogoditi da je brzina kretanja povezana sa nekom drugom mehanikom unutar igre/doživljaja u VR-u. Buduća istraživanja će biti usmjerena na daljnje istraživanje nelagode i načina kretanja u virtualnoj stvarnosti korištenjem subjektivnih i objektivnih metrika i prema traženju praga brzine pri kojoj dolazi do kibermučnine.

8. Utjecaj načina kretanja u virtualnoj stvarnosti na korisničko iskustvo i kibermučninu

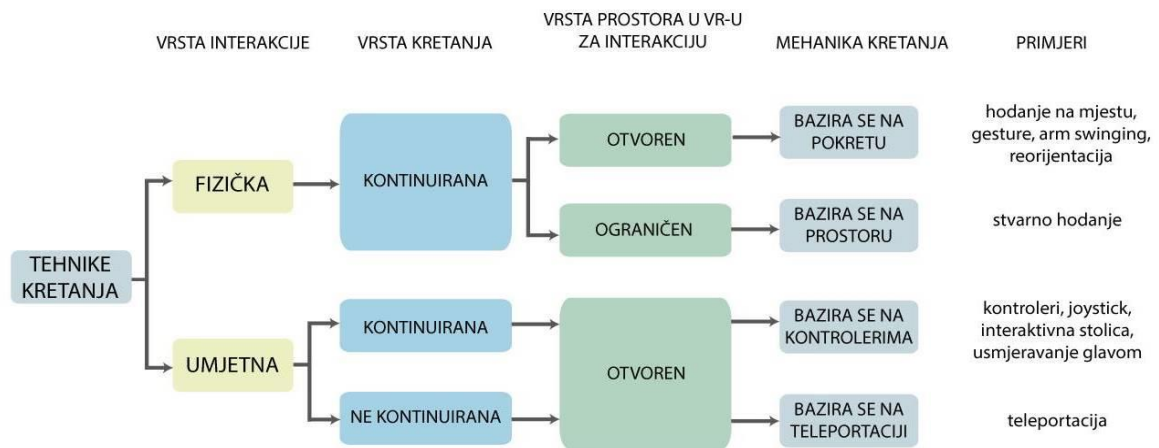
U ovom poglavlju opisano je istraživanje utjecaja različitih načina kretanja na korisničko iskustvo i kibermučninu u sustavu virtualne stvarnosti. Postoje različiti načini kretanja u VR-u koji su detaljnije opisani u pod poglavlju „8.1 Pregled načina kretanja u virtualnoj stvarnosti“. Također, osim načina kretanja ispitivao se utjecaj osvjetljenja na korisničko iskustvo i kibermučninu, na način da su se dva različita osvjetljenja implementirala unutar ispitivanih scena prilikom izrade i to su istraživačka pitanja 4 i 5 prikazana na slici 1.

8.1 Pregled načina kretanja u virtualnoj stvarnosti

Klasični način kretanja s tipkovnicom i mišem se pokazao neadekvatan za određene scenarije u virtualnoj stvarnosti, kao što su FPS-ovi (engl. *First Person Shooter*) ili sportski sadržaji, a s obzirom da se u sustavu virtualne stvarnosti ne mora nužno sjediti, tipkovnica i miš su zamijenjeni kontrolerima ili u nekim slučajevima *joystick*-om [49], [73]. Postoje mnogi načini kretanja u VR-u kojih je većina u ovom poglavlju i opisana, a odgovaraju različitim scenarijima, iskustvenim sadržajima, kao i igrama. Radovi koji se bave tematikom kretanja opisani su u poglavlju 4.3. Također, Boletsis u svom radu iz 2017. godine daje sistematski pregled i opis tehnika kretanja u virtualnoj stvarnosti, koji je preveden i u cijelosti prikazan na slici 30 [143]. Boletsisov shematski prikaz kretanja podijeljen je u dvije glavne skupine po vrsti interakcije (umjetnu i fizičku), gdje je kod umjetne interakcije naglasak na korištenju kontrolera za postizanje pomaka u VR-u, a kod fizičke se više koriste ruke i noge ili glava za postizanje kretanja u kombinaciji sa kontrolerom. Zatim se podjela proširuje na vrstu kretanja u smislu je li kontinuirana ili ne i dijeli se na vrstu prostora koji se koristi (a on može biti otvoren ili ograničen) i na kraju podjele je navedena mehanika kretanja sa primjerom. Na internetskim stranicama i na YouTube-u se mogu naći primjeri i opisi tehnika kretanja u virtualnoj stvarnosti koji se koriste u igrama [144].

Barret u svom izvještaju iz 2004. godine opisuje kako faktori zadatka utječu na kibermučninu, a kao najvažniji navodi trajanje izloženosti virtualnoj stvarnosti. Također navodi druge faktore kao što su osjećaj pseudo kretanja kao posljedicu promjene vizualnog toka prilikom zadatka letenja pri kojem se mijenja visina, brzina i način manevriranja kroz prostor i generalna kontrola nad kretanjem u VR-u i sam način kretanja [32]. U daljnjem tekstu su navedene neke tehnike kretanja s opisima mehanike samog kretanja i primjerom korištenja.

- Teleportacija – korisnik se kreće po virtualnom prostoru koristeći se kontrolerom, mehanizam pomicanja je usmjeravanje kontrolera na željeno mjesto na kojem se pojavi oznaka na podu i pritiskom na gumb položaj osobe se promijeni (varijacije: klasična teleportacija (već ponuđena u UE4 aplikaciji, korisnik pritiskom na gumb vidi plavu zakrivljenu liniju čiji kraj može usmjeriti negdje dalje od sebe i otpuštanjem gumba se na tom mjestu pojavi), „engl. *dash*“ teleportacija (korisnik se usmjerava prema željenom mjestu u brzim intervalima pomaka, ovisno o brzini taj način pomaka izgleda kao da je korisnik povučen na to mjesto), „engl. *blink*“ teleportacija (korisnik pogleda na željeno mjesto i pritiskom na gumb se tamo pojavi) – primjeri igre: Talos Principle VR, Rick and Morty Virtual Rick-ality).
- Stvarno hodanje na mjestu – korisnik se može kretati na mjestu i imati uređaje za praćenje pokreta po rukama i/ili nogama ili korištenjem raznih traka za hodanje
- Stvarno hodanje po prostoru – korisnikov položaj se prati uređajima za praćenje pokreta, kao što su bazne stanice
- Kontroler/*joystick* – korisnik se koristi klasičnim *joystick*-om da bi se kretao kroz virtualni prostor, korištenjem mehanizma gumba „gljive“ gdje se pomakom palca po gljivi kreće naprijed-natrag, lijevo-desno, primjeri igara su Project Cars, Eve Valkyrie VR, Hover junkers, Fallout 4 VR.
- *Arm swing* – korisnik se kreće kontrolerima koje usmjerava gore dolje (slično kao da drži štapove za brzo hodanje). Primjer igre je Nature Treks VR.
- Reorijentacija – sustavi za kretanje u kojima se osoba fizički mora okrenuti kako bi mogla nastaviti krenuti u željenom smjeru [145].
- *Gesture* (primjer letenja, uređaji kao Microsoft Kinect i Leap Motion)



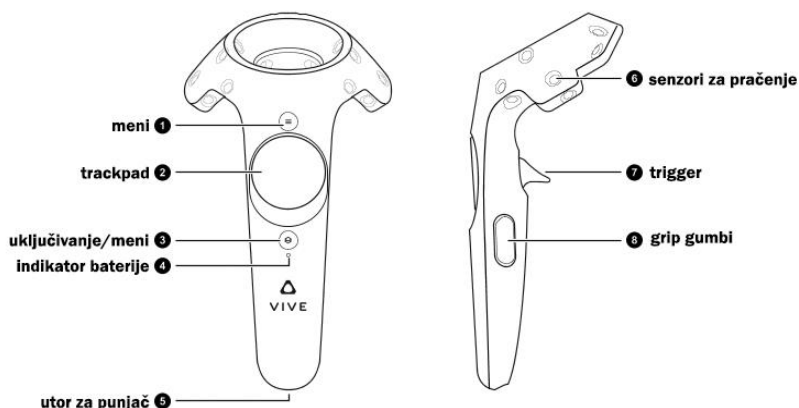
Slika 30: Tipologija kretanja kroz prostor virtualne stvarnosti [143]

8.2 Odabrani načini kretanja za potrebe istraživanja

Za ovo istraživanje odabrana su 3 načina kretanja, po slijedećem kriteriju: koliko se često koristi u aplikacijama, koliko nelagode izaziva prema rezultatima istraživanja koja su već provedena i koliko je „prirodan“ način kretanja, odnosno koliko je sličan stvarnom kretanju čovjeka.

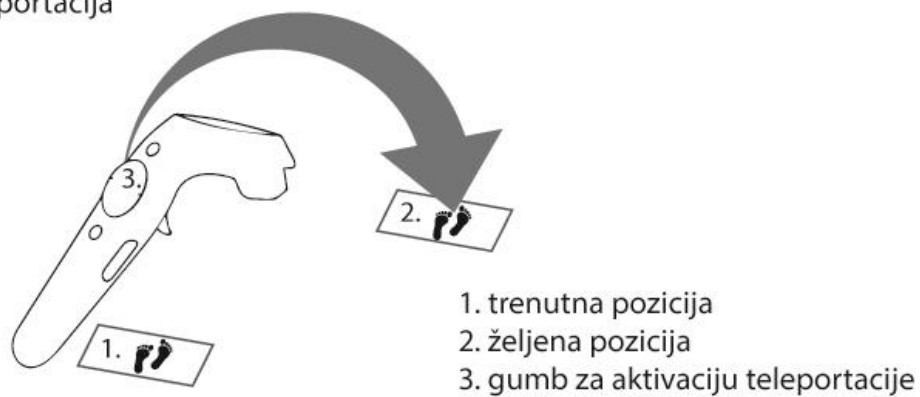
- Teleportacija (engl. *teleportation*) – najčešće korištena tehnika, uglavnom ne izaziva nelagodu kod korisnika.
- Linearno kretanje (engl. *hover, direct movement*) – često korištena tehnika, izaziva nelagodu kod korisnika.
- Kretanje pomicanjem ruku (engl. *arm swing*) – rjeđe korištena tehnika, ali najprirodnija od ove tri navedene jer uključuje rad ruku, informacija o izazivanju nelagode nepoznata.

Na slici 31 je prikazan HTC Vive kontroler sa objašnjenim tipkama i na slici 32 prikazani su odabrani načini kretanja: teleportacija, linearno kretanje i *arm swing* kretanje.

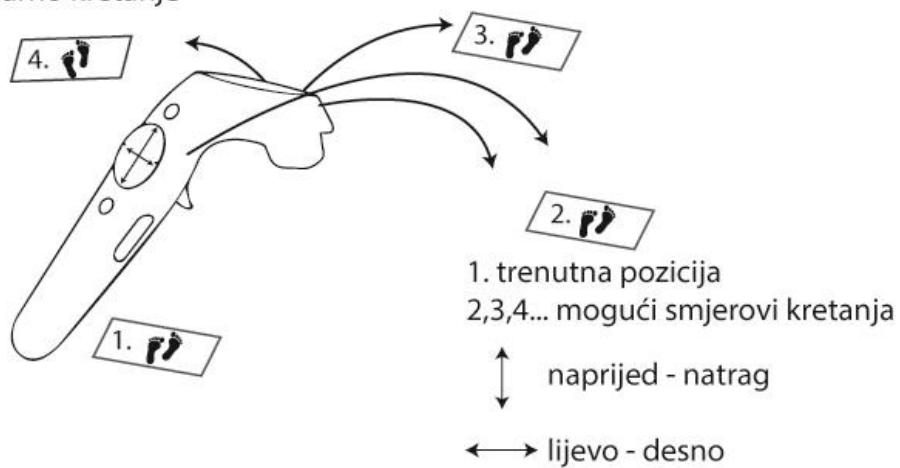


Slika 31: HTC Vive kontroleri i opis gumba (tipki)

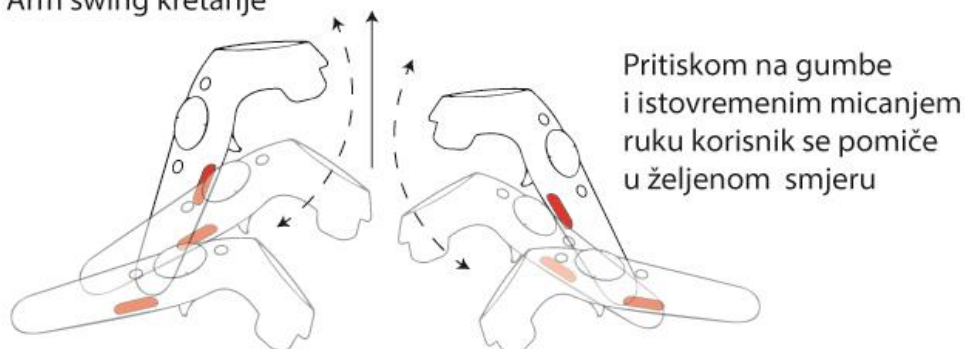
Teleportacija



Linearno kretanje



Arm swing kretanje



Slika 32: Prikazi načina kretanja: teleportacija, linearno kretanje i *arm swing* tehnika kretanja

8.3 Programska rješenja kretanja i korištenje shematskih planova u Unreal Engine 4 aplikaciji

Za ovo istraživanje bilo je potrebno izraditi scenu koja bi bila identična za sva tri različita kretanja, samo razina osvjetljenja bi bila različito podešena za svaki način kretanja. Nužno je da scena bude jednaka za svaku situaciju zato da se isključi mogući utjecaj različitih parametara na korisničko iskustvo. Korištena aplikacija Unreal Engine 4 (UE4) je platforma za izradu igara, scena i iskustava [146]. Namijenjena je izradi različitih sadržaja i okruženja koji se mogu plasirati na različite uređaje [147]. Fleksibilnost platforme je veoma pogodna za ovo istraživanje, jer se može koristiti za testiranje različitih načina kretanja i u sustavu virtualne stvarnosti. UE4 je baziran na C++ programskom kodu. Nudi korisniku dva načina izrade sadržaja; direktnim programiranjem korištenjem C++-a, ili korištenjem tzv. „shematskih planova“ (engl. *blueprint*). Korisničko sučelje UE4 za korištenje i izradu shematskih planova dozvoljava relativno jednostavno stvaranje koda ali i manipulaciju već postojećeg koda. Pomoću shematskih planova može se utjecati na velik dio svijeta koji se kreira, bilo da je to neki aspekt dizajna, mehanike ili interakcije. Carnegie je u svom radu koristio shematske planove za programiranje dinamičke dubinske oštine [127], [148]. U ovom istraživanju korišteni su shematski planovi za izradu i manipulaciju različitih načina kretanja, kako bi se nakon testiranja mogli usporediti kroz evaluaciju korisničkog iskustva, s ciljem postizanja boljeg korisničkog iskustva u virtualnoj stvarnosti.

Teleportacija kao način kretanja je integrirana u shematski plan osnovnog VR paketa koji se kreira u Unreal Engine 4 aplikaciji. Linearno kretanje je programirano da funkcionira na isti način kao kretanje sa tzv. gljivom na *joystick-u*, a *arm swing* tehnika je programirana i prilagođena prema videu na YouTube-u.

8.4 Izrada scene i postavljanje parametara u Unreal Engine 4 aplikaciji

Postoji više parametara koji se mogu odabrati prilikom izrade scena i sadržaja za virtualnu stvarnost, a Rebenitsch u svom radu daje neke smjernice za oblikovanje scene sa ciljem smanjenja kibermučnine, na temelju svog iskustva i mišljenja [11]. Navodi kako bi bilo dobro da programeri smanje širinu vidnog polja za korisnike, smanje brzinu kretanja i da je bolje da korisnici sjede. Također smatra da korisnici imaju više problema sa umjetnim i ponavljajućim teksturama i da je bolje koristiti ne repetitivne teksture kao police sa knjigama ili zid sa pokojom pukotinom. Predlaže i prostranije prostore, ne i uske hodnike i igranje igara kako bi se stvorila navika igranja. Winslow također daje neke smjernice prilikom dizajna scena (koje se ne podudaraju sa smjernicama od iznad navedene Rebenitsch), a smjernice služe za smanjenje kibermučnine u VR-u [149]. On smatra da se kibermučnina može osjetiti kod korisnika makar je dobar grafički prikaz i široko vidno polje. Također, da treba izbjegavati pasivni oblik kretanja, vizualno ubrzanje (bilo da je linearno ili pod kutem) i pomake kamere prilikom simulacije hodanja.

Scena i njezin vizualni sadržaj je izrađen u UE4 aplikaciji verziji 4.20. Za istraživanje su odabrana 3 načina kretanja (opisana u poglavlju „8.2 Odabrani načini kretanja za potrebe istraživanja“) koja su testirana u 2 uvjeta osvjetljenja, odnosno, u jednoj sceni s definiranim dnevnim svjetlom i drugoj koja ima uvjete manje osvijetljenosti, (ali ne potpuni mrak). Osvjetljenje je odabrano kao istraživački parametar iz dva razloga, prvi je što prilikom istraživanja literature nije nađeno mnogo radova koji su tematski povezali osvjetljenje i kibermučninu i zato jer je osvjetljenje dio interesa unutar istraživanja u obradi slika i percepcije istih. Kod istraživanja prikaza slika uočeno je da osvjetljenje igra važnu ulogu. To ukupno čini 6 scena za testiranje. Cilj je bio otkriti utječe li način kretanja na kibermučninu i ima li povezanosti s uvjetima osvjetljenja u bilo kojoj kombinaciji kretanja.

Tokom pisanja ove disertacije nađena su svega dva rada koja se tematski bave pitanjem osvjetljenja u virtualnoj stvarnosti. Jedan koji adresira pojam osvjetljenja scene u smislu tehničkog aspekta, koji je vezan uz renderiranje scene za krajnjeg korisnika i osvjetljenje kao okosnica osjećaja imerzije [150]. Drugi primjer je znanstveni rad u kojem su autori istraživali simptome kibermučnine kroz tri eksperimenta provedena na četiri različita tipa zaslona (HMD, zaslon računala, projektor i engl. „*reality theatre*“). Jedan od eksperimenata je bio gledanje sadržaja u svijetlim i tamnim uvjetima. Zaključuju da nije bilo razlike u svijetlim i tamnim

uvjetima gledanja, ali da nije čudno da razlike nisu nađene jer su eksperiment sa svijetlim i tamnim uvjetima gledanja napravili samo na zaslonu računala, jer zbog tehničkih razloga nisu mogli na svim tipovima zaslona [151]. Mealy u svojoj knjizi predlaže kao savjet prilikom izrade virtualnih scena da se izbjegavaju drastične promjene kod osvjetljivanja i zamračivanja okoline jer to izaziva napor za oči i škiljenje [152].

Postoji više vrsta osvjetljenja u programima za izradu 3D scena, koja se slično nazivaju u različitim programima. Bez osvjetljenja ne bi ništa vidjeli na sceni koju gledamo ili po kojoj se krećemo. Ispod su navedene 5 vrsta osvjetljenja koje se koriste prilikom izrade 3D scena u Unity-u, ali i u drugim programima kao u Blenderu ili UE4 [153].

1) ambijentalno osvjetljenje – bazno svijetlo koje obasjava scenu tako da nije sve u mraku, bez boja i sjena. Također se naziva i engl. *environment* ili engl. *sky light*.

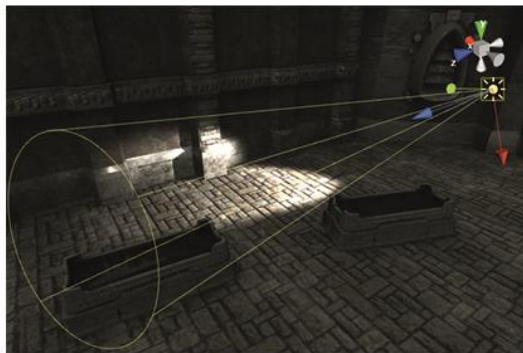
2) usmjereno osvjetljenje (engl. *directional light*) – omogućava osvjetljavanje objekata na sceni kao sa svjetiljkom, objekti imaju sjene i svjetliji su na mjestima koja su usmjerena prema izvoru svjetla. Ova vrsta svjetla je cijelom duljinom zrake istog intenziteta svjetline.

3) točkasto osvjetljenje (engl. *point light*) – funkcionira slično kao žarulja i umjesto da sija u jednom smjeru, svjetlost se širi u svim smjerovima. Također, kako se objekt udaljava od izvora, tako je intenzitet manji.

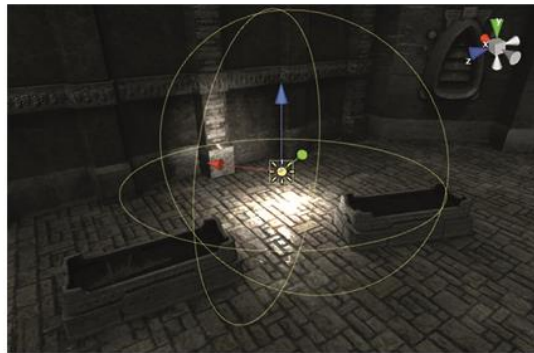
4) spot osvjetljenje (engl. *spot light*) – vrsta svjetla koja je slična točkastom osvjetljenju ali je usmjereno u obliku stošca. Intenzitet svjetla se smanjuje sa udaljenošću od izvora i najsajnije svijetli u centru i postaje difuzno sa odmakom od centra.

5) prostorno osvjetljenje (engl. *area* ili *rect light*) – vrsta svjetla slična kao točkasto osvjetljenje u smislu da svijetli u svim smjerovima ali emitira svjetlo samo sa jedne strane. Svjetlo se emitira iz definiranog kvadrata kojemu se podesi radijus djelovanja. Uspoređuje se sa svjetlom koje televizor emitira dok je uključen.

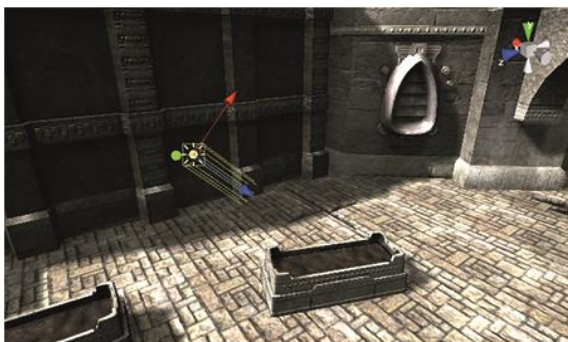
Slika 33 ispod prikazuje usmjereno, točkasto, spot i prostorno osvjetljenje.



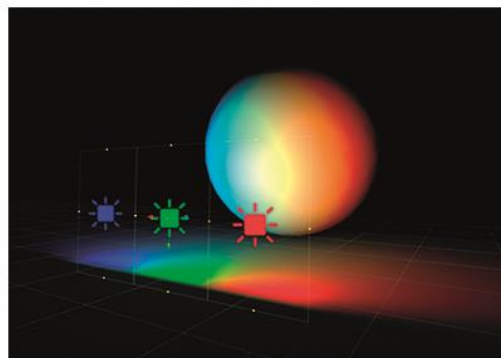
1.



2.



3.



4.

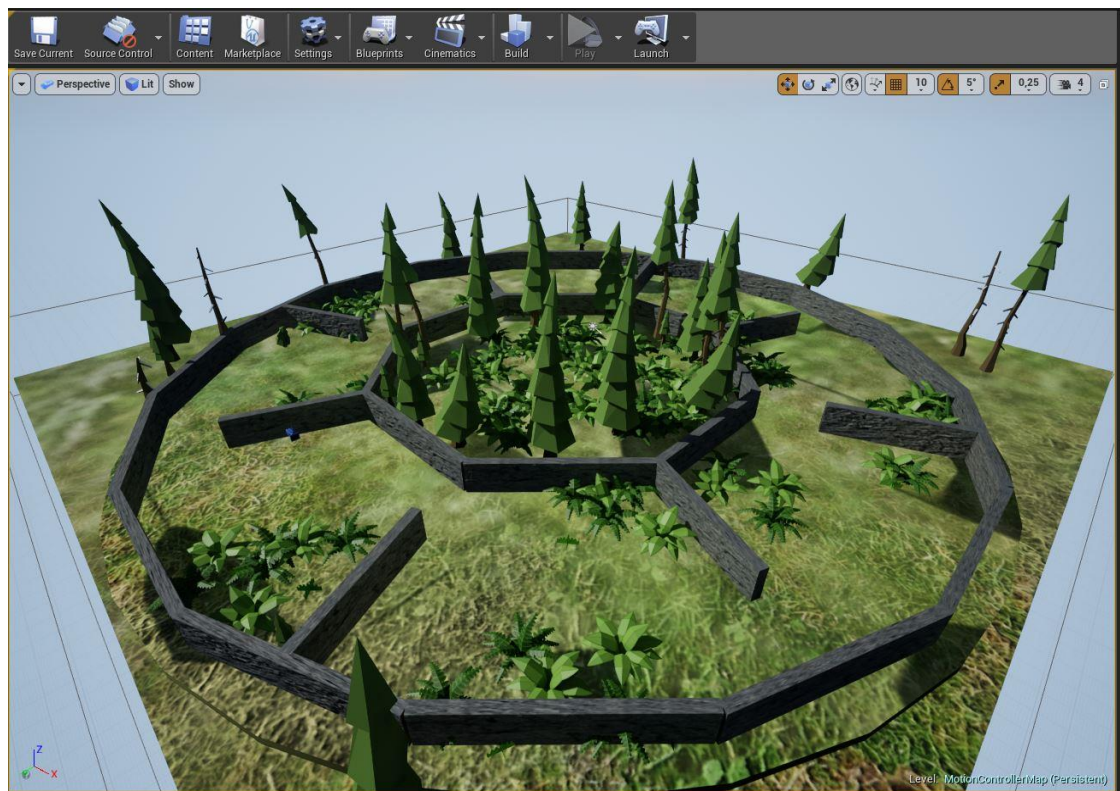
Slika 33: Vrste osvjetljenja: 1. spot osvjetljenje, 2. točkasto osvjetljenje, 3. usmjereno osvjetljenje, 4. prostorno osvjetljenje [154]

Scena u ovom istraživanju kreirana je na način da se osoba/ispitanik može neometano kretati kroz prostor koji je dizajniran kružno, ali mora povremeno skretati lijevo-desno da zaobiđe djelomičnu zapreku zida. Vanjski i poprečni zidovi kreirani su od jednostavnih blokova i na njima je postavljena tekstura. Texture i boje se ne razlikuju za dnevnu i noćnu scenu i razmještaj za sve objekte je u svim scenama isti. Na tlo po kojem se osoba kreće je pridodana tekstura trave i okolo su postavljene biljke i drveće različitih oblika. Na nebu su oblaci sa dinamičkim efektom i suncem u dnevnoj sceni (sa korištenim ambijentalnim osvjetljenjem (engl. *Sky light*)), a u noćnoj zvjezdano nebo sa par oblačaka i mjesecom. Da bi bilo moguće vidjeti oko sebe u noćnoj sceni u postavkama UE4 omogućena je opcija za automatsku adaptaciju na mrak, što znači da osoba ipak vidi nešto oko sebe dok miče glavom i kreće se po sceni, jednako kao kad se adaptira na mrak u stvarnosti. Tablica 10 opisuje postavke i boje korištene za dnevnu i noćnu scenu, koje su opisane u linearnom RGB sustavu koji koristi UE4. Slike 34-37 prikazuju dnevnu i noćnu scenu iz ptičje perspektive i iz perspektive ispitanika.

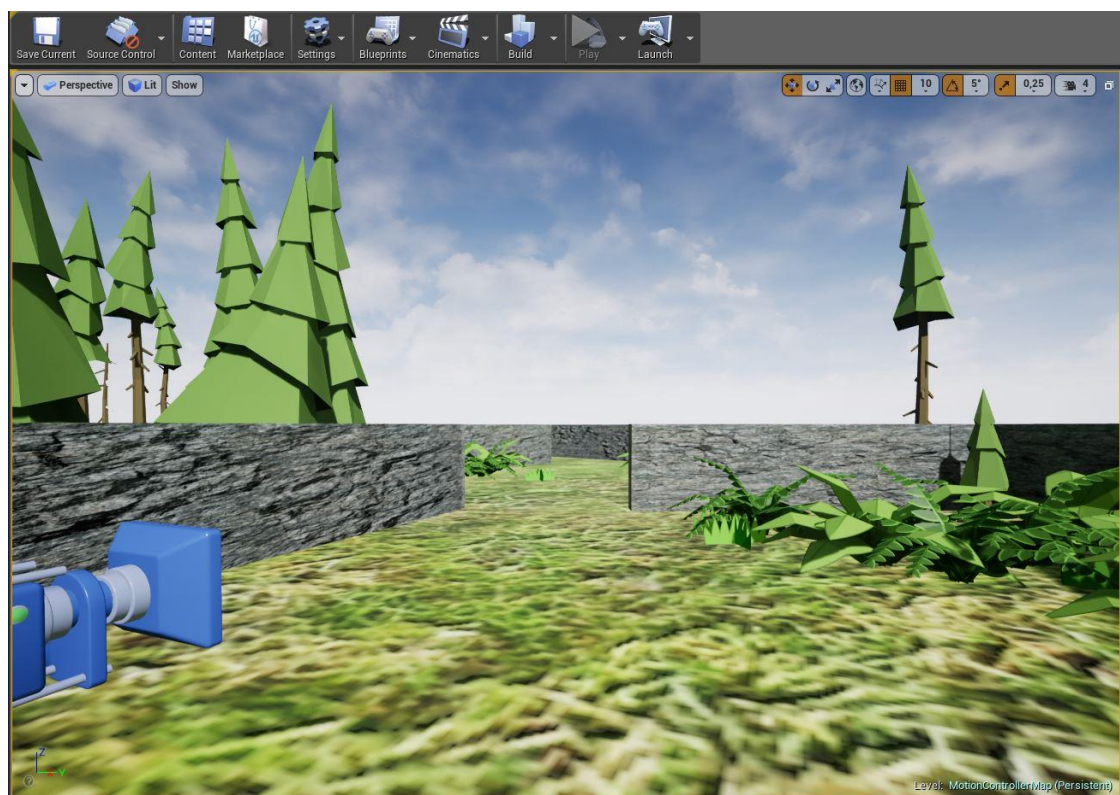
Tablica 10: Korištene boje za dnevnu i noćnu scenu

	Dnevna scena	Noćna scena
Doba dana	14.00h	23.00h
Boja neba	R = 1	R = 0,184314
	G = 1	G = 0,188235
	B = 1	B = 0,231373
Boja zenita	R = 0,034046	R = 0,011765
	G = 0,109247	G = 0,015686
	B = 0,295	B = 0,019608
Boja horizonta	R = 0,979559	R = 0,007843
	G = 0,586644	G = 0,015686
	B = 0,7	B = 0,019608
Tekstura poda	Identično u obje verzije	Identično u obje verzije
Dekoracije (drveće i biljke)	Identično u obje verzije	Identično u obje verzije

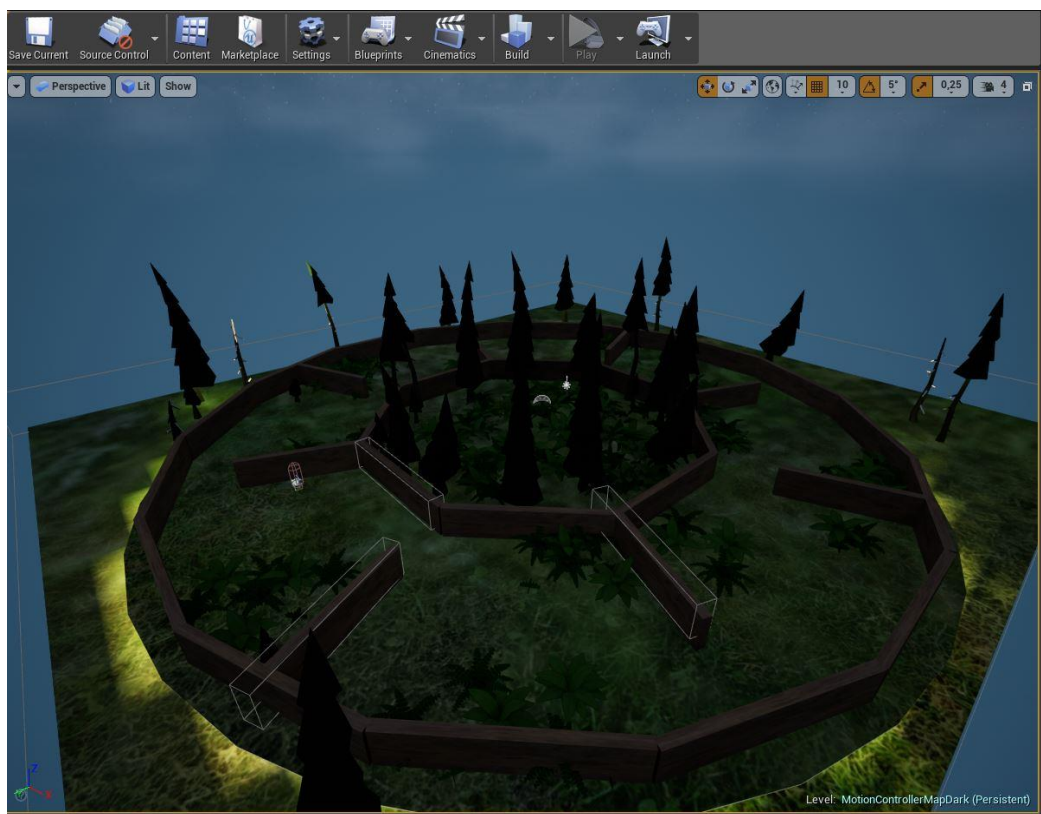
Ove odabrane boje su korištene jer su vizualno najrealnije prikazale dan i noć u Unreal Engine-u.



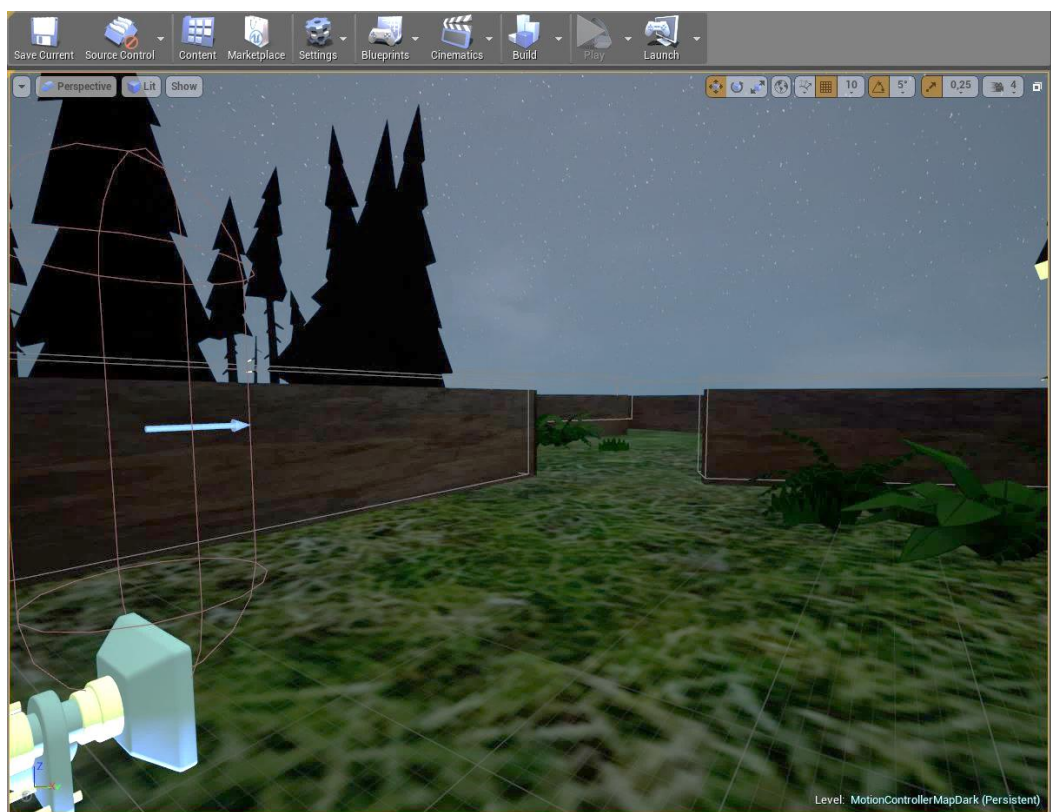
Slika 34: Dnevna scena, ptičja perspektiva



Slika 35: Dnevna scena, perspektiva ispitanika



Slika 36: Noćna scena, ptičja perspektiva



Slika 37: Noćna scena, perspektiva ispitanika

8.5 Izrada anketnog upitnika – subjektivna metoda mjerenja kibermučnine

Upitnik se sastoji od dva dijela, prvi dio su pitanja vezana uz ispitanika (6 pitanja), a drugi dio su pitanja vezana uz korisničko iskustvo vezano uz kibermučninu (12 pitanja). Ovaj upitnik se također temelji na Kennedyevom SSQ upitniku, koji je prilagođen za potrebe ovog istraživanja [62]. Tablica 11 prikazuje upitnik s pitanjima. Na kraju svih testiranih scena, postavljena su još 2 pitanja; Koji bi način kretanja izdvojili kao najugodniji? Koji bi način kretanja izdvojili kao najmanje ugodan? Skala Likertovog tipa je podijeljena na 5 stupnjeva: 1 = uopće se ne slažem, 2 = djelomično se ne slažem, 3 = niti se slažem, niti se ne slažem, 4 = djelomično se slažem, 5 = u potpunosti se slažem. Upitnik koji je korišten u ovom istraživanju pregledala je i stručna osoba sa Filozofskog fakulteta, odsjek za Psihologiju, Sveučilište u Zagrebu. Cilj pregleda upitnika je bio da se utvrdi da li je upitnik kao takav dobro postavljen i da se na temelju njega može uraditi kvalitetna statistička analiza. Ovaj upitnik je također prikazan u Prilogu 3. na kraju disertacije. Veza između ovog upitnika i ranije korištenih upitnika je da je ova iteracija upitnika najopširnija od sve tri i uključuje pitanja vezana uz brzinu kretanja i uz način kretanja.

Tablica 11: Upitnik sa pitanjima korištenim u eksperimentu

1. dio upitnika	općenita pitanja / opcije				
Dob	broj godina				
Spol	muško		žensko		
Iskustvo sa VR-om	Nemam iskustva	Nekoliko puta godišnje	Nekoliko puta mjesečno	Nekoliko puta tjedno	Prosječno jednom dnevno
Mučnina u prijevoznim sredstvima	da		ne		
Mučnina u prijevoznim sredstvima kao djeca	da		ne		
Naočale/leće	da		ne		
2. dio upitnika	pitanja vezana uz scene (skala Likertovog tipa)				
Osjećate li vrtoglavicu?	1	2	3	4	5
Jeli vam mutan vid?	1	2	3	4	5
Osjećate li teškoću prilikom fokusiranja objekata?	1	2	3	4	5
Osjećate li glavobolju?	1	2	3	4	5
Osjećate li da se znojite?	1	2	3	4	5
Osjećate li mučninu u želucu?	1	2	3	4	5
Osjećate li poriv na povraćanje?	1	2	3	4	5
Osjećate li zamor očiju?	1	2	3	4	5

Osjećate li umor u virtualnoj stvarnosti?	1	2	3	4	5
Osjećate li teškoću prilikom nošenja VR headset-a?	1	2	3	4	5
Brzina kretanja mi odgovara?	1	2	3	4	5
Ovaj način kretanja mi odgovara?	1	2	3	4	5

8.6. Eksperimentalni dio

Eksperiment je uključivao ukupno 6 scena u virtualnoj stvarnosti koje je svaki ispitanik prošao. Scene su bile kombinacije od tri načina kretanja (teleportacija, linearno kretanje i arm swing tehnika kretanja) s dva različita uvjeta osvjetljenja: dnevno svjetlo i uvjeti smanjenog osvjetljenja, odnosno noć. Kombinacija svih scena je ukupno šest, odnosno tri scene puta dva osvjetljenja. Scene su prikazivane nasumičnim slijedom, zato da se izbjegne mogućnost navikavanja na određeni način kretanja koji bi onda potencijalno mogao imati utjecaja na neki drugi ponuđeni način kretanja.

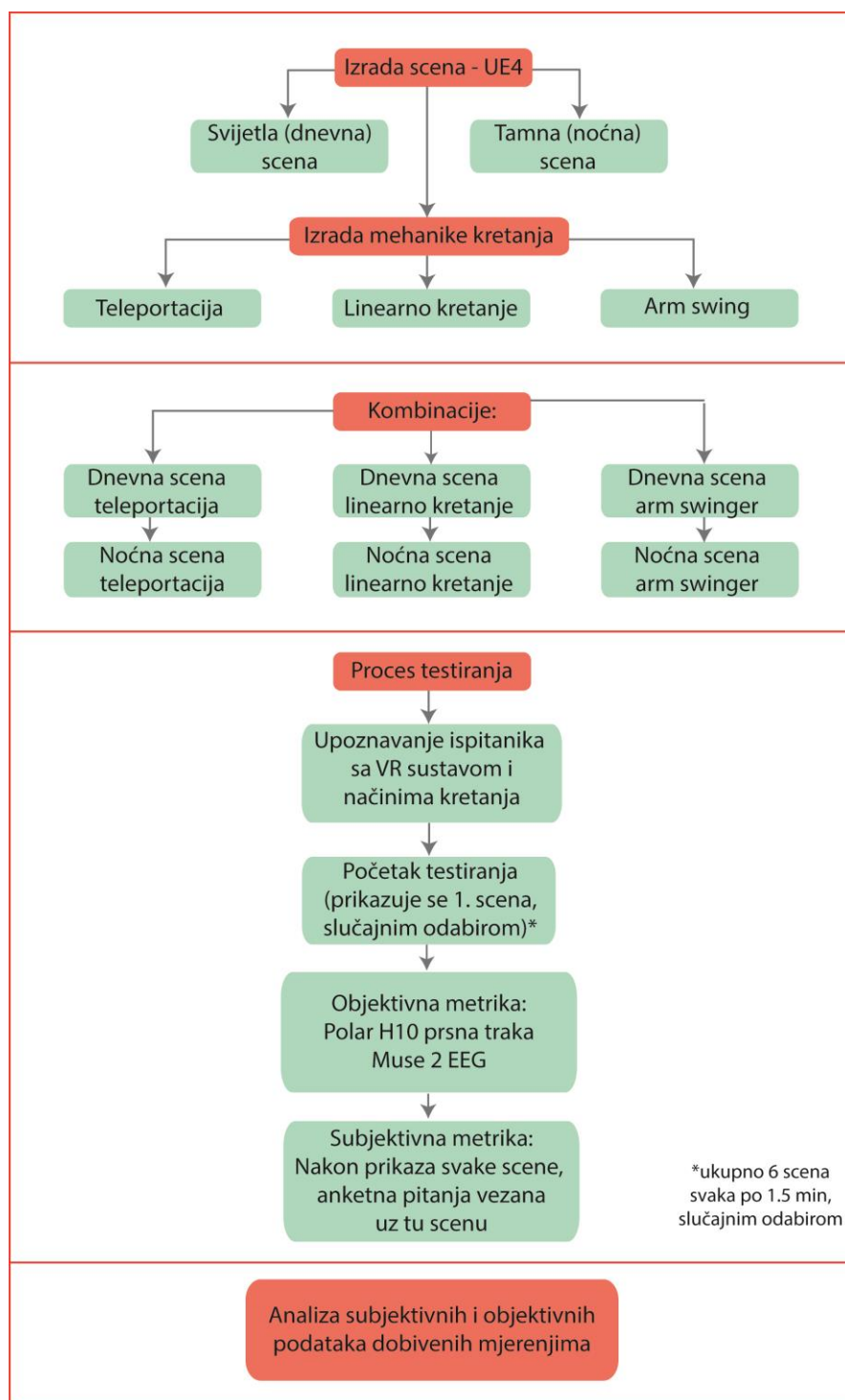
Osvjetljenje u prostoru je bilo za sve ispitanike slično, dnevno svjetlo nekad pomiješano sa umjetnom rasvjetom.

Prilikom dolaska svakog ispitanika u prostor za testiranje, ispitaniku su postavljena pitanja vezana uz zdravlje, tako da osobe koje imaju nekih zdravstvenih poteškoća ne sudjeluju dalje u eksperimentu. Ispitanik koji zadovoljava taj uvjet, nastavlja sudjelovanje u eksperimentu te mu se pokazuje sustav virtualne stvarnosti, upućuje ga se u rad sustava, pokazuju scene i objašnjava što bi trebao raditi i kojim redoslijedom. Isto tako, svaki ispitanik je potpisao privolu da se slaže sa sudjelovanjem u eksperimentu i da će se podaci koji se prikupe koristiti samo u svrhe ovog doktorskog istraživanja i neće se koristiti za druge svrhe. Također, svakom ispitaniku je rečeno da može u bilo kojem trenutku iz bilo kojeg razloga, kojeg može i ne mora navesti, odustati od sudjelovanja u istraživanju.

Ispitaniku se pokazalo kako da stavi oko struka Polar H10 prsnu traku i namjesti Muse EEG. Bilo mu je pomognuto namjestiti HTC Vive na glavu, tako da ga nigdje ne steže i ne žulja. Kad je sva oprema namještena, upisuje se kôd u ID Guardian aplikaciju na mobitelu i istraživanje može početi. Ispitanika se pitaju prvih 6 općenitih pitanja iz upitnika. Zatim se pokrene prva scena u trajanju od 1,5 minute, i ispitanik se kreće po sceni. Kad istekne vrijeme, pita ga se 12 pitanja vezanih uz tu scenu. Pokreće se druga nasumična scena u trajanju od 1,5 minute i nakon nje ponovno istih 12 pitanja iz upitnika, sada za drugu scenu. Na isti način do kraja, odnosno dok se ne prođe kroz svih 6 scena. Ukupno trajanje eksperimenta po ispitaniku je između 25 do 30 minuta ovisno o brzini namještanja opreme, eventualnim pitanjima koje bi ispitanik postavio i brzini njegovog odgovaranja na pitanja iz upitnika.

Ukupan broj ispitanika bio je 34 koji su započeli testiranje, od kojih je 5 ispitanika odustalo, tako je ukupan broj ispitanika koji su prošli cjelokupno istraživanje 29 (od kojih 14 muškaraca i 15 žena), sa rasponom godina od 21 do 37, ($M = 26.13$). Od ukupnog broja ispitanika, 24 nije

imalo iskustva sa virtualnom stvarnošću, 9 pati od mučnine u prijevoznim sredstvima dok 20 nema tih tegoba. Naočale ili leće nosilo je 8 ispitanika, a 21 ispitanik nema poteškoća sa vidom. Na slici 38 ispod je prikazan metodološki pristup istraživanju različitih načina kretanja u VR-u i kombinacije u odnosu na utjecaj svjetline okoline.



Slika 38: Hodogram istraživanja različitih načina kretanja u virtualnoj stvarnosti

8.6.1 Oprema i ispitanici

Za provedbu istraživanja korišten je Dell laptop sa slijedećim specifikacijama: 16 GB RAM, GHz Intel i7 procesor, i Nvidia GeForce GTX 1060 grafička kartica. Ovaj laptop je korišten zbog svojih specifikacija i mogućnosti da pokreće priključen sustav virtualne stvarnosti a pritom održava stabilne performanse. Korišteni uređaj za virtualnu stvarnost je HTC Vive. Za objektivne metrike korišteni su Muse 2 EEG uređaj za snimanje moždanih valova i Polar H10 prsna traka za praćenje pulsa. Ovi uređaji se povežu sa softwareom, ID Guardian aplikacijom na koju se spajaju putem Bluetooth-a [155]. Aplikacija se instalira na mobilni uređaj a pitanja iz upitnika i sve ostale postavke (kao nasumično prikazivanje scena, trajanje prikazivanja svake scene, pitanja nakon svake scene itd.) se postavljaju na kontrolnoj ploči aplikacije na računalu. Za svakog ispitanika generira se kodni broj na računalu i pomoću tog koda se pokreće test na aplikaciji na mobitelu. Na laptopu se pokrene nasumično odabrana scena koju je pokazala ID Guardian aplikacija i nakon isteka unaprijed definiranog vremena pojavljuju se pitanja na aplikaciji pokrenutoj na mobitelu, tako da nema nepotrebnog traženja po internetu ili po papirima. Slika 39 prikazuje jednog ispitanika prilikom provedbe istraživanja a slika 40 opremu korištenu u istraživanju.



Slika 39: Okruženje prilikom provedbe eksperimenta

Ispitanici su bili volonteri koji su bili većinom studenti i zaposlenici na fakultetu, i nisu dobili nikakvu novčanu naknadu za sudjelovanje. Potencijalni ispitanici su bili pitani nekoliko pitanja prije ispitivanja; ako imaju neku srčanu manu, žene ako su trudne, i ako imaju nekih očnih problema zbog kojih bi morali biti isključeni iz eksperimenta (nedavne operacije, upalne procese i sl.). Isto tako, potencijalni ispitanici koji imaju naočale, a čiji okviri od naočala ne stanu u okvir od HTC Vive-a, također nisu mogli sudjelovati. Eksperiment je bio odobren od strane Etičkog povjerenstva fakulteta. S obzirom da je već utvrđeno u prijašnjim istraživanjima da godine imaju utjecaja na doživljaj virtualne stvarnosti, bitno je napomenuti da su u ovom istraživanju sudjelovali ljudi iz mlađe do rane srednje dobne skupine (21-37 godina).



Slika 40: Oprema korištena u istraživanju a) HTC Vive, b) Muse EEG c) Polar H10 prsna traka

9. Utjecaj načina kretanja u virtualnoj stvarnosti na korisničko iskustvo i kibermučninu: rezultati i rasprava

9.1 Rezultati i rasprava: anketa

Rezultati provedenog istraživanja obrađeni su statističkim programom SPSS 23.0. Budući da su varijable korištene u ovom istraživanju izražene na ordinalnoj mjernoj ljestvici, u obradi su, uz osnovnu deskriptivnu statistiku, korišteni i odgovarajući neparametrijski statistički postupci. Za testiranje razlika između zavisnih skupina ispitanika korišten je Friedmanov test, zato što krivulje distribucije odstupaju od normalne i uspoređuje se više od tri situacije [156].

Kao post hoc test za razlikovanje između skupina ispitanika na dimenzijama na kojima je Friedmanov test pokazao značajnost razlika, korišten je Wilcoxonov test ekvivalentnih parova. Za testiranje razlika između nezavisnih skupina ispitanika korišten je Mann-Whitneyev U test. Shapiro-Wilkovim testom i pregledom Q-Q grafova utvrđeno je da distribucije svih varijabli prosječnih subjektivnih mjera, osim varijabli Prosjek Linearno kretanje dnevna scena i Prosjek Linearno kretanje noćna scena, značajno odstupaju od normalne krivulje.

Budući da je utvrđeno da standardni postupci koji zahtijevaju normalitet distribucija daju neprihvatljive rezultate samo kada su pretpostavke parametrijske statistike narušene u ekstremnom stupnju, te da u drugim slučajevima ovi postupci daju točne rezultate unatoč tome što distribucije rezultata odstupaju od normalnih, za ispitivanje korelacija između subjektivnih i objektivnih varijabli, korišten je Pearsonov koeficijent korelacije [157]. Kline u svojoj knjizi navodi da su ekstremna odstupanja ona prema kojima je koeficijent asimetrije (engl. *skewness*) veći od 3, a koeficijent spljoštenosti (engl. *kurtosis*) veći od 10 [158]. Odstupanja ovih distribucija su manja, te stoga omogućavaju korištenje parametrijskih postupaka.

Kao kriterij značajnosti koristio se kriterij od 5% rizika i značajne varijable su u tablicama označene podebljano. Kriterij značajnosti od 5% ($p < 0.05$) rizika je uobičajen i koristi se kao takav u istraživačkim radovima.

Za ispitivanje razlike u intenzitetu fizičkih simptoma nelagode u virtualnoj stvarnosti ovisne o načinu kretanja (kretanje teleportacijom, linearno kretanje i *arm swing* kretanje micanjem ruku) i svjetlini (dnevno i noćno osvijetljene scene), izračunat je Friedmanov test, čiji rezultati su prikazani u tablici 12 ispod.

Tablica 12: Friedmanov test: statistička značajnost razlike na svim varijablama između 6 situacija različite svjetline i načina kretanja u VR-u ($N=29$)

	Teleportacija dnevna scena	Teleportacija noćna scena	Linearno kretanje dnevna scena	Linearno kretanje noćna scena	<i>Arm swing</i> dnevna scena	<i>Arm swing</i> noćna scena		
	<i>Srednji rang</i>	<i>Srednji rang</i>	<i>Srednji rang</i>	<i>Srednji rang</i>	<i>Srednji rang</i>	<i>Srednji rang</i>	F_r	p
Vrtoglavica	2,50	2,79	4,72	4,38	3,34	3,26	50,326	0,000
Mutan vid	3,50	3,10	3,98	3,69	3,52	3,21	8,210	0,145
Teškoća fokusiranja objekata	3,17	3,31	3,78	4,10	3,10	3,53	11,429	0,044
Glavobolja	3,00	3,71	3,41	3,79	3,50	3,59	6,333	0,249
Znojenje	3,07	3,05	3,95	4,07	3,45	3,41	11,216	0,047
Mučnina u želucu	2,72	2,95	4,28	4,34	3,47	3,24	32,479	0,000
Poriv na povraćanje	2,81	3,17	4,28	4,00	3,26	3,48	29,142	0,000
Zamor očiju	3,12	2,88	4,17	3,79	3,59	3,45	16,354	0,006
Umor u VR-u	2,74	2,95	4,16	4,00	3,69	3,47	20,846	0,001
Teškoća prilikom nošenja VR headset-a?	3,28	3,50	3,52	3,64	3,86	3,21	5,117	0,402
Brzina kretanja mi odgovara	4,16	4,50	2,19	2,26	4,02	3,88	60,737	0,000
Ovaj način kretanja mi odgovara	3,84	4,00	2,60	2,38	4,29	3,88	34,475	0,000
prosječni HR	2,38	2,72	3,59	3,24	4,38	4,69	34,143	0,000
prosječni IBI	4,05	3,86	3,22	3,81	2,83	3,22	9,432	0,093

Friedmanov test pokazao je značajnu razliku kod sljedećih varijabli: vrtoglavica, teškoća fokusiranja na objekte, znojenje, mučnina u želucu, poriv na povraćanje, zamor očiju, umor u VR-u, brzina kretanja mi odgovara, ovaj način kretanja mi odgovara, prosječni puls. Kako bi ispitali među kojim situacijama postoji značajna razlika, izračunat je Wilcoxonov test ekvivalentnih parova, za sve varijable mjerene u ovom istraživanju, a za koje je Friedmanov test pokazao značajnost razlike, čiji su rezultati prikazani u sljedećim tablicama od tablice broj x do x. Kriterij značajnosti postavljen je na $p<0.05$.

Tablica 13: post-hoc Wilcoxon test za varijablu: vrtoglavica

Značajnost razlike između 6 situacija različite svjetline i načina kretanja u VR-u za varijablu vrtoglavica (N=29)

Vrsta kretanja i svjetline	Vrsta kretanja i svjetline	Wilcoxon test	<i>p</i>
Teleportacija dnevna scena	Teleportacija noćna scena	-1,203	0,229
	Linearno kretanje dnevna scena	-3,862	0,000
	Linearno kretanje noćna scena	-3,537	0,000
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-2,591	0,010
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-2,124	0,034
Teleportacija noćna scena	Linearno kretanje dnevna scena	-3,582	0,000
	Linearno kretanje noćna scena	-3,598	0,000
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-2,311	0,021
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-1,195	0,232
Linearno kretanje dnevna scena	Linearno kretanje noćna scena	-,908	0,364
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-3,170	0,002
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-3,150	0,002
Linearno kretanje noćna scena	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-2,725	0,006
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-2,813	0,005
<i>Arm swing</i> dnevna scena	<i>Arm swing</i> noćna scena	-0,892	0,372

Iz tablice iznad je vidljivo da između „teleportacija dnevna scena“ i „linearno kretanje dnevna scena“ postoji značajna razlika, a iz Tablice 12: „Friedmanov test: statistička značajnost razlike na svim varijablama između šest situacija različite svjetline i načina kretanja u VR-u (N=29)“ je vidljivo da je veći srednji raspon kod linearnog kretanja danju, što znači da je veća vrtoglavica kod linearnog kretanja. Po istoj logici su uspoređene i ostale varijable koje su značajne. Vidljivo je da je vrtoglavica bila veća i kod linearnog kretanja noću, *arm swing* kretanja danju, kao i kod *arm swing* kretanja noću u usporedbi s teleportacijom danju. Poredak načina kretanja u odnosu na vrtoglavicu od najslabije vrtoglavice do najjače bio bi: teleportacija, *arm swing* kretanje i na posljétku linearno kretanje. Može se zaključiti da ispitanici osjećaju manju vrtoglavicu kod linearnog i *arm swing* kretanja u slučaju noćne scene, što bi se moglo objasniti kao očekivano jer u noćnoj sceni ima manje vizualnog podražaja nego u dnevnoj.

Tablica 14: post-hoc Wilcoxon test za varijablu: teškoća fokusiranja objekata

Značajnost razlike između 6 situacija različite svjetline i načina kretanja u VR-u za varijablu teškoća fokusiranja objekata (N=29)

Vrsta kretanja i svjetline	Vrsta kretanja i svjetline	Wilcoxon test	<i>p</i>
Teleportacija dnevna scena	Teleportacija noćna scena	-0,061	0,952
	Linearno kretanje dnevna scena	-1,348	0,178
	Linearno kretanje noćna scena	-2,375	0,018
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-1,081	0,280
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-0,903	0,367
Teleportacija noćna scena	Linearno kretanje dnevna scena	-1,148	0,251
	Linearno kretanje noćna scena	-1,813	0,070
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-0,984	0,325
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-0,863	0,388
Linearno kretanje dnevna scena	Linearno kretanje noćna scena	-0,470	0,638
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-1,854	0,064
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-0,317	0,751
Linearno kretanje noćna scena	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-2,272	0,023
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-1,323	0,186
<i>Arm swing</i> dnevna scena	<i>Arm swing</i> noćna scena	-1,673	0,094

Iz tablice 14 je vidljivo da postoje značajne razlike u načinima kretanja u odnosu na varijablu „teškoća fokusiranja objekata“. Nađene su statistički značajne razlike između kretanja teleportacija danju i linearno kretanje noću i može se zaključiti da je ispitanicima bilo teže fokusirati se na objekte u noćnoj sceni linearnog kretanja. Također, nađena je razlika između linearnog kretanja noću i *arm swing* kretanja danju gdje je ispitanicima bilo lakše fokusirati se na objekte u *arm swing* dnevnoj sceni.

Tablica 15: post-hoc Wilcoxon test za varijablu: znojenje

Značajnost razlike između 6 situacija različite svjetline i načina kretanja u VR-u za varijablu znojenje (N=29)

Vrsta kretanja i svjetline	Vrsta kretanja i svjetline	Wilcoxon test	<i>p</i>
Teleportacija dnevna scena	Teleportacija noćna scena	-0,108	0,914
	Linearno kretanje dnevna scena	-1,761	0,078
	Linearno kretanje noćna scena	-2,498	0,012
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-1,051	0,293
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-0,458	0,647
Teleportacija noćna scena	Linearno kretanje dnevna scena	-1,610	0,107
	Linearno kretanje noćna scena	-2,609	0,009
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-0,912	0,362
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-0,266	0,790
Linearno kretanje dnevna scena	Linearno kretanje noćna scena	-0,917	0,359
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-1,142	0,254
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-1,866	0,062
Linearno kretanje noćna scena	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-1,910	0,056
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-2,432	0,015
<i>Arm swing</i> dnevna scena	<i>Arm swing</i> noćna scena	-0,766	0,444

Varijabla znojenje pokazala je značajne razlike u nekoliko promatranih situacija, između teleportacije danju i linearnog kretanja noću, gdje je više znojenja zabilježeno u situaciji linearno kretanje noću. Ispitanici su se više znojili kod linearnog kretanja noću u odnosu na teleportaciju noću. U usporedbi linearnog kretanja noću i *arm swing* kretanja noću, zabilježeno je više znojenja kod linearnog kretanja noću. Kao zaključak može se utvrditi da je simptom znojenja najviše bio prisutan kod linearnog kretanja a najmanje kod teleportacije.

Tablica 16: post-hoc Wilcoxon test za varijablu: mučnina u želucu

Značajnost razlike između 6 situacija različite svjetline i načina kretanja u VR-u za varijablu mučnina u želucu (N=29)

Vrsta kretanja i svjetline	Vrsta kretanja i svjetline	Wilcoxon test	p
Teleportacija dnevna scena	Teleportacija noćna scena	-1,098	0,272
	Linearno kretanje dnevna scena	-3,655	0,000
	Linearno kretanje noćna scena	3,446	0,001
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-2,397	0,017
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-1,980	0,048
Teleportacija noćna scena	Linearno kretanje dnevna scena	-3,000	0,003
	Linearno kretanje noćna scena	-2,817	0,005
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-1,779	0,075
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-1,182	0,237
Linearno kretanje dnevna scena	Linearno kretanje noćna scena	-0,051	0,960
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-2,121	0,034
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-2,709	0,007
Linearno kretanje noćna scena	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-1,851	0,064
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-2,266	0,023
<i>Arm swing</i> dnevna scena	<i>Arm swing</i> noćna scena	-0,878	0,380

Nađeno je ukupno devet statistički značajnih razlika za varijablu „mučnina u želucu“. Između situacija teleportacija danju i linearnog kretanja danju nađena je značajna razlika, i može se zaključiti da je veća mučnina u želucu kod linearnog kretanja i u dnevnoj i u noćnoj sceni. Također, između situacija teleportacija danju i *arm swing* kretanja danju te *arm swing* kretanja noću nađena je statistički značajna razlika, i mučnina u želucu je veća kod obje *arm swing* metode kretanja u odnosu na kretanje teleportacijom danju. Između kretanja teleportacijom noću i linearnog kretanja po danu, veća je mučnina u želucu kod linearnog kretanja po danu. Isto tako, između teleportacije noću i linearnog kretanja noću, opet je veća mučnina pokazana kod linearnog kretanja noću. I kad se uspoređuju linearno kretanje po danu i *arm swing* način kretanja danju i noću, veća je mučnina u želucu kod linearnog kretanja, a manja kod *arm swing* načina kretanja. Ispitanicima je bilo više mučno u želucu kod noćnih scena kod kretanja teleportacijom i kod linearnog kretanja, jedino kod usporedbe *arm swing* kretanja im je danju bilo nešto mučnije nego u noćnoj varijanti. Najmanju mučninu u želucu izaziva teleportacija a najveću linearno kretanje.

Tablica 17: post-hoc Wilcoxon test za varijablu: poriv na povraćanje

Značajnost razlike između 6 situacija različite svjetline i načina kretanja u VR-u za varijablu poriv na povraćanje (N=29)

Vrsta kretanja i svjetline	Vrsta kretanja i svjetline	Wilcoxon test	<i>p</i>
Teleportacija dnevna scena	Teleportacija noćna scena	-1,857	0,063
	Linearno kretanje dnevna scena	-3,458	0,001
	Linearno kretanje noćna scena	-2,994	0,003
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-1,826	0,068
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-2,232	0,026
Teleportacija noćna scena	Linearno kretanje dnevna scena	-2,442	0,015
	Linearno kretanje noćna scena	-2,236	0,025
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-0,408	0,683
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-0,730	0,465
Linearno kretanje dnevna scena	Linearno kretanje noćna scena	-0,397	0,691
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-2,460	0,014
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-2,247	0,025
Linearno kretanje noćna scena	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-1,824	0,068
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-1,667	0,095
<i>Arm swing</i> dnevna scena	<i>Arm swing</i> noćna scena	-0,828	0,408

Varijabla „poriv na povraćanje“ – između scena teleportacija danju i linearnog kretanja danju vidljiva je statistički značajna razlika, i može se zaključiti da je veći poriv na povraćanje kod linearnog kretanja danju, kao i kod usporedbe kretanja teleportacijom danju i linearnog kretanja noću, gdje je veći poriv na povraćanje kod linearnog kretanja. Kad se uspoređuje teleportacija danju i *arm swing* noću, veći je poriv na povraćanje kod *arm swing* noćnog kretanja. Kod uspoređenih parova teleportacija noću i linearnog kretanja danju i noću nađena je statistički značajna razlika, i poriv na povraćanje je jači kod scene linearno kretanje danju, nego u noćnoj varijanti, u odnosu na kretanje teleportacija noću. Kod usporedbe linearnog kretanje danju nađena je statistički značajna razlika sa *arm swing* dnevnom i noćnom scenom, i ispitanici su osjetili manje poriv na povraćanje kod *arm swing* dnevne scene, nego kod usporedbe linearno kretanje danju i *arm swing* noćna scena. Ispitanicima je više odgovarala dnevna scena kod teleportacije i kod *arm swing* kretanja, a noćna kod linearnog kretanja. I kod ove ispitane varijable može se uočiti da je najveći poriv na povraćanje prisutan kod linearnog kretanja a najmanje kod teleportacije.

Tablica 18: post-hoc Wilcoxon test za varijablu: zamor očiju

Značajnost razlike između 6 situacija različite svjetline i načina kretanja u VR-u za varijablu zamor očiju (N=29)

Vrsta kretanja i svjetline	Vrsta kretanja i svjetline	Wilcoxon test	<i>p</i>
Teleportacija dnevna scena	Teleportacija noćna scena	-0,544	0,586
	Linearno kretanje dnevna scena	-2,333	0,020
	Linearno kretanje noćna scena	-2,303	0,021
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-1,525	0,127
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-1,033	0,301
Teleportacija noćna scena	Linearno kretanje dnevna scena	-3,211	0,001
	Linearno kretanje noćna scena	-2,431	0,015
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-2,449	0,014
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-2,066	0,039
Linearno kretanje dnevna scena	Linearno kretanje noćna scena	-0,602	0,547
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-1,132	0,258
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-1,677	0,094
Linearno kretanje noćna scena	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-0,259	0,796
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-1,256	0,209
<i>Arm swing</i> dnevna scena	<i>Arm swing</i> noćna scena	-0,867	0,386

Za varijablu „zamor očiju“ nađeno je šest statistički značajnih razlika među scenama. Između scene teleportacija danju i linearno kretanje danju i noću, veći je zamor očiju kod linearnog kretanja danju, a manji u noćnoj varijanti. Kod usporedbe teleportacije noću sa linearnim kretanjem danju, veći je zamor očiju kod linearnog kretanja danju. Kod usporedbe teleportacija noću sa „linearnim kretanjem noću, veći je zamor očiju kod linearnog kretanja noću. Također, kod usporedbe kretanja teleportacijom noću sa *arm swing* načinom kretanja (i danju i noću), može se zaključiti da je veći zamor očiju kod *arm swing* načina kretanja, i u dnevnoj i noćnoj sceni, sa naglaskom da je nešto manji zamor očiju u noćnoj sceni.

Tablica 19: post-hoc Wilcoxon test za varijablu : umor u VR-u

Značajnost razlike između 6 situacija različite svjetline i načina kretanja u VR-u za varijablu umor u VR-u (N=29)

Vrsta kretanja i svjetline	Vrsta kretanja i svjetline	Wilcoxon test	<i>p</i>
Teleportacija dnevna scena	Teleportacija noćna scena	-0,741	0,458
	Linearno kretanje dnevna scena	-3,066	0,002
	Linearno kretanje noćna scena	-2,971	0,003
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-2,400	0,016
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-1,824	0,068
Teleportacija noćna scena	Linearno kretanje dnevna scena	-3,034	0,002
	Linearno kretanje noćna scena	-2,532	0,011
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-2,504	0,012
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-1,581	0,114
Linearno kretanje dnevna scena	Linearno kretanje noćna scena	-0,731	0,465
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-1,456	0,145
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-2,310	0,021
Linearno kretanje noćna scena	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-0,888	0,375
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-1,559	0,119
<i>Arm swing</i> dnevna scena	<i>Arm swing</i> noćna scena	-0,988	0,323

Kod varijable „umor u VR-u“ nađeno je osam statistički značajnih razlika. Za prvu statistički značajnu situaciju teleportacija danju i linearno kretanje danju može se zaključiti da je veći umor kod linearnog kretanja danju. Isto tako kod usporedbe teleportacije danju sa linearnim kretanjem noću, umor je veći kod linearnog kretanja po noći, ali manji nego kod linearnog kretanja po danu. Način kretanja teleportacijom noću dao je statistički značajnu razliku sa linearnim kretanjem danju, gdje se uviđa veća razina umora kod linearnog kretanja danju. Kod usporedbe teleportacije noću i *arm swing* kretanja danju uviđamo da je veći umor kod *arm swing* načina kretanja, danju. Zadnja statistički značajna razlika u kod ove varijable nađena je kod linearnog kretanja danju i *arm swing* kretanja noću“, gdje je manji umor kod *arm swing* kretanja noću. Kad se poredaju načini kretanja po ključu koliko su ih ispitanici ocijenili umarajućima od najmanje do najviše, na začelju je teleportacija, zatim *arm swing* tehnika i najviše linearno kretanje. To se može objasniti sa činjenicom da je ljudima potrebno privikavanje na kontrolere koji funkcioniraju na isti način kao i gljiva na *joystick*-u.

Tablica 20: post-hoc Wilcoxon test za varijablu: brzina kretanja mi odgovara

Značajnost razlike između 6 situacija različite svjetline i načina kretanja u VR-u za varijablu brzina kretanja mi odgovara (N=29)

Vrsta kretanja i svjetline	Vrsta kretanja i svjetline	Wilcoxon test	<i>p</i>
Teleportacija dnevna scena	Teleportacija noćna scena	-1,200	0,230
	Linearno kretanje dnevna scena	-3,977	0,000
	Linearno kretanje noćna scena	-3,923	0,000
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-0,993	0,321
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-1,123	0,261
Teleportacija noćna scena	Linearno kretanje dnevna scena	-4,109	0,000
	Linearno kretanje noćna scena	-4,095	0,000
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-1,814	0,070
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-1,799	0,072
Linearno kretanje dnevna scena	Linearno kretanje noćna scena	-0,265	0,791
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-3,184	0,001
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-3,810	0,000
Linearno kretanje noćna scena	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-3,800	0,000
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-3,641	0,000
<i>Arm swing</i> dnevna scena	<i>Arm swing</i> noćna scena	0,000	1,000

U slučaju ispitivanja statističke razlike varijable „brzina kretanja mi odgovara“, nađeno je osam statistički značajnih razlika kroz sve situacije. Kod usporedbe teleportacija danju, sa linearnim kretanjem danju i noću, može se zaključiti da ispitanicima više odgovara brzina kretanja kroz scenu kod teleportacije. Scena teleportacije noću usporedno sa linearnim kretanjem danju daje statistički značajnu razliku i može se zaključiti da ispitanicima manje odgovara brzina kretanja linearno kretanje danju ali i u usporedbi sa linearnim kretanjem noću. Utvrđena je značajnost kod usporedbe linearnog kretanja danju sa *arm swing* načinom kretanja, gdje ispitanicima više odgovara brzina kretanja kod *arm swing* načina kretanja i danju i noću, što je i logično jer sami određuju brzinu kretanja mahanjem rukama. Isto tako i kod usporedbe linearnog kretanja noću sa *arm swing* dnevnom i noćnom scenom, ispitanicima više odgovara *arm swing* kretanje. Može se zaključiti da ispitanicima najviše odgovaraju oblici kretanja u kojima nemaju dojam da se kreću (teleportacija) ili gdje sami određuju brzinu kretanja (*arm swing* kretanje).

Tablica 21: post-hoc Wilcoxon test za varijablu: ovaj način kretanja mi odgovara

Značajnost razlike između 6 situacija različite svjetline i načina kretanja u VR-u za varijablu ovaj način kretanja mi odgovara (N=29)

Vrsta kretanja i svjetline	Vrsta kretanja i svjetline	Wilcoxon test	<i>p</i>
Teleportacija dnevna scena	Teleportacija noćna scena	-0,464	0,642
	Linearno kretanje dnevna scena	-2,943	0,003
	Linearno kretanje noćna scena	-2,880	0,004
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-0,906	0,365
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-0,776	0,438
Teleportacija noćna scena	Linearno kretanje dnevna scena	-3,097	0,002
	Linearno kretanje noćna scena	-3,029	0,002
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-0,720	0,472
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-0,320	0,749
Linearno kretanje dnevna scena	Linearno kretanje noćna scena	-0,183	0,854
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-3,649	0,000
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-3,583	0,000
Linearno kretanje noćna scena	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-3,483	0,000
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-3,378	0,001
<i>Arm swing</i> dnevna scena	<i>Arm swing</i> noćna scena	-0,887	0,375

Anketno pitanje „ovaj način kretanja mi odgovara“ također je pokazao statistički značajne razlike između ispitanih scena. Kod usporedbe teleportacije danju i linearnog kretanja danju, ispitanicima je više odgovarao način kretanja teleportacijom. Isto tako i sa usporedbom teleportacije danju sa linearnim kretanjem noću. Teleportacija u noćnoj verziji u usporedbi sa linearnim kretanjem danju pokazuje da je ispitanicima više odgovarao način kretanja teleportacijom, također i u usporedbi sa linearnim kretanjem noću. Linearno kretanje danju u usporedbi sa *arm swing* tehnikom danju pokazuje da ispitanicima više odgovara *awmswing* tehnika u dnevnoj ali i noćnoj varijanti. Isti zaključak proizlazi iz usporedbe linearno kretanje noću i *arm swing* danju i noću da ispitanicima više odgovara *arm swing* tehnika kretanja. Što se tiče dnevne/noćne varijante, ispitanicima više odgovaraju teleportacija u noćnoj varijanti a linearno kretanje i *arm swing* u dnevnoj varijanti. Ispitanicima najviše odgovara teleportacija kao način kretanja, a najmanje linearno kretanje.

Tablica 22: post-hoc Wilcoxon test za varijablu: prosječni HR

Značajnost razlike između 6 situacija različite svjetline i načina kretanja u VR-u za varijablu prosječni HR (N=29)

Vrsta kretanja i svjetline	Vrsta kretanja i svjetline	Wilcoxon test	<i>p</i>
Teleportacija dnevna scena	Teleportacija noćna scena	-0,681	0,496
	Linearno kretanje dnevna scena	-1,687	0,092
	Linearno kretanje noćna scena	-1,860	0,063
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-3,168	0,002
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-3,189	0,001
Teleportacija noćna scena	Linearno kretanje dnevna scena	-1,308	0,191
	Linearno kretanje noćna scena	-0,746	0,456
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-2,779	0,005
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-2,865	0,004
Linearno kretanje dnevna scena	Linearno kretanje noćna scena	-0,292	0,770
	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-2,000	0,045
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-2,108	0,035
Linearno kretanje noćna scena	<i>Arm swing</i> dnevna scena	-3,146	0,002
	<i>Arm swing</i> noćna scena	-2,919	0,004
<i>Arm swing</i> dnevna scena	<i>Arm swing</i> noćna scena	-0,530	0,596

Statistički značajna razlika utvrđena je i kod jedne objektivne metrike, a to je prosječni puls ispitanika izračunat za svaku situaciju. Kod uspoređivanja scena teleportacija danju i *arm swing* danju gdje je nađena značajna razlika, može se zaključiti da je bio veći prosječni puls kod *arm swing* scene danju. Isto vrijedi i za usporedbu sa *arm swing* noćnom scenom. Kod teleportacije u noćnoj verziji, usporedno sa *arm swing* dnevnom scenom, vidljivo je da je veći puls bio kod *arm swing* dnevne scene i u usporedbi sa *arm swing* noćnom scenom. To je logičan rezultat jer se kod te tehnike uključuju ruke u lagani rad koji može izazvati nešto veći puls. I kod usporedbe linearnog kretanja i *arm swing* tehnike i sa dnevnom i noćnom verzijom vidljiv je isti rezultat. Najveći puls bio je kod *arm swing* načina kretanja, zatim kod linearnog kretanja i najmanji kod teleportacije.

Kako bi provjerili postoje li značajne spolne razlike u intenzitetu simptoma mučnine u virtualnom prostoru, izračunat je Mann-Whitneyev U test.

Tablica 23: Značajnost razlike između muškaraca ($N=14$) i žena ($N=15$) na svim varijablama u VR situaciji Teleportacija dnevna scena

Varijabla	Spol	Srednji rang	Mann-Whitney U test	p
Vrtoglavica	muški	15,04	104,500	0,971
	ženski	14,97		
Mutan vid	muški	13,46	83,500	0,317
	ženski	16,43		
Teškoća fokusiranja objekata	muški	16,00	91,000	0,480
	ženski	14,07		
Glavobolja	muški	17,68	67,500	0,013
	ženski	12,50		
Znojenje	muški	14,71	101,000	0,841
	ženski	15,27		
Mučnina u želucu	muški	14,50	98,000	0,642
	ženski	15,47		
Poriv na povraćanje	muški	14,50	98,000	0,334
	ženski	15,47		
Zamor očiju	muški	15,39	99,500	0,787
	ženski	14,63		
Umor u VR-u	muški	15,32	100,500	0,802
	ženski	14,70		
Fizička nelagoda prilikom nošenja VR headset-a	muški	16,18	88,500	0,446
	ženski	13,90		
Brzina kretanja mi odgovara	muški	15,11	103,500	0,930
	ženski	14,90		
Ovaj način kretanja mi odgovara	muški	13,07	78,000	0,211
	ženski	16,80		
Prosječni HR	muški	10,86	47,000	0,011
	ženski	18,87		
Prosječni IBI	muški	18,93	50,000	0,016
	ženski	11,33		

Izračunate su i spolne razlike, gdje se može primijetiti kako je glavobolja kod teleportacije danju pokazala statističku značajnost i to kod muškaraca.

Također, statistička značajnost utvrđena je i kod prosječnog pulsa i IBI, gdje se može primijetiti kako prosječno veći puls imaju žene, a muškarci prosječno veći IBI. IBI ovisi o vrijednosti pulsa, što je veći puls, manji je IBI, jer se smanjuje vremenski razmak između 2 otkucaja srca.

Tablica 24: Značajnost razlike između muškaraca ($N=14$) i žena ($N=15$) na svim varijablama u VR situaciji Teleportacija noćna scena

Varijabla	Spol	Srednji rang	Mann-Whitney <i>U</i> test	<i>p</i>
Vrtoglavica	muški	16,32	86,500	0,304
	ženski	13,77		
Mutan vid	muški	14,68	100,500	0,821
	ženski	15,30		
Teškoća fokusiranja objekata	muški	15,29	101,000	0,836
	ženski	14,73		
Glavobolja	muški	13,29	81,000	0,215
	ženski	16,60		
Znojenje	muški	15,29	101,000	0,836
	ženski	14,73		
Mučnina u želucu	muški	15,18	102,500	0,877
	ženski	14,83		
Poriv na povraćanje	muški	14,71	101,000	0,791
	ženski	15,27		
Zamor očiju	muški	16,39	85,500	0,314
	ženski	13,70		
Umor u VR-u	muški	13,93	90,000	0,424
	ženski	16,00		
Fizička nelagoda prilikom nošenja VR headset-a	muški	15,29	101,000	0,850
	ženski	14,73		
Brzina kretanja mi odgovara	muški	14,46	97,500	0,619
	ženski	15,50		
Ovaj način kretanja mi odgovara	muški	11,21	52,000	0,012
	ženski	18,53		
Prosječni HR	muški	11,29	53,000	0,023
	ženski	18,47		
Prosječni IBI	muški	19,39	43,500	0,007
	ženski	10,90		

Kod teleportacije u noćnoj verziji, značajne razlike nađene su kod 3 varijable, kod pitanja „ovaj način kretanja mi odgovara“, gdje ženama više odgovara teleportacija noću, a one imaju i prosječno veći puls od muškaraca, ali manji prosječni IBI.

Tablica 25: Značajnost razlike između muškaraca ($N=14$) i žena ($N=15$) na svim varijablama u VR situaciji Linearno kretanje dnevna scena

Varijabla	Spol	Srednji rang	Mann-Whitney <i>U test</i>	<i>p</i>
Vrtoglavica	muški	13,25	80,500	0,271
	ženski	16,63		
Mutan vid	muški	13,89	89,500	0,483
	ženski	16,03		
Teškoća fokusiranja objekata	muški	15,61	96,500	0,692
	ženski	14,43		
Glavobolja	muški	16,82	79,500	0,138
	ženski	13,30		
Znojenje	muški	12,93	76,000	0,176
	ženski	16,93		
Mučnina u želucu	muški	12,43	69,000	0,102
	ženski	17,40		
Poriv na povraćanje	muški	14,39	96,500	0,691
	ženski	15,57		
Zamor očiju	muški	17,79	66,000	0,074
	ženski	12,40		
Umor u VR-u	muški	16,79	80,000	0,246
	ženski	13,33		
Fizička nelagoda prilikom nošenja VR headset-a	muški	14,61	99,500	0,799
	ženski	15,37		
Brzina kretanja mi odgovara	muški	16,32	86,500	0,389
	ženski	13,77		
Ovaj način kretanja mi odgovara	muški	16,18	88,500	0,418
	ženski	13,90		
Prosječni HR	muški	12,50	70,000	0,127
	ženski	17,33		
Prosječni IBI	muški	19,32	44,500	0,008
	ženski	10,97		

Kod razlika između žena i muškaraca, u situaciji kod linearnog kretanja u dnevnoj sceni, jedina razlika je zabilježena kod IBI, gdje opet žene imaju manji prosječni IBI, dok muškarci veći prosječni IBI.

Tablica 26: Značajnost razlike između muškaraca ($N=14$) i žena ($N=15$) na svim varijablama u VR situaciji Linearno kretanje noćna scena

Varijabla	Spol	Srednji rang	Mann-Whitney <i>U test</i>	<i>p</i>
Vrtoglavica	muški	14,54	98,500	0,767
	ženski	15,43		
Mutan vid	muški	14,21	94,000	0,608
	ženski	15,73		
Teškoća fokusiranja objekata	muški	13,04	77,500	0,208
	ženski	16,83		
Glavobolja	muški	15,64	96,000	0,659
	ženski	14,40		
Znojenje	muški	12,57	71,000	0,122
	ženski	17,27		
Mučnina u želucu	muški	13,43	83,000	0,317
	ženski	16,47		
Poriv na povraćanje	muški	15,25	101,500	0,860
	ženski	14,77		
Zamor očiju	muški	16,36	86,000	0,368
	ženski	13,73		
Umor u VR-u	muški	15,07	104,000	0,964
	ženski	14,93		
Fizička nelagoda prilikom nošenja VR headset-a	muški	13,36	82,000	0,300
	ženski	16,53		
Brzina kretanja mi odgovara	muški	15,07	104,000	0,964
	ženski	14,93		
Ovaj način kretanja mi odgovara	muški	16,43	85,000	0,336
	ženski	13,67		
Prosječni HR	muški	12,00	63,000	0,067
	ženski	17,80		
Prosječni IBI	muški	18,82	51,500	0,020
	ženski	11,43		

U situaciji kod linearnog kretanja u noćnoj sceni, jedina razlika je zabilježena kod IBI, gdje opet žene imaju manji prosječni IBI, dok muškarci veći prosječni IBI.

Tablica 27: Značajnost razlike između muškaraca ($N=14$) i žena ($N=15$) na svim varijablama u VR situaciji *Arm swing* dnevna scena

Varijabla	Spol	Srednji rang	Mann-Whitney <i>U</i> test	<i>p</i>
Vrtoglavica	muški	13,43	83,000	0,294
	ženski	16,47		
Mutan vid	muški	13,93	90,000	0,475
	ženski	16,00		
Teškoća fokusiranja objekata	muški	16,11	89,500	0,434
	ženski	13,97		
Glavobolja	muški	16,39	85,500	0,279
	ženski	13,70		
Znojenje	muški	13,18	79,500	0,237
	ženski	16,70		
Mučnina u želucu	muški	12,07	64,000	0,044
	ženski	17,73		
Poriv na povraćanje	muški	14,00	91,000	0,308
	ženski	15,93		
Zamor očiju	muški	16,07	90,000	0,486
	ženski	14,00		
Umor u VR-u	muški	13,64	86,000	0,381
	ženski	16,27		
Fizička nelagoda prilikom nošenja VR headset-a	muški	13,82	88,500	0,446
	ženski	16,10		
Brzina kretanja mi odgovara	muški	17,43	71,00	0,079
	ženski	12,73		
Ovaj način kretanja mi odgovara	muški	16,82	79,500	0,222
	ženski	13,30		
Prosječni HR	muški	12,64	72,000	0,150
	ženski	17,20		
Prosječni IBI	muški	17,25	73,500	0,169
	ženski	12,90		

Kod žena je zabilježena veća mučnina u želucu kod *arm swing* kretanja u dnevnoj sceni, nego kod muškaraca, i vrijednost od $p=0,044$ je statistički značajna iako je vrlo blizu 0,005 koliko je postavljena granična vrijednost za statistički relevantne rezultate, pa bi valjalo u budućim istraživanjima obratiti pažnju na ovu varijablu u odnosu na žene i muškarce.

Tablica 28: Značajnost razlike između muškaraca ($N=14$) i žena ($N=15$) na svim varijablama u VR situaciji *Arm swing* noćna scena

Varijabla	Spol	Srednji rang	Mann-Whitney <i>U</i> test	<i>p</i>
Vrtoglavica	muški	11,79	60,000	0,024
	ženski	18,00		
Mutan vid	muški	13,43	83,000	0,288
	ženski	16,47		
Teškoća fokusiranja objekata	muški	15,14	103,000	0,924
	ženski	14,87		
Glavobolja	muški	13,68	86,500	0,323
	ženski	16,23		
Znojenje	muški	13,93	90,000	0,468
	ženski	16,00		
Mučnina u želucu	muški	13,54	84,500	0,274
	ženski	16,37		
Poriv na povraćanje	muški	13,79	88,000	0,294
	ženski	16,13		
Zamor očiju	muški	13,93	90,000	0,484
	ženski	16,00		
Umor u VR-u	muški	13,46	83,500	0,301
	ženski	16,43		
Fizička nelagoda prilikom nošenja VR headset-a	muški	14,68	100,500	0,828
	ženski	15,30		
Brzina kretanja mi odgovara	muški	15,43	99,000	0,763
	ženski	14,60		
Ovaj način kretanja mi odgovara	muški	16,07	90,000	0,487
	ženski	14,00		
Prosječni HR	muški	11,57	57,000	0,036
	ženski	18,20		
Prosječni IBI	muški	17,57	69,000	0,116
	ženski	12,60		

U situaciji kod *arm swing* načina kretanja (noćna verzija), kod žena je zabilježena statistički veća razlika u vrtoglavici nego kod muškaraca i druga nađena razlika je u prosječnom pulsu, koji je veći kod žena.

Kako bi provjerili postoje li značajne razlike u intenzitetu simptoma mučnine u virtualnoj stvarnosti ovisne o tome doživljava li osoba mučninu u prijevoznim sredstvima, izračunat je Mann-Whitneyev U test.

Tablica 29: Značajnost razlike između skupine osoba kojima je mučno ($N=9$) i skupine osoba kojima nije mučno u prijevoznim sredstvima ($N=20$) na svim varijablama u VR situaciji Teleportacija dnevna scena

	Mučnina u prijevoznim sredstvima	Srednji rang	Mann-Whitney U test	p
Vrtoglavica	da ne	14,50 15,23	85,500	0,723
Mutan vid	da ne	13,94 15,48	80,500	0,633
Teškoća fokusiranja objekata	da ne	16,44 14,35	77,000	0,479
Glavobolja	da ne	15,78 14,65	83,000	0,616
Znojenje	da ne	15,94 14,58	81,500	0,645
Mučnina u želucu	da ne	14,06 15,43	81,500	0,542
Poriv na povraćanje	da ne	14,50 15,23	85,500	0,502
Zamor očiju	da ne	15,83 14,63	82,500	0,690
Umor u VR-u	da ne	16,28 14,43	78,500	0,490
Fizička nelagoda prilikom nošenja VR headset-a	da ne	19,89 12,80	46,000	0,028
Brzina kretanja mi odgovara	da ne	15,72 14,68	83,500	0,683
Ovaj način kretanja mi odgovara	da ne	17,06 14,08	71,500	0,355
Prosječni HR	da ne	17,33 13,95	69,000	0,322
Prosječni IBI	da ne	16,11 14,50	80,000	0,637

Među testiranom varijablom osjećaju li osobe mučninu u prijevoznim sredstvima ili ne, nađena je jedna značajna razlika a to je da osobe koje osjećaju mučninu u prijevoznim sredstvima također osjećaju fizičku nelagodu prilikom nošenja VR headset-a.

Tablica 30: Značajnost razlike između skupine osoba kojima je mučno ($N=9$) i skupine osoba kojima nije mučno u prijevoznim sredstvima ($N=20$) na svim varijablama u VR situaciji Teleportacija noćna scena

	Mučnina u prijevoznim sredstvima	Srednji rang	Mann-Whitney U test	p
Vrtoglavica	da ne	17,89 13,70	64,000	0,118
Mutan vid	da ne	15,00 15,00	90,000	1,000
Teškoća fokusiranja objekata	da ne	19,22 13,10	52,000	0,034
Glavobolja	da ne	20,11 12,70	44,000	0,010
Znojenje	da ne	20,00 12,75	45,000	0,012
Mučnina u želucu	da ne	16,94 14,13	72,50	0,243
Poriv na povraćanje	da ne	17,39 13,93	68,500	0,123
Zamor očiju	da ne	15,78 14,65	83,000	0,696
Umor u VR-u	da ne	17,89 13,70	64,000	0,134
Fizička nelagoda prilikom nošenja VR headset-a	da ne	21,56 12,05	31,000	0,003
Brzina kretanja mi odgovara	da ne	17,50 13,88	67,500	0,107
Ovaj način kretanja mi odgovara	da ne	16,39 14,38	77,500	0,522
Prosječni HR	da ne	17,44 13,90	68,000	0,300
Prosječni IBI	da ne	13,06 15,88	72,500	0,409

Kod usporedbe sa Teleportacijom u noćnoj varijanti, nađene su 4 statistički značajne razlike, (i to sve kod osoba koje pate od mučnine u prijevoznim sredstvima) s varijablama teškoća fokusiranja objekata, glavobolja, znojenje i fizička nelagoda prilikom nošenja VR headset-a.

Tablica 31: Značajnost razlike između skupine osoba kojima je mučno ($N=9$) i skupine osoba kojima nije mučno u prijevoznim sredstvima ($N=20$) na svim varijablama u VR situaciji Linearno kretanje dnevna scena

	Mučnina u prijevoznim sredstvima	Srednji rang	Mann-Whitney U test	p
Vrtoglavica	da ne	15,72 14,68	83,500	0,752
Mutan vid	da ne	17,61 13,83	66,500	0,251
Teškoća fokusiranja objekata	da ne	15,11 14,95	89,000	0,960
Glavobolja	da ne	16,39 14,38	77,500	0,432
Znojenje	da ne	13,83 15,53	79,500	0,596
Mučnina u želucu	da ne	16,50 14,33	76,500	0,508
Poriv na povraćanje	da ne	16,33 14,40	78,000	0,545
Zamor očiju	da ne	15,61 14,73	84,000	0,786
Umor u VR-u	da ne	14,33 15,30	84,000	0,764
Fizička nelagoda prilikom nošenja VR headset-a	da ne	20,28 12,63	42,500	0,017
Brzina kretanja mi odgovara	da ne	14,44 15,25	85,000	0,801
Ovaj način kretanja mi odgovara	da ne	13,67 15,60	78,000	0,525
Prosječni HR	da ne	15,44 14,80	86,000	0,850
Prosječni IBI	da ne	15,89 14,60	82,000	0,706

Značajnost razlike kod testiranja linearnog kretanja danju, nađena je jedna značajna razlika a ta je da osobe koje osjećaju mučninu u prijevoznim sredstvima također osjećaju fizičku nelagodu prilikom nošenja VR headset-a.

Tablica 32: Značajnost razlike između skupine osoba kojima je mučno ($N=9$) i skupine osoba kojima nije mučno u prijevoznim sredstvima ($N=20$) na svim varijablama u VR situaciji Linearno kretanje noćna scena

	Mučnina u prijevoznim sredstvima	Srednji rang	Mann-Whitney U test	p
Vrtoglavica	da	15,56	85,000	0,806
	ne	14,75		
Mutan vid	da	17,44	68,000	0,268
	ne	13,90		
Teškoća fokusiranja objekata	da	18,67	57,000	0,103
	ne	13,35		
Glavobolja	da	16,56	76,000	0,458
	ne	14,30		
Znojenje	da	18,56	58,000	0,116
	ne	13,40		
Mučnina u želucu	da	15,39	86,500	0,863
	ne	14,83		
Poriv na povraćanje	da	16,39	77,500	0,496
	ne	14,38		
Zamor očiju	da	18,94	54,500	0,070
	ne	13,23		
Umor u VR-u	da	19,33	51,000	0,056
	ne	13,05		
Fizička nelagoda prilikom nošenja VR headset-a	da	22,50	22,500	0,001
	ne	11,63		
Brzina kretanja mi odgovara	da	13,78	79,000	0,589
	ne	15,55		
Ovaj način kretanja mi odgovara	da	12,78	70,000	0,299
	ne	16,00		
Prosječni HR	da	17,67	66,000	0,258
	ne	13,80		
Prosječni IBI	da	14,50	85,500	0,832
	ne	15,23		

Značajnost razlike kod testiranja Linearnog kretanja noću, nađena je jedna značajna razlika a to je da osobe koje osjećaju mučninu u prijevoznim sredstvima također osjećaju fizičku nelagodu prilikom nošenja VR headset-a.

Tablica 33: Značajnost razlike između skupine osoba kojima je mučno ($N=9$) i skupine osoba kojima nije mučno u prijevoznim sredstvima ($N=20$) na svim varijablama u VR situaciji *Arm swing* dnevna scena

	Mučnina u prijevoznim sredstvima	Srednji rang	Mann-Whitney <i>U</i> test	<i>p</i>
Vrtoglavica	da ne	19,00 13,20	54,000	0,064
Mutan vid	da ne	14,00 15,45	81,000	0,643
Teškoća fokusiranja objekata	da ne	14,89 15,05	89,000	0,957
Glavobolja	da ne	16,28 14,43	78,500	0,490
Znojenje	da ne	14,06 15,43	81,500	0,670
Mučnina u želucu	da ne	15,39 14,83	86,500	0,853
Poriv na povraćanje	da ne	16,28 14,43	78,500	0,366
Zamor očiju	da ne	15,61 14,73	84,500	0,783
Umor u VR-u	da ne	19,22 13,10	52,000	0,058
Fizička nelagoda prilikom nošenja VR headset-a	da ne	21,61 12,03	30,500	0,003
Brzina kretanja mi odgovara	da ne	13,44 15,70	76,000	0,434
Ovaj način kretanja mi odgovara	da ne	13,67 15,60	78,000	0,535
Prosječni HR	da ne	14,67 15,15	87,000	0,888
Prosječni IBI	da ne	16,00 14,55	81,000	0,671

Kod testiranja *Arm swing* dnevne scene nađena je jedna značajna razlika, a to je da osobe koje osjećaju mučninu u prijevoznim sredstvima također osjećaju fizičku nelagodu prilikom nošenja VR headset-a.

Tablica 34: Značajnost razlike između skupine osoba kojima je mučno ($N=9$) i skupine osoba kojima nije mučno u prijevoznim sredstvima ($N=20$) na svim varijablama u VR situaciji *Arm swing* noćna scena

	Mučnina u prijevoznim sredstvima	Srednji rang	Mann-Whitney <i>U</i> test	<i>p</i>
Vrtoglavica	da ne	17,61 13,83	66,500	0,203
Mutan vid	da ne	13,33 15,75	75,000	0,434
Teškoća fokusiranja objekata	da ne	16,11 14,50	80,000	0,608
Glavobolja	da ne	15,44 14,80	86,000	0,817
Znojenje	da ne	15,17 14,93	88,500	0,938
Mučnina u želucu	da ne	15,94 14,58	81,500	0,625
Poriv na povraćanje	da ne	15,44 14,80	86,000	0,790
Zamor očiju	da ne	18,17 13,58	61,500	0,151
Umor u VR-u	da ne	19,56 12,95	49,000	0,033
Fizička nelagoda prilikom nošenja VR headset-a	da ne	19,22 13,10	52,000	0,047
Brzina kretanja mi odgovara	da ne	11,89 16,40	62,000	0,129
Ovaj način kretanja mi odgovara	da ne	16,78 14,20	74,000	0,424
Prosječni HR	da ne	17,11 14,05	71,000	0,370
Prosječni IBI	da ne	14,56 15,20	86,000	0,850

Značajnost razlike kod testiranja *arm swing* kretanja noću, nađene su 2 značajne razlike a to je da osobe koje osjećaju mučninu u prijevoznim sredstvima također osjećaju i zamor očiju i fizičku nelagodu prilikom nošenja VR headset-a.

Kako bi se utvrdilo postoje li značajne razlike u intenzitetu simptoma mučnine u virtualnoj stvarnosti ovisne o tome nosi li osoba naočale/leće, izračunat je Mann-Whitneyev U test.

Tablica 35: Značajnost razlike između skupine osoba koje nose leće ili naočale ($N=8$) i skupine osoba ne nose leće niti naočale ($N=21$) na svim varijablama u VR situaciji Teleportacija dnevna scena

	Naočale /leće	Srednji rang	Mann- Whitney U test	<i>p</i>
Vrtoglavica	da ne	14,69 15,12	81,500	0,839
Mutan vid	da ne	18,88 13,52	53,000	0,107
Teškoća fokusiranja objekata	da ne	18,06 13,83	59,500	0,167
Glavobolja	da ne	16,19 14,55	74,500	0,481
Znojenje	da ne	14,25 15,29	78,000	0,736
Mučnina u želucu	da ne	16,00 14,62	76,000	0,552
Poriv na povraćanje	da ne	14,50 15,19	80,000	0,537
Zamor očiju	da ne	19,88 13,14	45,000	0,032
Umor u VR-u	da ne	17,94 13,88	60,500	0,144
Fizička nelagoda prilikom nošenja VR headset-a	da ne	18,19 13,79	58,500	0,188
Brzina kretanja mi odgovara	da ne	11,75 16,24	58,000	0,091
Ovaj način kretanja mi odgovara	da ne	17,50 14,05	64,000	0,300
Prosječni HR	da ne	17,50 14,05	64,000	0,329
Prosječni IBI	da ne	15,50 14,81	80,000	0,845

Osobe koje nose naočale/leće, osjećaju veći zamor očiju nego osobe koje ih ne nose, u situaciji Teleportacija dnevna scena.

Tablica 36: Značajnost razlike između skupine osoba koje nose leće ili naočale ($N=8$) i skupine osoba ne nose leće niti naočale ($N=21$) na svim varijablama u VR situaciji Teleportacija noćna scena

	Naočale /leće	Srednji rang	Mann- Whitney U test	p
Vrtoglavica	da ne	14,63 15,14	81,000	0,852
Mutan vid	da ne	21,00 12,71	36,000	0,007
Teškoća fokusiranja objekata	da ne	17,44 14,07	64,500	0,259
Glavobolja	da ne	18,00 13,86	60,000	0,166
Znojenje	da ne	16,50 14,43	72,000	0,489
Mučnina u želucu	da ne	15,69 14,74	78,500	0,704
Poriv na povraćanje	da ne	16,06 14,60	75,500	0,528
Zamor očiju	da ne	17,75 13,95	62,000	0,204
Umor u VR-u	da ne	18,06 13,83	59,500	0,144
Fizička nelagoda prilikom nošenja VR headset-a	da ne	18,38 13,71	57,000	0,152
Brzina kretanja mi odgovara	da ne	15,81 14,69	77,500	0,630
Ovaj način kretanja mi odgovara	da ne	15,94 14,64	76,500	0,691
Prosječni HR	da ne	17,00 14,24	68,000	0,435
Prosječni IBI	da ne	13,06 15,74	68,500	0,449

Osobe koje nose naočale/leće, osjećaju da im je vid mutniji nego osobe koje ih ne nose, u situaciji Teleportacija noćna scena.

Tablica 37: Značajnost razlike između skupine osoba koje nose leće ili naočale ($N=8$) i skupine osoba ne nose leće niti naočale ($N=21$) na svim varijablama u VR situaciji Linearno kretanje dnevna scena

	Naočale /leće	Srednji rang	Mann- Whitney <i>U</i> test	<i>p</i>
Vrtoglavica	da ne	16,19 14,55	74,500	0,633
Mutan vid	da ne	13,19 15,69	69,500	0,464
Teškoća fokusiranja objekata	da ne	14,56 15,17	80,500	0,855
Glavobolja	da ne	15,44 14,83	80,500	0,820
Znojenje	da ne	17,56 14,02	63,500	0,284
Mučnina u želucu	da ne	16,31 14,50	73,500	0,594
Poriv na povraćanje	da ne	11,94 16,17	59,500	0,201
Zamor očiju	da ne	15,56 14,79	79,500	0,818
Umor u VR-u	da ne	16,19 14,55	74,500	0,622
Fizička nelagoda prilikom nošenja VR headset-a	da ne	15,44 14,83	80,500	0,856
Brzina kretanja mi odgovara	da ne	12,44 15,98	63,500	0,286
Ovaj način kretanja mi odgovara	da ne	14,63 15,14	81,000	0,869
Prosječni HR	da ne	15,50 14,81	80,000	0,845
Prosječni IBI	da ne	15,44 14,83	80,500	0,864

Značajnost razlike između skupine osoba koje nose leće ili naočale i skupine osoba ne nose leće niti naočale nije nađena niti na jednoj varijabli u VR situaciji Linearno kretanje dnevna scena.

Tablica 38: Značajnost razlike između skupine osoba koje nose leće ili naočale ($N=8$) i skupine osoba ne nose leće niti naočale ($N=21$) na svim varijablama u VR situaciji Linearno kretanje noćna scena

	Naočale /leće	Srednji rang	Mann- Whitney U test	p
Vrtoglavica	da ne	15,31 14,88	81,500	0,899
Mutan vid	da ne	17,25 14,14	66,000	0,348
Teškoća fokusiranja objekata	da ne	15,25 14,90	82,000	0,918
Glavobolja	da ne	15,25 14,90	82,000	0,913
Znojenje	da ne	11,56 16,31	56,500	0,162
Mučnina u želucu	da ne	11,75 16,24	58,000	0,186
Poriv na povraćanje	da ne	11,63 16,29	57,000	0,128
Zamor očiju	da ne	17,56 14,02	63,500	0,278
Umor u VR-u	da ne	16,88 14,29	69,000	0,447
Fizička nelagoda prilikom nošenja VR headset-a	da ne	16,88 14,29	69,000	0,450
Brzina kretanja mi odgovara	da ne	13,31 15,64	70,500	0,492
Ovaj način kretanja mi odgovara	da ne	14,81 15,07	82,500	0,936
Prosječni HR	da ne	16,63 14,38	71,000	0,526
Prosječni IBI	da ne	16,13 14,57	75,000	0,660

Značajnost razlike između skupine osoba koje nose leće ili naočale i skupine osoba ne nose leće niti naočale nije nađena niti na jednoj varijabli u VR situaciji Linearno kretanje noćna scena.

Tablica 39: Značajnost razlike između skupine osoba koje nose leće ili naočale ($N=8$) i skupine osoba ne nose leće niti naočale ($N=21$) na svim varijablama u VR situaciji *arm swing* dnevna scena

	Naočale /leće	Srednji rang	Mann- Whitney <i>U</i> test	<i>p</i>
Vrtoglavica	da ne	16,69 14,36	70,500	0,471
Mutan vid	da ne	17,63 14,00	63,000	0,263
Teškoća fokusiranja objekata	da ne	14,19 15,31	77,500	0,714
Glavobolja	da ne	14,75 15,10	82,000	0,901
Znojenje	da ne	14,56 15,17	80,500	0,856
Mučnina u želucu	da ne	17,13 14,19	67,000	0,350
Poriv na povraćanje	da ne	16,38 14,48	73,000	0,371
Zamor očiju	da ne	16,63 14,38	71,000	0,500
Umor u VR-u	da ne	15,50 14,81	80,000	0,837
Fizička nelagoda prilikom nošenja VR headset-a	da ne	16,75 14,33	70,000	0,470
Brzina kretanja mi odgovara	da ne	13,63 15,52	73,000	0,525
Ovaj način kretanja mi odgovara	da ne	16,00 14,62	76,000	0,668
Prosječni HR	da ne	14,13 15,33	77,000	0,733
Prosječni IBI	da ne	16,00 14,62	76,000	0,696

Značajnost razlike između skupine osoba koje nose leće ili naočale i skupine osoba ne nose leće niti naočale nije nađena niti na jednoj varijabli u VR situaciji *arm swing* dnevna scena.

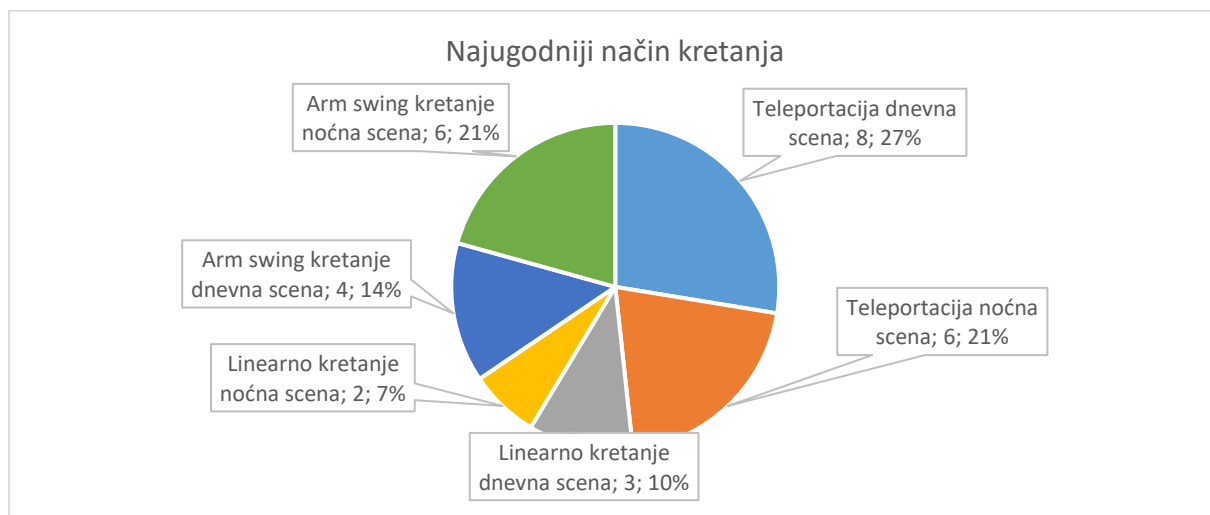
Tablica 40: Značajnost razlike između skupine osoba koje nose leće ili naočale ($N=8$) i skupine osoba ne nose leće niti naočale ($N=21$) na svim varijablama u VR situaciji *arm swing* noćna scena

	Naočale /leće	Srednji rang	Mann- Whitney <i>U</i> test	<i>p</i>
Vrtoglavica	da ne	17,94 13,88	60,500	0,187
Mutan vid	da ne	17,56 14,02	63,500	0,268
Teškoća fokusiranja objekata	da ne	14,00 15,38	76,000	0,671
Glavobolja	da ne	16,31 14,50	73,500	0,530
Znojenje	da ne	12,75 15,86	66,000	0,330
Mučnina u želucu	da ne	15,56 14,79	79,500	0,789
Poriv na povraćanje	da ne	15,38 14,86	81,000	0,836
Zamor očiju	da ne	18,88 13,52	53,000	0,106
Umor u VR-u	da ne	16,75 14,33	70,000	0,452
Fizička nelagoda prilikom nošenja VR headset-a	da ne	16,81 14,31	69,500	0,433
Brzina kretanja mi odgovara	da ne	12,69 15,88	65,500	0,299
Ovaj način kretanja mi odgovara	da ne	17,56 14,02	63,500	0,289
Prosječni HR	da ne	16,88 14,29	69,000	0,464
Prosječni IBI	da ne	15,25 14,90	82,000	0,922

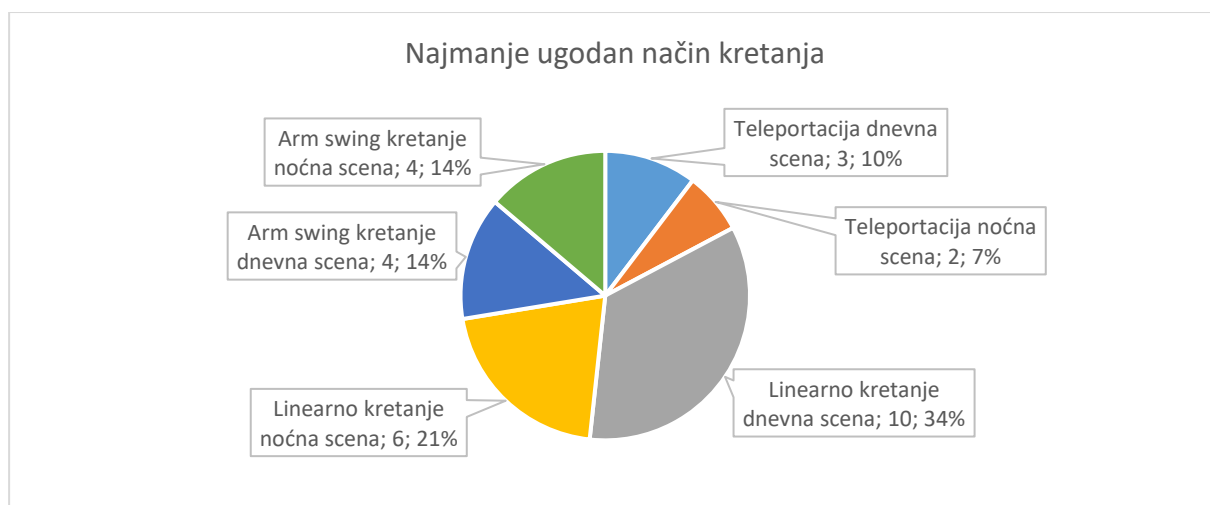
Značajnost razlike između skupine osoba koje nose leće ili naočale i skupine osoba ne nose leće niti naočale nije nađena niti na jednoj varijabli u VR situaciji *arm swing* noćna scena.

Pearsonov korelacijski test je izračunat između subjektivnih i objektivnih varijabli (ankete i Polar H10 pulsmetra) i rezultat testa pokazuje da nisu nađene statistički značajne korelacije. To je moguće jer ispitivane scene nisu toliko drastično različite da bi među ispitanicima mogli naći statistički značajnu korelaciju. Zato je i jedan od prijedloga da se urade i dodatni testovi sa više različitim sadržajima. Neki radovi također pokazuju slabu ili nikakvu razliku između mjerenja pulsa u mirovanju u odnosu na VR kao npr. Gavgani, Hodgson i Nalivaiko u radu iz 2017. godine, i rad od autora Gavgani, Nesbitt, Blackmore, Nalivaiko također iz 2017. godine [107], [159].

Zadnje pitanje nakon cijelog odrađenog istraživanja bilo je da svaki ispitanik odredi koji mu je bio najugodniji, odnosno najmanje ugodan način kretanja. Rezultati su prikazani u grafovima 9 i 10 ispod.



Graf 9: Načini kretanja po podjeli najugodniji način kretanja



Graf 10: Načini kretanja po podjeli najmanje ugodan način kretanja

Iz grafova 9 i 10 može se zaključiti kako je ispitanicima najviše odgovara dnevna varijanta kod načina kretanja teleportacija, dok im kod *arm swing* tehnike kretanja više odgovara noćna varijanta a i kod linearnog kretanja je manja neugoda u noćnoj varijanti. Ovi rezultati su dobiveni kroz istraživanje u kojemu su namjenski napravljene VR scene kreirane za ispitivanje različitih načina kretanja i potrebna su daljnja istraživanja na drugim sadržajima. To je potrebno jer ne možemo generalizirati da ovi rezultati vrijede za sve sadržaje, nego mogu poslužiti kao smjernice.

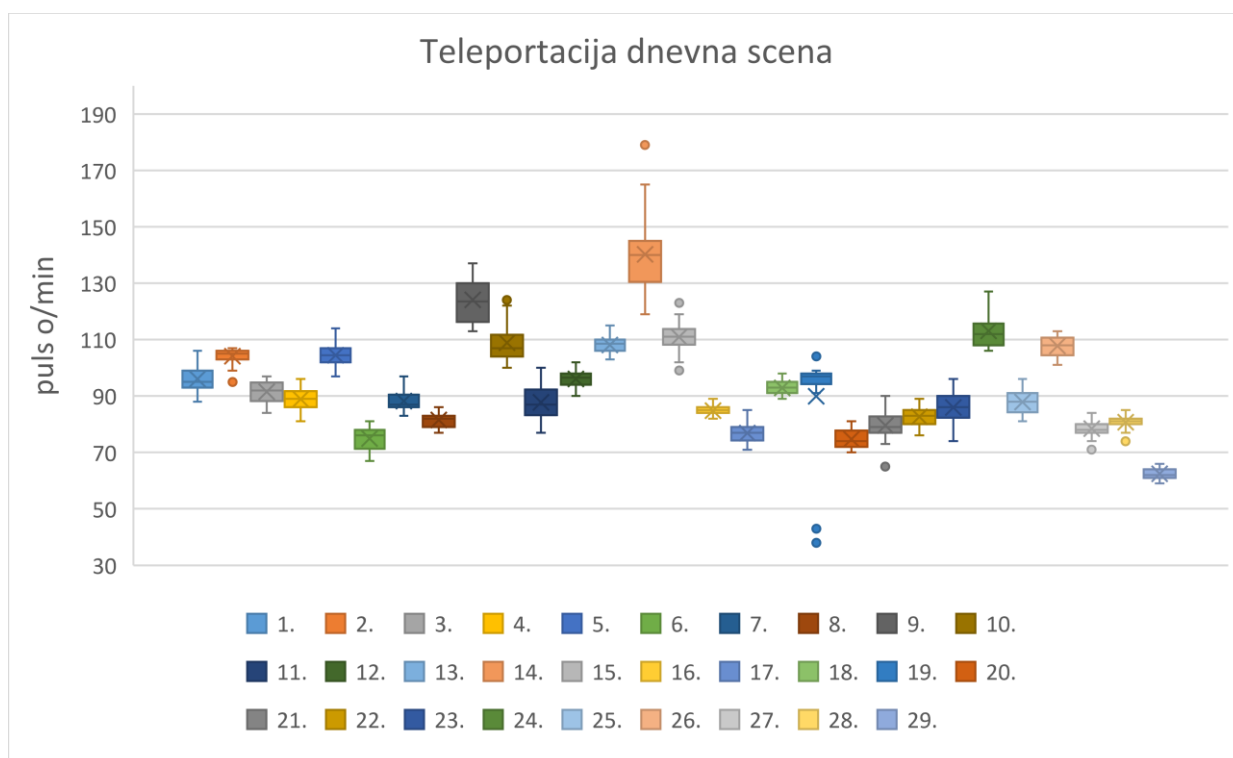
9.2 Rezultati i rasprava: rezultati biometrijskog mjerenja pulsa

Rezultati Polar H10 trake za mjerenje pulsa prikazani su u ovom poglavlju. Grafovi u daljnjem dijelu rezultata su podijeljeni po scenama/situacijama u virtualnoj stvarnosti i po spolu, te usporedno prikazuju prosječne vrijednosti pulsa i IBI intervala za sve ispitanike, a koji su dobiveni iz podataka koje sprema ID Guardian aplikacija koja je korištena u ovom istraživanju. Tablica 41 prikazuje prosječne vrijednosti pulsa za sve scene i podijeljeno po spolu.

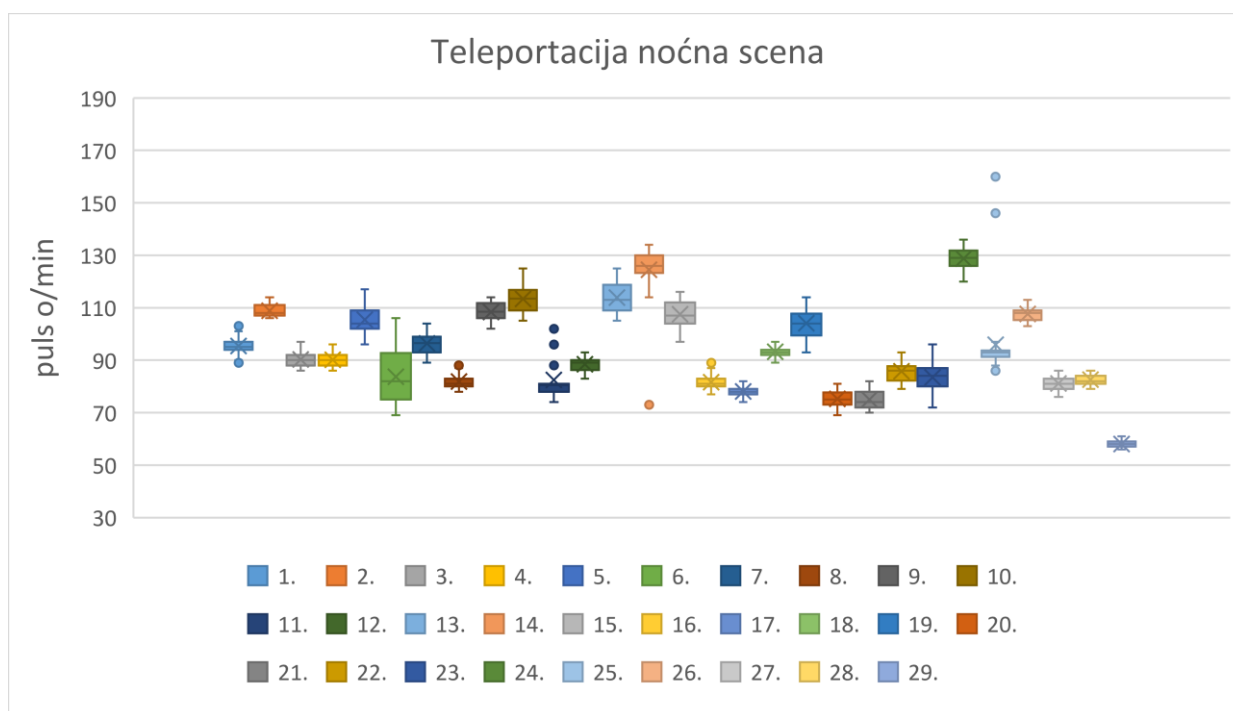
Tablica 41: Prosječne vrijednosti pulsa za sve scene (otkucaj po minuti - o/min)

	Teleportacija dnevna scena	Teleportacija noćna scena	Linearno kretanje dnevna scena	Linearno kretanje noćna scena	<i>Arm swing</i> kretanje dnevna scena	<i>Arm swing</i> kretanje noćna scena
Žene prosje k o/min	100,4	99,1	97,1	99,2	100,0	102,0
Muškarci prosje k o/min	86,1	87,8	89,1	88,5	91,6	92,4
Ukupni prosje k o/min	93,55048	93,7	93,3	94,0	95,2	97,3

Iz grafova 11-16 ispod se može vidjeti kako se kreću vrijednosti pulsa za sve ispitivane situacije podijeljeno po spolu – od 1 do 15 su žene a od 16 do 29 su muškarci.

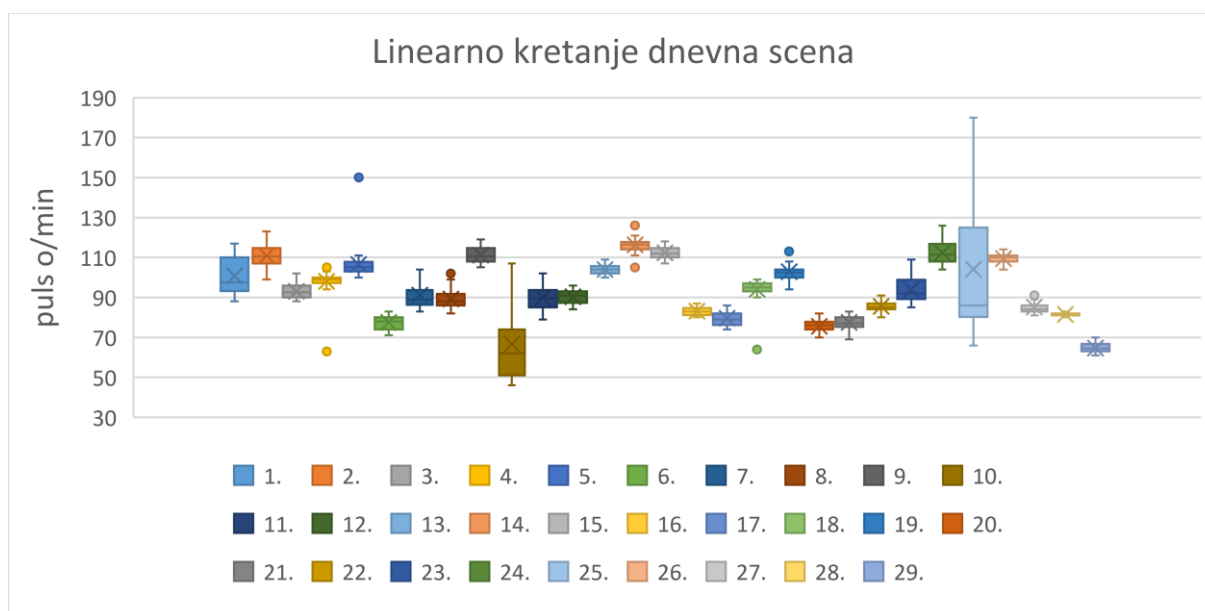


Graf 11: prosječne vrijednosti pulsa za sve ispitanike, teleportacija dnevna scena (1-15 žene, 16-29 muškarci)

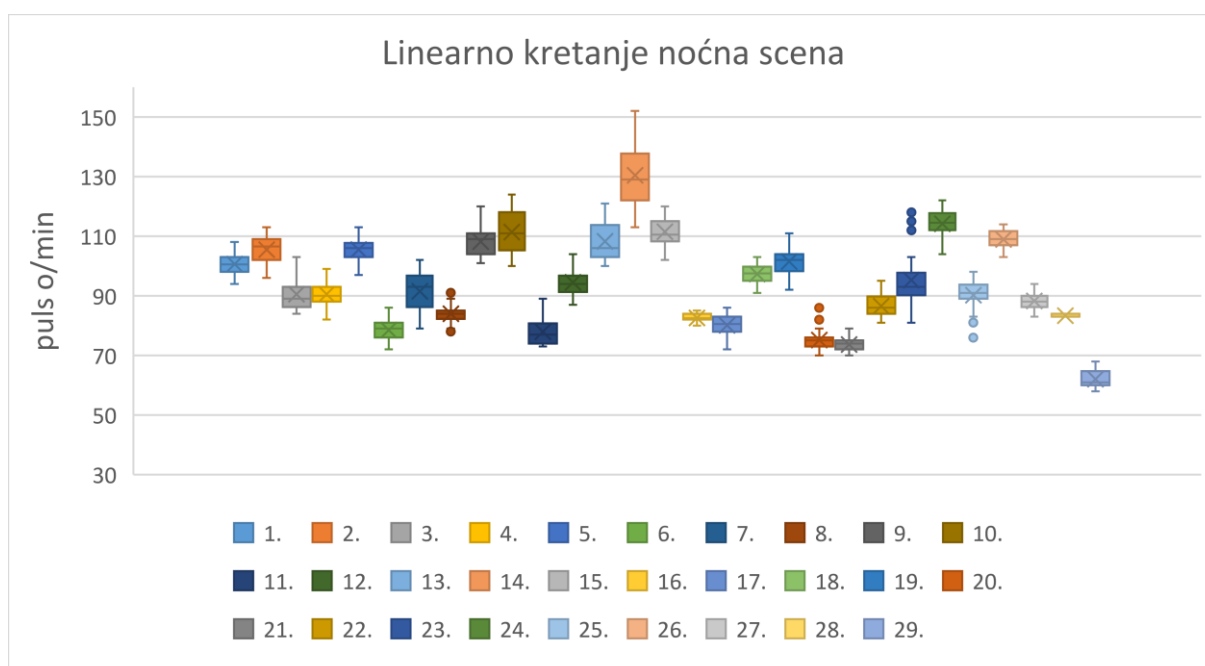


Graf 12: prosječne vrijednosti pulsa za sve ispitanike, teleportacija noćna scena (1-15 žene, 16-29 muškarci)

Ako se usporedno gledaju teleportacija dnevna i noćna scena, može se vidjeti kako su ispitivane scene prilično slične i da žene imaju nešto viši puls u obje mjerene situacije.

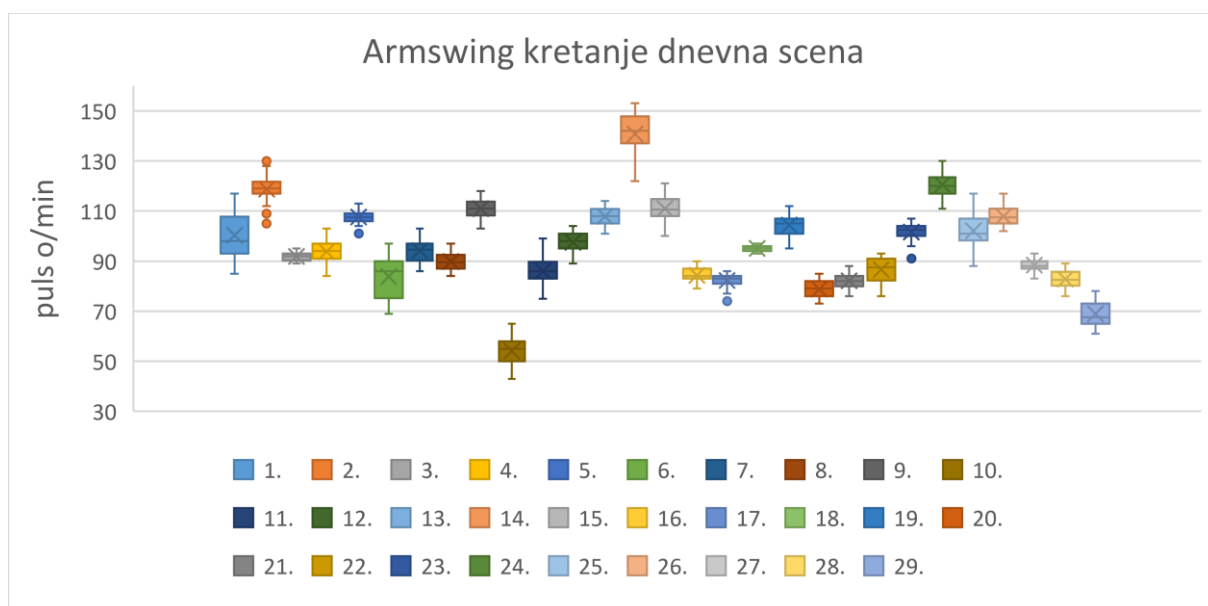


Graf 13: prosječne vrijednosti pulsa za sve ispitanike, linearno kretanje dnevna scena (1-15 žene, 16-29 muškarci)

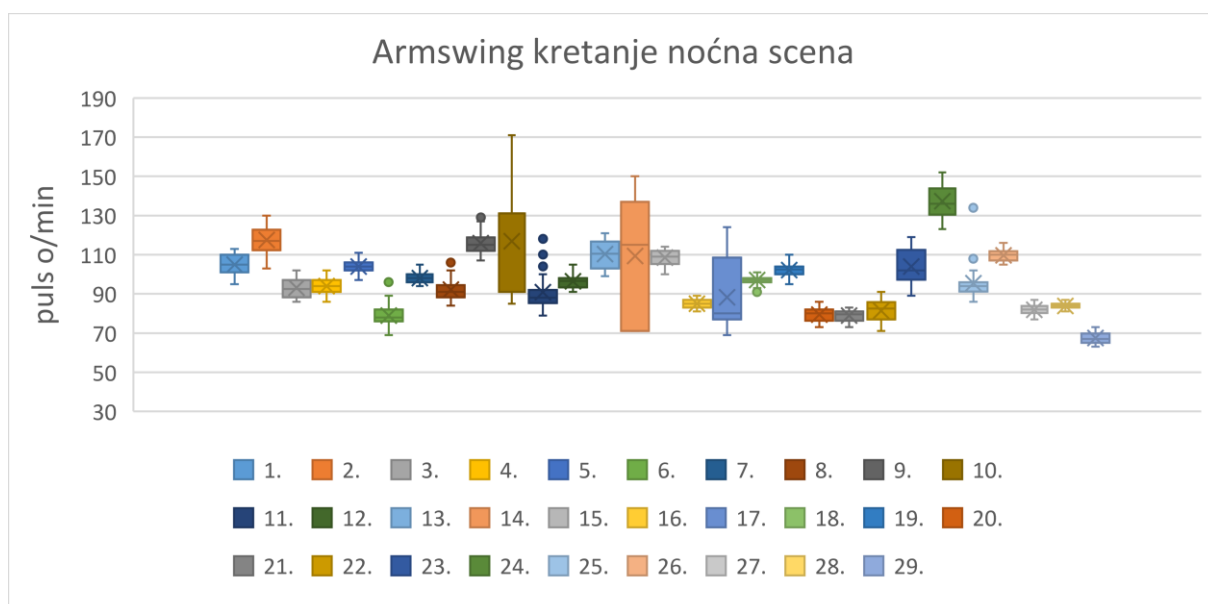


Graf 14: prosječne vrijednosti pulsa za sve ispitanike, linearno kretanje noćna scena (1-15 žene, 16-29 muškarci)

Također, ako se usporedno gledaju scene u kojima se testiralo linearno kretanje u dnevnoj i noćnoj varijanti, trend kod ispitanika je sličan, u smislu da žene imaju nešto veći puls. Također, ženama se prosječni puls uglavnom kreće blizu 100 o/min dok muškarcima oko 90 o/min. Noćna scena vizualno djeluje dinamičnije po rasponu pulsa za svakog ispitanika u odnosu na dnevnu.



Graf 15: prosječne vrijednosti pulsa za sve ispitanike, armswing kretanje dnevna scena (1-15 žene, 16-29 muškarci)



Graf 16: prosječne vrijednosti pulsa za sve ispitanike, armswing kretanje noćna scena (1-15 žene, 16-29 muškarci)

Kod armswing kretanja prosječni puls kod žena se kreće oko 100 o/min a kod muškaraca oko 90 o/min i u ovim testiranim situacijama vizualno se može primijetiti kako dnevna scena djeluje dinamičnije u odnosu na noćnu scenu.

9.3 Rezultati i rasprava: rezultati biometrijskog mjerenja EEG-a

ID Guardian aplikacija koja je korištena u ovom istraživanju također izračunava podatke o pobuđenosti, valenciji i kognitivnom opterećenju kroz sve situacije za svakog pojedinog ispitanika. Pobuđenost i valencija su sastavni dio kruga emocija kojeg je 1980. godine objavio James Russell u svom radu kako bi lakše klasificirao emocije, a danas se ta i slične klasifikacije često koriste u psihologiji [117]. Slika 41 prikazuje Russellov krug emocija. Pobuđenost (y os) se može objasniti kao dimenzija jačine emocije od slabe do jake, a valencija kao dimenzija emocije ugodna/neugoda (x os). Podaci prikazani u grafovima su dobiveni iz EEG signala, kojeg ID Guardian aplikacija obrađuje pomoću svog vlastitog algoritma (za pobuđenost, valenciju i kognitivno opterećenje).

Pobuđenost i valencija se mogu izračunati iz EEG signala. Beta-alfa omjer je povezan sa pobuđenošću a jačina alfa vala (u asimetriji – što znači da se uspoređuje jačina signala u lijevoj i desnoj hemisferi mozga) je povezan sa valencijom [131]. Ramirez i Vamvakousis u svom radu iz 2012. godine na uzorku od 6 ispitanika računaju valenciju uspoređivanjem alfa i beta jačine signala u lijevoj i desnoj hemisferi na frontalnom dijelu mozga i opisuju korištene algoritme za računanje [116].

Postoji nekoliko metoda na koji način se računa kognitivno opterećenje a najčešće se koriste ove vrste analiza: a) desinhronizacija vezana uz događaje (engl. *Event Related Desynchronization - ERD*), b) theta-alfa omjer – (engl. *Theta –Alpha Ratio – TAR*) i c) analize koje koriste strojno učenje [160], [161]. Može se računati i iz gama vala koji je također povezan sa kognitivnom funkcijom [162].

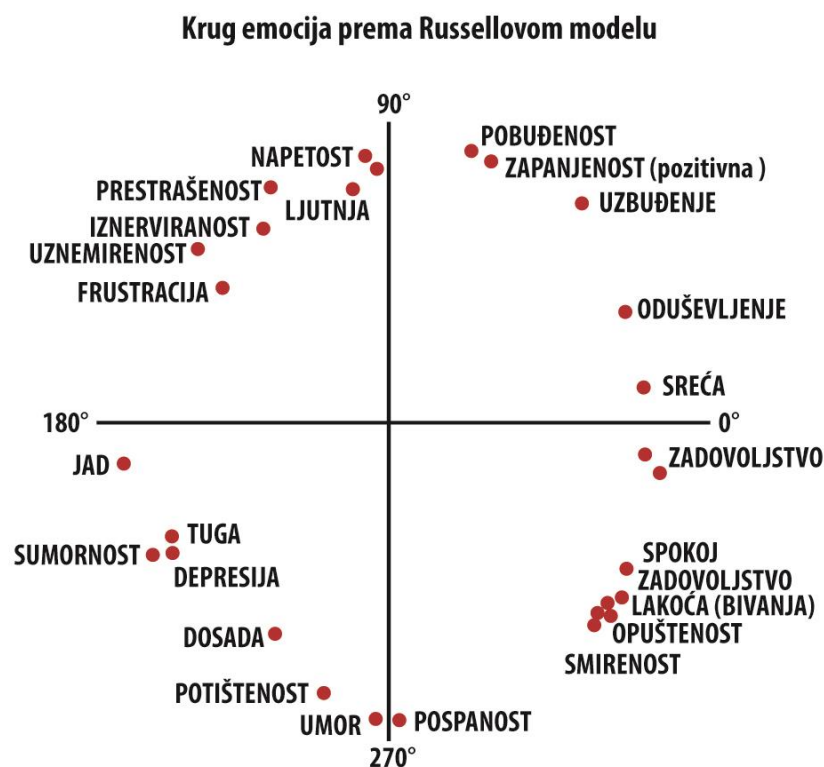
a) desinhronizacija vezana uz događaje – Prema Pfurtschelleru, odražava kratkotrajno slabljenje ili blokadu ritma unutar alfa ili beta frekvencije [163]. Također, desinhronizacija se javlja prije ili tokom vizualnog podražaja. Desinhronizacija alfa valova označava budnost i pojačanu pozornost [161]. To bi značilo da što je više desinhronizacija, veće je kognitivno opterećenje.

b) Theta-alfa omjer TAR – pokazalo se kako se spektralna jačina theta vala povećava a alfa smanjuje prilikom kognitivnog opterećenja, i računa se tako da se podijeli spektralna jačina theta vala sa središnjeg frontalnog dijela (Fz) sa spektralnom jačinom alfa vala u središnjem parijetalnom režnju (Pz) [160].

c) analize koje koriste strojno učenje i neuralne mreže – za ovakve analize potreban je veći broj ispitanika ali se na taj način mogu različite analize provesti [160]. Često se koristi tzv.

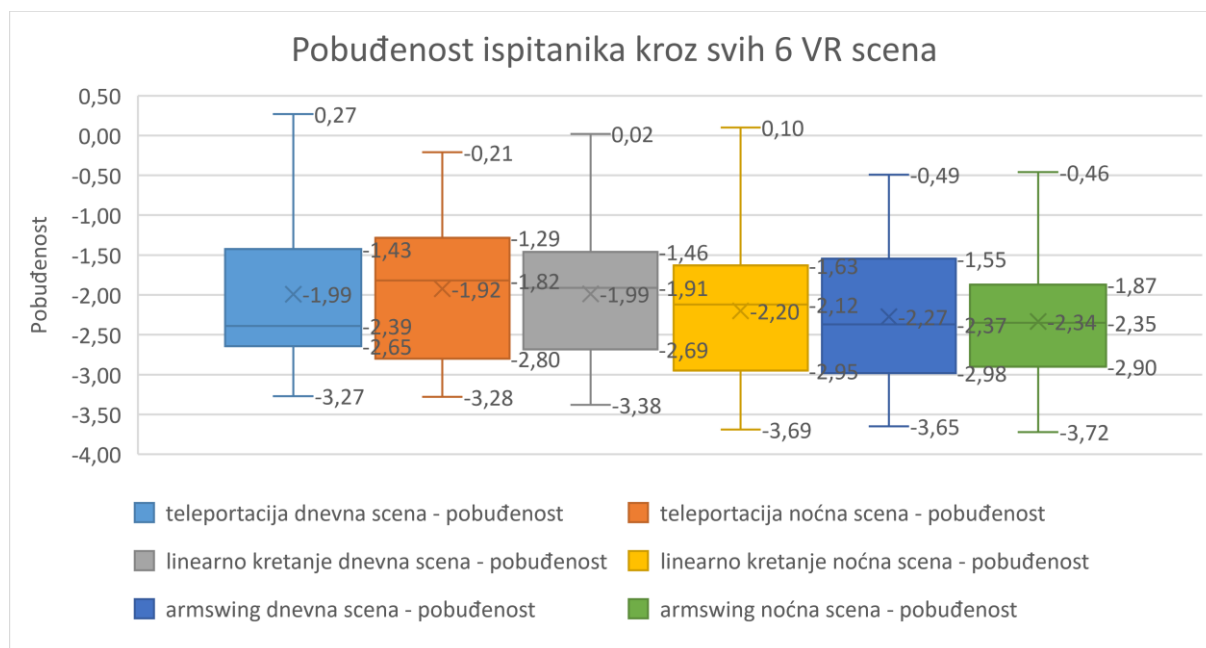
jednostavni Bayes ili naivni Bayesov teorem (metoda za izračunavanje vjerojatnosti) prilikom korištenja strojnog učenja za izračun kognitivnog opterećenja. Jedan od primjera u kojem je jednostavni Bayes korišten je testiranje težine letenja na simulatoru letenja kroz tri razine složenosti letačkih zadataka [164].

Na grafovima x, x i x su prikazani rezultati za svih 6 ispitanih situacija. Na grafovima je vidljivo da su vrijednosti medijana pobuđenosti, valencije i kognitivnog opterećenja kod ispitanika relativno sličnih vrijednosti kroz sve situacije, što bi značilo da niti jedan način kretanja nije bio drastično drukčiji ili opterećujući od drugih načina kretanja. Potrebno je napraviti istraživanja koja bi uključivala različiti sadržaj i koja bi uključivala pitanja o kognitivnom dijelu procesa kretanja i doživljaja u VR-u kako bi se mogla napraviti korelacija sa dobivenim vrijednostima.



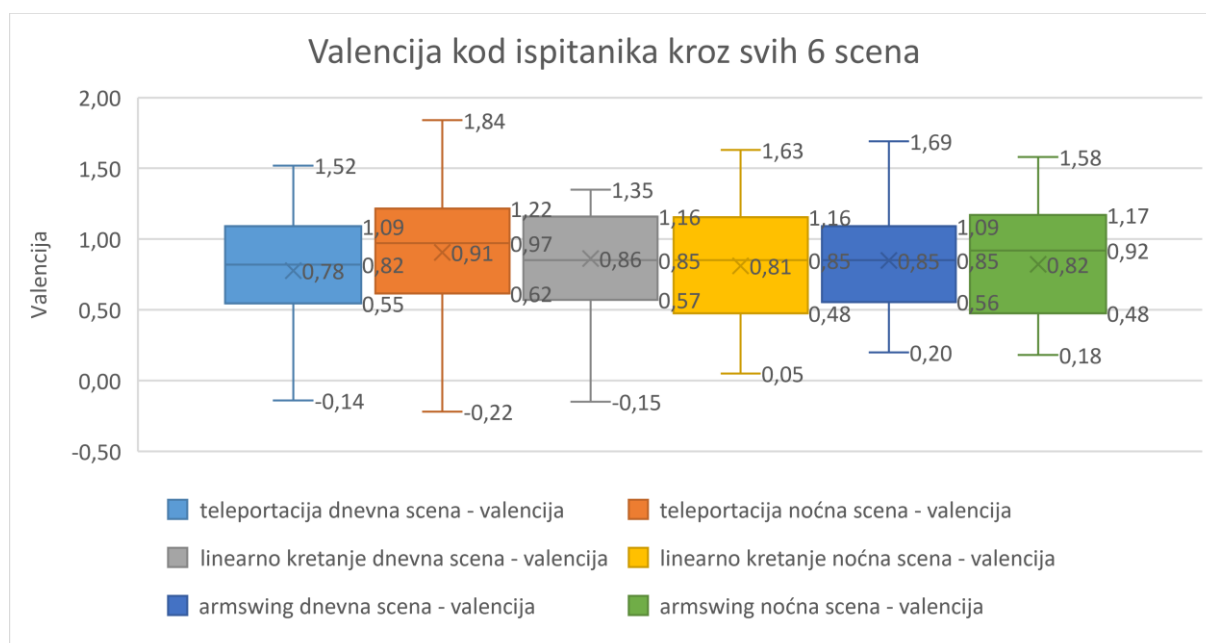
Slika 41: Krug emocija [117]

Na grafu 17 „Pobuđenost ispitanika kroz svih 6 VR scena“ može se vidjeti kako su medijani izračunatih vrijednosti za sve situacije oko -2, gdje je najmanja pobuđenost kod armswing noćne scene (-2,34) a najveća kod teleportacije također u noćnoj varijanti (-1,92).

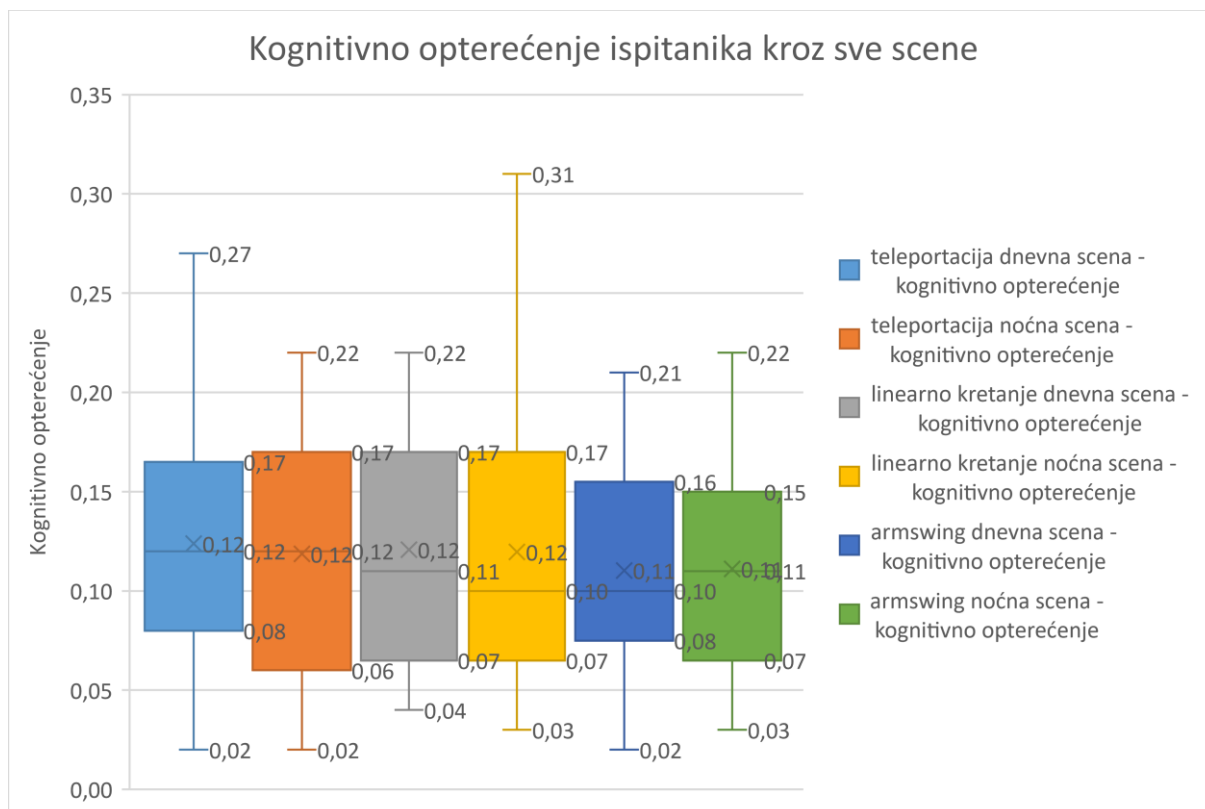


Graf 17: Pobuđenost ispitanika kroz svih 6 VR scena

Na grafu 18 „Valencija kod ispitanika kroz svih 6 VR scena“ može se vidjeti kako su medijani izračunatih vrijednosti za sve situacije oko 0,8, gdje je najmanja valencija zabilježena kod teleportacije danju (0,78) a najveća kod teleportacije noću (0,91).



Graf 18: Valencija kod ispitanika kroz svih 6 VR scena



Graf 19: Kognitivno opterećenje ispitanika kroz sve scene

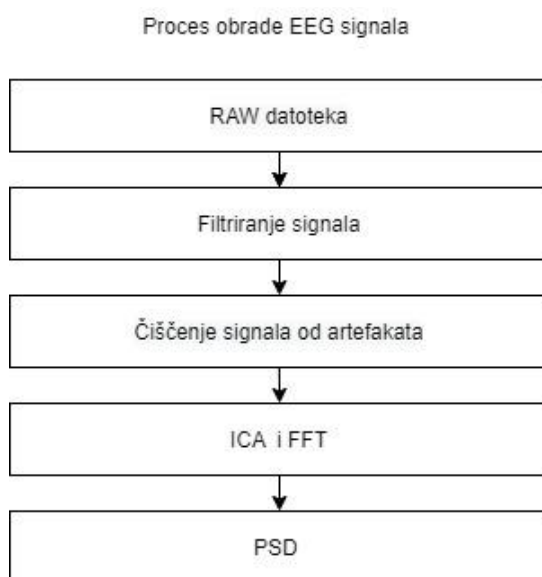
Rezultati emotivnog odziva ispitanika u ovom istraživanju uglavnom se kreću oko centra, lagano prema opuštenom stanju, što bi značilo da su ispitivane situacije slične i da nisu bile drastično različite jedna od druge, prikazano na slici 42.



Slika 42: Krug emocija za ispitanike za sve scene

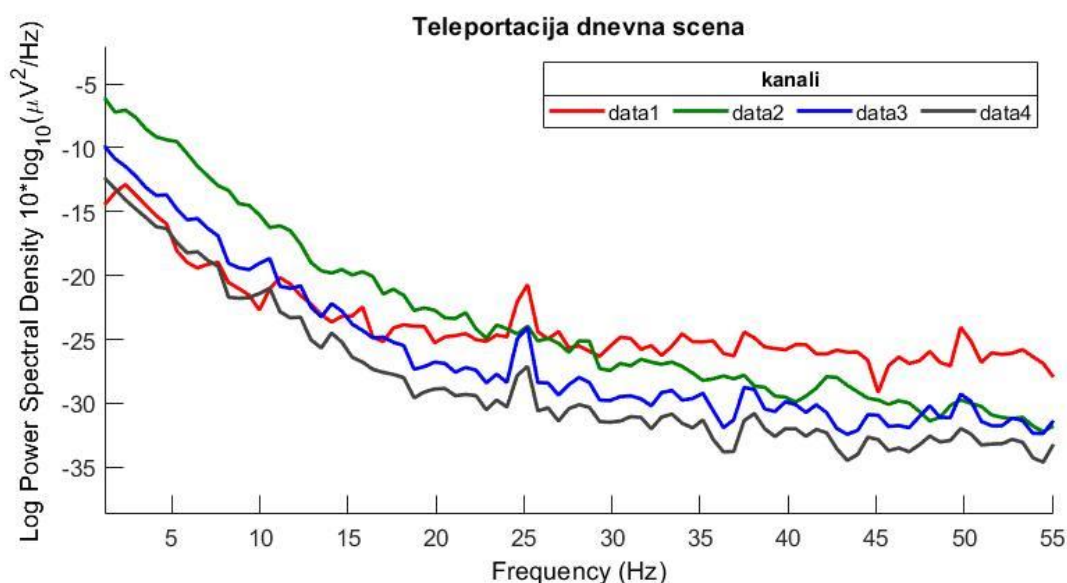
Osim kognitivnog opterećenja, pobuđenosti i valencije, iz EEG zapisa može se prikazati i spektralna analiza svih ili samo jednog vala. Primjeri prikaza obrađenog EEG signala, prema Cohenu, mogu biti po: **frekvenciji** (jačina signala po frekvenciji, gdje je vrijeme sporedni faktor i teško je vidjeti promjenu kroz vrijeme); **vremenu** (odabere se jedna frekvencija koja se promatra u nekom vremenskom periodu); **prostoru** (podaci se prikazuju u topografskom obliku) i **vremensko-frekvencijski** prikaz (gdje je vrijeme na x osi na frekvencija na y osi) [165].

Spektralna analiza napravljena je u EEG Lab-u u Matlab-u po algoritmu prikazanom na slici 43. Sirova datoteka dobivena je iz Mind Monitor aplikacije koja snima podatke iz Muse EEG uređaja. Datoteka se uveze u Matlab EEG Lab i prvo se napravi filtriranje signala FIR (engl. *Finite-duration Impulse Response*) bazičnim filterom da se uklone sve frekvencije manje od 1 Hz i više od 70 Hz. Zatim se očisti signal od artefakata treptaja očiju, pomicanja i slično da bi se dobio što čišći signal. Slijedi obrada signala sa ICA-om (engl. *Independent Component Analysis*) koja iz cijelog signala separira sastavnice tog signala. Djelovanje ICA-e na signal se može objasniti sa „problemom koktel zabave“ gdje se individualni glasovi osoba koje su u prostoru preklapaju i ICA razdvaja taj šum u individualne glasove osoba [166]. Slijedeći korak je FFT (engl. *Fast Fourier Transformation*) koja transformira signal iz vremenske domene u frekvencijsku. Zadnji korak je PSD (eng. *Power Spectral Density*), funkcija koja pokazuje kolika je jačina signala u određenoj frekvenciji, odnosno frekvencijama.

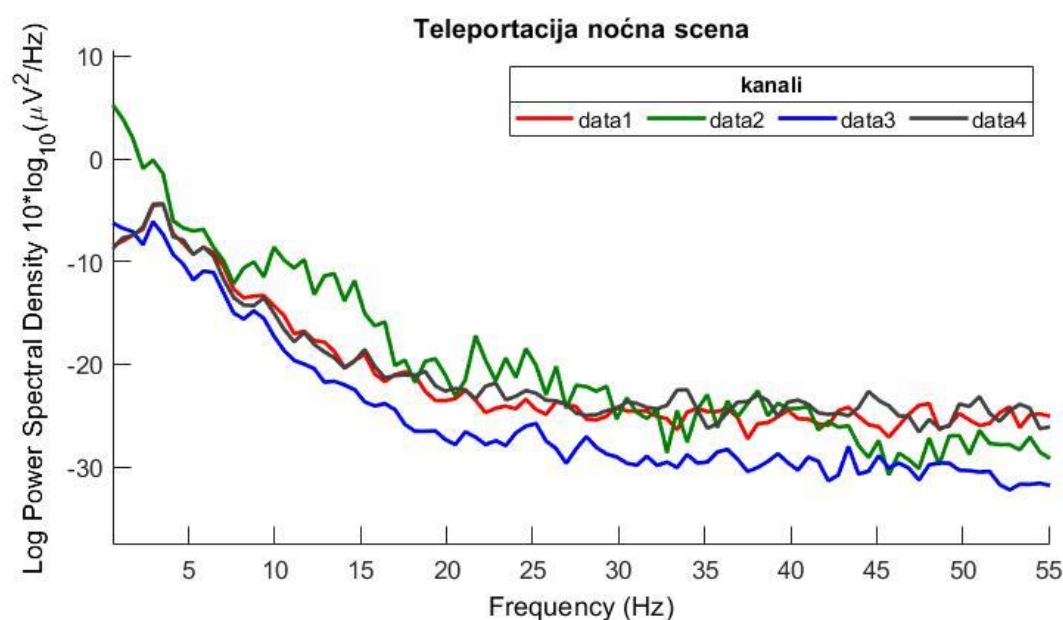


Slika 43: Proces obrade EEG signala

Slike 44-49 prikazuju spektralnu analizu za jednog nasumično odabranog ispitanika (a u grafu 20 je prikazan omjer alfa/beta za sve ispitanike koji bolje prikazuje testirane situacije od pojedinačne spektralne analize) za svaku pojedinu situaciju. Legenda na svakoj slici označava 4 kanala EEG Muse uređaja, Tp9, Af7, Af8, Tp10 koji mjere moždane valove.

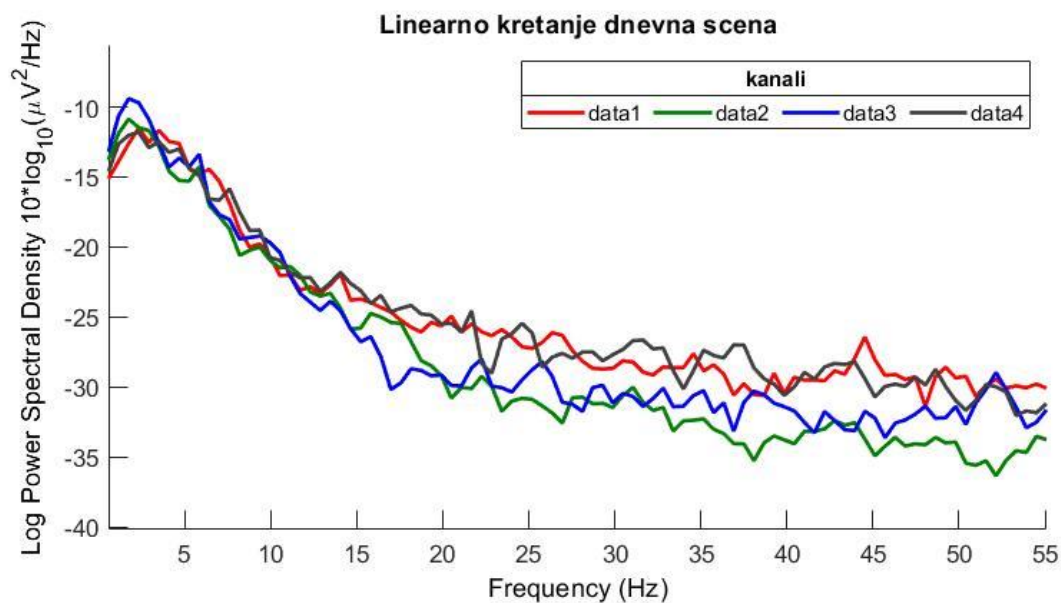


Slika 44: Spektralna analiza za teleportaciju dnevna scena (za 1 ispitanika)

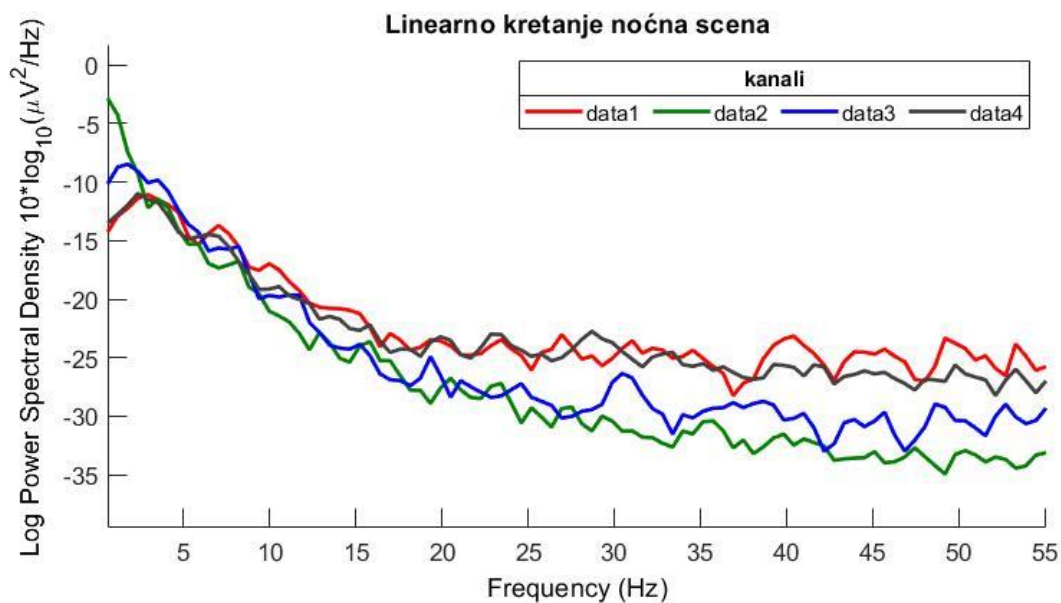


Slika 45: Spektralna analiza za teleportaciju noćna scena (za 1 ispitanika)

Gledajući usporedno dnevnu i noćnu situaciju kod teleportacije kao načina kretanja može se primijetiti kako su spektralne analize vrlo slične, iako je nešto veći odziv u alfa i beta frekvencijama u noćnoj varijanti.

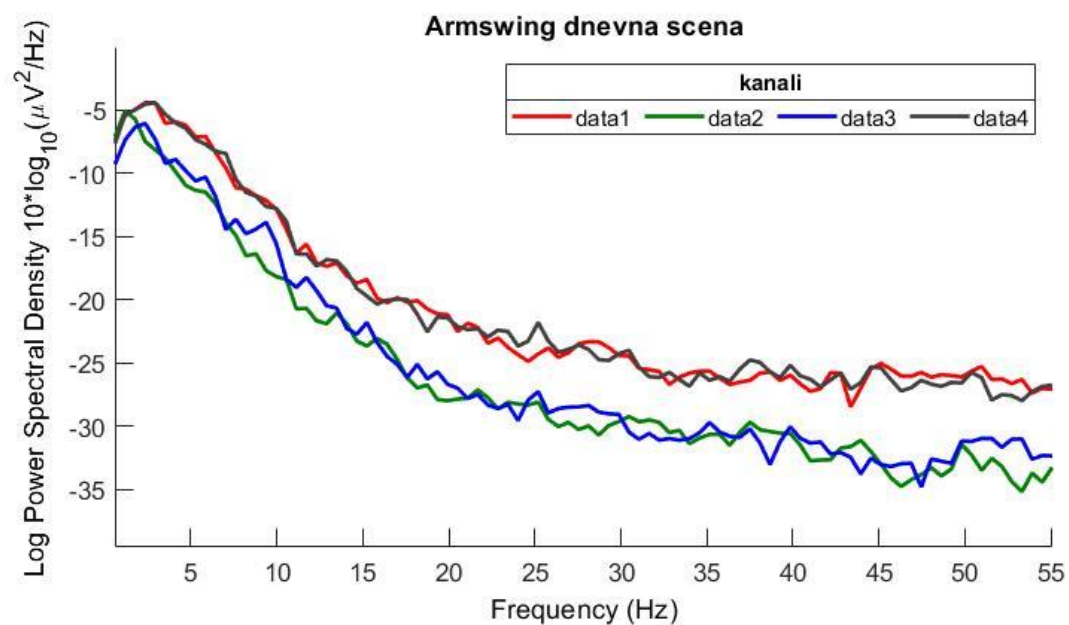


Slika 46: Spektralna analiza za linearno kretanje dnevna scena (za 1 ispitanika)

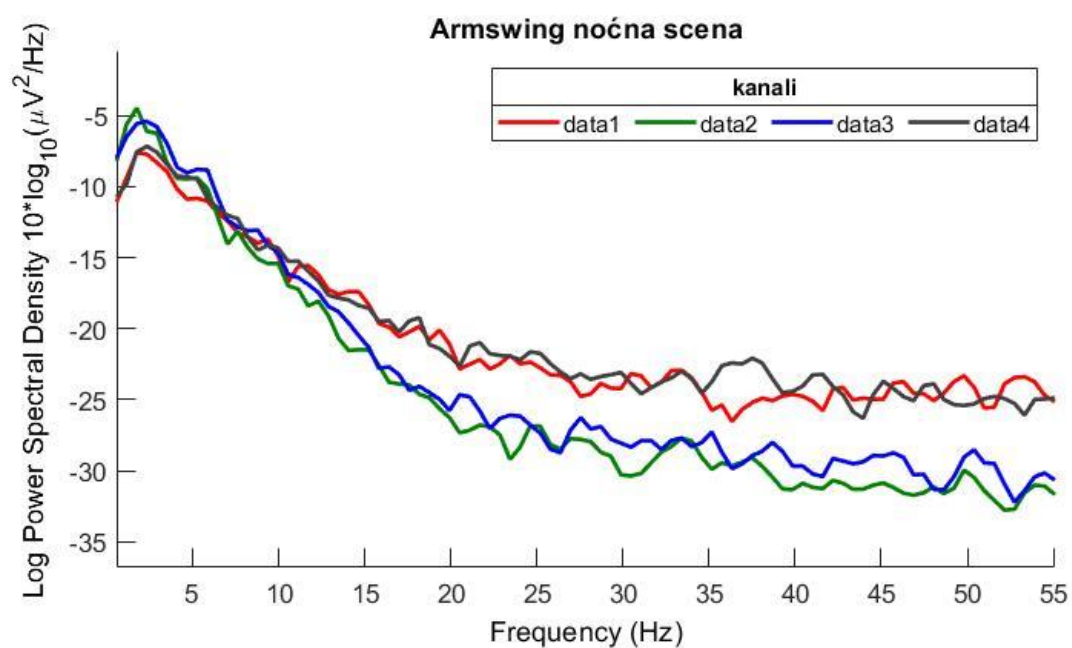


Slika 47: Spektralna analiza za linearno kretanje noćna scena (za 1 ispitanika)

Gledajući usporedno dnevnu i noćnu situaciju kod linearnog načina kretanja može se primijetiti kako su spektralne analize također vrlo slične, kao i kod armswing kretanja na slikama 46 i 47 ispod.

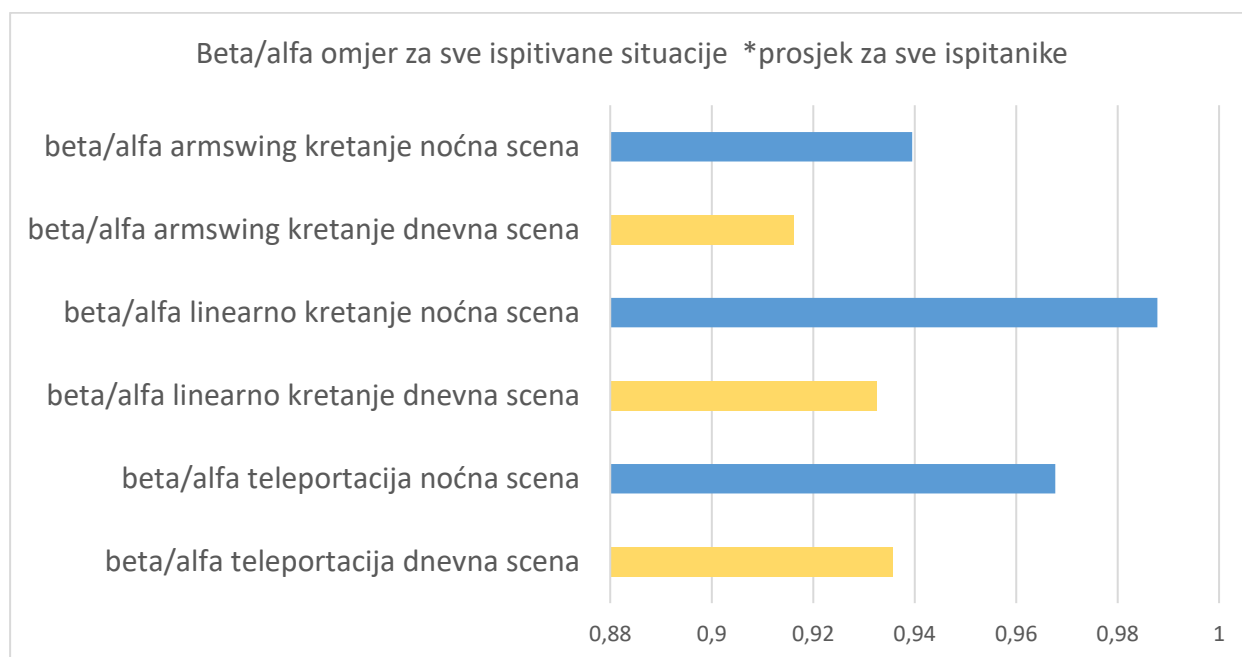


Slika 48: Spektralna analiza za armswing kretanje dnevna scena (za 1 ispitanika)



Slika 49: Spektralna analiza za armswing kretanje noćna scena (za 1 ispitanika)

Omjer beta/alfa valova (za sve ispitanike (N=10)) prikazan je na grafu 20, i na njemu se mogu jasnije uočiti razlike između testiranih scena u VR-u. Na grafu je vidljivo kako je omjer beta/alfa najveći kod linearnog kretanja u noćnoj sceni, zatim kod teleportacije u noćnoj sceni i u armswing noćnoj sceni. U svim dnevnim VR scenama je omjer beta/alfa manji nego u noćnim, što može ukazati da ispitanicima više odgovaraju bolje osvijetljene scene i ovaj rezultat je u skladu sa rezultatima dobivenim iz subjektivnog mjerenja anketom.



Graf 20: Beta/alfa omjer za sve ispitivane situacije

Pearsonov korelacijski test je izračunat između subjektivnih i objektivne varijable i rezultat testa pokazuje da je nađeno nekoliko statistički značajnih korelacija. Teleportacija noćna scena: mutan vid i prosjek alfa valova ($r=0,780$, $p=0,013$), teškoća fokusiranja objekata i prosjek beta valova ($r=0,671$, $p=0,048$). Mogući razlozi za ovakav broj nađenih korelacija je taj da su testirane scene testirane relativno kratko i da je potrebno dulje vrijeme eksponiranja različitim VR sadržaju. Također je utvrđena korelacija u testiranoj sceni teleportacija dnevna scena između varijable zamora očiju i glavobolje ($r=0,645$, $p=0,044$) i između varijabli glavobolja i znojenje ($r=0,968$, $p=0,000$). Kod testirane scene teleportacija noćna scena, utvrđene su korelacije između varijabli vrtoglavica i poriv na povraćanje ($r=0,667$, $p=0,035$) i vrtoglavica i umor u VR-u ($r=0,764$, $p=0,010$).

Kod testirane scene linearno kretanje danju, utvrđena je korelacija između varijabli znojenje i vrtoglavica ($r=0,725$, $p=0,018$) te varijabli mutan vid i vrtoglavica ($r=0,881$, $p=0,001$). Kod

testirane scene linearno kretanje noću, utvrđena je korelacija između varijabli vrtoglavica i glavobolja ($r=0,736$, $p=0,015$) te vrtoglavica i zamor očiju ($r=0,702$, $p=0,024$).

Kod testirane scene armswing kretanje danju, utvrđena je korelacija između varijabli znojenje i vrtoglavica ($r=0,732$, $p=0,016$) i varijabli znojenje i mučnina u želucu ($r=0,661$, $p=0,037$) i varijabli znojenje i poriv na povraćanje ($r=0,634$, $p=0,049$).

Kod testirane scene armswing kretanje noću, utvrđena je korelacija između varijabli poriv na povraćanje i mučnina u želucu ($r=0,989$, $p=0,000$). Također i negativna korelacija između varijabli mučnina u želucu i brzina kretanja mi odgovara ($r=-0,793$, $p=0,006$) što ukazuje na to da se mučnina u želucu smanjuje sa odgovarajućom brzinom kretanja. Varijable mučnina u želucu i ovaj način kretanja m odgovara ($r=-0,666$, $p=0,036$) pokazuju negativnu korelaciju, što ukazuje na to da se mučnina u želucu smanjuje sa odgovarajućim načinom kretanja, u ovom slučaju armswing kretanje u noćnoj varijanti. Isti zaključak vrijedi i za varijablu poriv na povraćanje i brzina kretanja mi odgovara ($r=-0,748$, $p=0,013$).

10. Zaključak

Ova doktorska disertacija tematski objedinjuje nekoliko različitih, a opet vezanih polja znanosti. Jedno polje je grafička tehnologija u smislu vizualnog oblikovanja sadržaja za virtualnu stvarnost, drugo je tehnički aspekt inženjerstva i programiranja za sustave virtualne stvarnosti a treće objedinjuje pitanje evaluacije korisničkog iskustva vezanog uz kibermučninu kroz subjektivne i objektivne metrike koje doprinose kvaliteti istraživanja. U okviru izrade ove doktorske disertacije provedena su ukupno tri istraživanja (1) istraživanje utjecaja 2D/3D medija na simptome kibermučnine, 2) utjecaj različitih brzina kretanja u VR-u na simptome kibermučnine, i 3) utjecaj različitih načina kretanja u VR-u u kombinaciji sa različitim osvjetljenjem scene na simptome kibermučnine. Metodološki pristup opisan je za svako istraživanje i dio je znanstvenog doprinosa ove disertacije.

Prvi znanstveni doprinos, metodologiji ispitivanja utjecaja načina kretanja u virtualnoj stvarnosti na mučninu i ukupno korisničko iskustvo uporabom objektivnih i subjektivnih metrika, je ostvaren kroz metodologiju ispitivanja u prvom i drugom provedenom istraživanju. U prvom istraživanju korištena anketa kao subjektivna metrika i EEG uređaj kao objektivna metrika. U drugom istraživanju je korištena anketa kao subjektivna metrika i Pip Biosenzor uređaj za mjerenje elektrodermalne aktivnosti kao objektivna metrika.

U provedenom istraživanju različitih brzina kretanja u virtualnoj stvarnosti kreiran je anketni upitnik koji je korišten (koji se temelji na Kennedyjevom upitniku iz 1993. godine), i utvrđeno je, među ostalim rezultatima, da su dominantni simptomi kod srednje i najbrže brzine vrtoglavica, mutan vid, teškoća fokusiranja objekata i znojenje. Izračunata korelacija između subjektivne i objektivne metrike je drugi ostvareni doprinos ove disertacije. Utvrđena je neutralna korelacija, što se može objasniti s malom razlikom između ponuđenih brzina kretanja. Međutim, pozitivna korelacija je nađena između nekih subjektivnih varijabli i varijabli kao što su dob, spol, frekvencija korištenja VR tehnologije i mučnina u prijevoznim sredstvima.

Upitnik iz testiranja različitih brzina kretanja je ponovno korišten i prilagođen u smislu dodatnih pitanja za istraživanje različitih načina kretanja, napravljena je statistička obrada podataka u smislu računanja statistički značajnih razlika i korelacija između objektivnih i subjektivnih metrika, što je drugi znanstveni doprinos ove disertacije, uspostavi korelacije između rezultata subjektivne i objektivne metode istraživanja kretanja u virtualnoj stvarnosti. U samom istraživanju su testirana 3 načina kretanja (teleportacija, linearno kretanje i *arm swing* kretanje)

s dvije varijante scene u smislu različitog osvjetljenja scene (dnevno i noćno osvjetljenje) u virtualnoj stvarnosti, što je ukupno činilo 6 varijanti koje su bile istraživane.

Statistička obrada rezultata napravljena je u statističkom programu SPSS, u kojem je izračunata statistički značajna razlika između testiranih varijabli, između subjektivnih varijabli i objektivne metrike korištenjem Friedmanovog testa, i post-hoc Wilcoxon testa ekvivalentnih parova za značajne varijable. Rezultati Friedmanovog i post-hoc Wilcoxon testa pokazuju preko nekoliko značajnih razlika između testiranih scena i promatranih varijabli. Sve tablice s opširnijim opisima rezultata nalaze se u poglavlju 7.2, a u ovom zaključku navedeni su najzanimljiviji i najznačajniji rezultati vezani uz načine kretanja i kibermučninu.

Varijabla vrtoglavica ispostavlja se u post-hoc Wilcoxon testu kao vrlo značajna, i može se uvidjeti kako je kod usporedbe teleportacije danju i linearnog kretanja danju, veća vrtoglavica kod linearnog kretanja danju, ali i kod linearnog kretanja noću, i kod *arm swing* kretanja u dnevnoj i noćnoj sceni (u usporedbi s teleportacijom danju). Ako bi postavili rang vrtoglavice od najmanje do najveće, prva bi bila teleportacija, zatim *arm swing* pa linearno kretanje. Znojenje se pokazalo izraženijim u noćnim scenama u odnosu na dnevne scene (možda je ljude strah mraka). Poredak situacija po razini znojenja od najmanje izraženog do najviše bio bi teleportacija, *arm swing* pa linearno kretanje. Varijabla mučnina u želucu bila je najizraženija kod linearnog kretanja u obje varijante osvjetljenja, čak s malom prevagom u dnevnoj situaciji, što bi značilo da ispitanicima više odgovara noćna scena linearnog kretanja. Što se tiče brzine kretanja, ispitanicima najviše odgovara teleportacija kao način kretanja (gdje je brzina u suštini koliko se brzo promijeni okolina oko osobe), zatim *arm swing* i na posljetku linearno kretanje. Sam način kretanja kod usporedbe teleportacije i linearnog kretanja za oba osvjetljenja pokazuje kako je ispitanicima najviše odgovarala teleportacija u dnevnoj varijanti, a linearno kretanje u noćnoj varijanti.

Kod usporedbe linearnog kretanja i *arm swing* kretanja za oba osvjetljenja pokazuje kako ispitanicima više odgovara *arm swing* kretanje. Prosječni puls bio je viši kod *arm swing* načina kretanja kod usporedbe teleportacije i *arm swing* tehnike, i to za oba slučaja osvjetljenja. To ima smisla jer se kod te tehnike kretanja lagano miču ruke i to može izazvati nešto veći puls. Najveći prosječni puls zabilježen je kod *arm swing* tehnike, zatim kod linearnog kretanja, i teleportacija na posljetku.

Također je izračunata Pearsonova korelacija između subjektivne (anketa) i objektivne (Polar H10 prsna traka) metrike koja nije pokazala statistički značajnu korelaciju između testiranih varijabli, dakle ispostavila se neutralna korelacija u ovom slučaju. To se može objasniti

slijedećim argumentima; testirane scene nisu bile dovoljno intenzivne da bi izazvale toliku razliku u izmjerenom pulsu da bi se ispostavila statistički značajna korelacija.

Također, testirana skupina ljudi koja je sudjelovala u istraživanju spada u mlađu/srednje staru skupinu ljudi (21-37 godina), koja je možda otpornija na stresove koji bi bili izazvani virtualnom stvarnošću. Zato je potrebno raditi kombinirana istraživanja s različitim dobnim skupinama. Tehnologija virtualne stvarnosti ima mogućnost prikaza različitih sadržaja, pa bi i sukladno tome, mjerenja provedena na drukčijim sadržajem imala i nešto drukčije rezultate (npr. različiti tipovi igara i iskustava, simulacije svemirskih letjelica, zen vrtovi ili tipovi igara u kojem sudjeluje više ljudi).

Predložena metoda, kao treći znanstveni doprinos za poboljšanje korisničkog iskustva je implementacija različitih načina kretanja u igre pripremljene za VR u kojima bi korisnik mogao samostalno odabrati kako se želi kretati, s obzirom da je linearno kretanje polučilo najlošiji rezultat kod ispitanika, i ima najveći utjecaj na kibermučninu. Također, korištenje svjetlijih scena tako da korisnik ima veću preglednost nad okolinom i veći osjećaj imerzije u sustavu. Iz provedenih istraživanja pokazalo se da način i brzina kretanja kao i razina osvijetljenosti scene imaju utjecaj na stupanj doživljaja kibermučnine.

Znanstveni doprinos istraživanja očituje se u:

- metodologiji ispitivanja utjecaja načina kretanja u virtualnoj stvarnosti na mučninu i ukupno korisničko iskustvo uporabom objektivnih i subjektivnih metrika,
- uspostavi korelacije između rezultata subjektivne i objektivne metode istraživanja kretanja u virtualnoj stvarnosti,
- predloženoj metodi smanjenja mučnine postavljanjem parametara oblikovanja scene u virtualnoj stvarnosti.

11. Literatura

- [1] M. E. McCauley and T. J. Sharkey, “Cybersickness : Perception of Self-Motion in Virtual Environments,” *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, vol. 1, no. 3, pp. 311–318, 1992.
- [2] J. J. LaViola, “A discussion of cybersickness in virtual environments,” *ACM SIGCHI Bull.*, vol. 32, no. 1, pp. 47–56, Jan. 2000, doi: 10.1145/333329.333344.
- [3] C.-T. Lin, S.-W. Chuang, Y.-C. Chen, L.-W. Ko, S.-F. Liang, and T.-P. Jung, “EEG Effects of Motion Sickness Induced in a Dynamic Virtual Reality Environment,” in *2007 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Aug. 2007, vol. 2007, no. 2, pp. 3872–3875, doi: 10.1109/IEMBS.2007.4353178.
- [4] S. Bruck and P. A. Watters, “Estimating Cybersickness of Simulated Motion Using the Simulator Sickness Questionnaire (SSQ): A Controlled Study,” in *2009 Sixth International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization*, Aug. 2009, pp. 486–488, doi: 10.1109/CGIV.2009.83.
- [5] M. Gallagher and E. R. Ferrè, “Cybersickness: a Multisensory Integration Perspective,” *Multisens. Res.*, vol. 31, no. 7, pp. 645–674, 2018, doi: 10.1163/22134808-20181293.
- [6] K. M. Stanney, R. S. Kennedy, and J. M. Drexler, “Cybersickness is Not Simulator Sickness,” *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet.*, vol. 41, no. 2, pp. 1138–1142, Oct. 1997, doi: 10.1177/107118139704100292.
- [7] L. Rebenitsch and C. Owen, “Individual Variation in Susceptibility to Cybersickness,” in *UIST '14 Proceedings of the 27th annual ACM symposium on User interface software and technology*, 2014, pp. 309–317, doi: 10.1145/2642918.2647394.
- [8] L. Rebenitsch and C. Owen, “Review on cybersickness in applications and visual displays,” *Virtual Real.*, vol. 20, no. 2, pp. 101–125, Jun. 2016, doi: 10.1007/s10055-016-0285-9.
- [9] Y. Y. Kim, H. J. Kim, E. N. Kim, H. D. Ko, and H. T. Kim, “Characteristic changes in the physiological components of cybersickness,” *Psychophysiology*, vol. 42, pp. 616–625, Aug. 2005, doi: 10.1111/j.1469-8986.2005.00349.x.
- [10] S. Davis, K. Nesbitt, and E. Nalivaiko, “A Systematic Review of Cybersickness,” in

- Proceedings of the 2014 Conference on Interactive Entertainment - IE2014*, 2014, vol. 19, pp. 1–9, doi: 10.1145/2677758.2677780.
- [11] L. Rebenitsch, “Managing cybersickness in virtual reality,” *XRDS Crossroads, ACM Mag. Students*, vol. 22, no. 1, pp. 46–51, Nov. 2015, doi: 10.1145/2810054.
 - [12] G. Kumparak, “A Brief History Of Oculus,” 2014.
<https://techcrunch.com/2014/03/26/a-brief-history-of-oculus/> (accessed Nov. 24, 2020).
 - [13] A. Perkis *et al.*, “QUALINET White Paper on Definitions of Immersive Media Experience (IMEx),” *Eur. Netw. Qual. Exp. Multimed. Syst. Serv. 14th QUALINET Meet. (online)*, May 25, 2020., p. 15, Jun. 2020, [Online]. Available:
<http://arxiv.org/abs/2007.07032>.
 - [14] Valve, “Steam,” 2003. <https://store.steampowered.com/> (accessed Jan. 18, 2021).
 - [15] G. C. Burdea and P. Coiffet, *Virtual Reality Technology*, 2nd ed. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2003.
 - [16] P. Fuchs, P. Guitton, and G. Moreau, *Virtual reality : concepts and technologies*. Boca Raton, Florida: CRC Press; Taylor & Francis Group, 2011.
 - [17] I. S. Pandžić, T. Pejša, K. Matković, H. Benko, A. Čereković, and M. Matijašević, *Virtualna okruženja: interaktivna 3D grafika i njene primjene*, 1st ed. Zagreb: Element, 2011.
 - [18] R. T. Azuma, “A Survey of Augmented Reality,” *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, vol. 6, no. 4, pp. 355–385, Aug. 1997, doi: 10.1162/pres.1997.6.4.355.
 - [19] P. Milgram and F. Kishino, “A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays,” *IEICE Trans. Inf. Syst.*, vol. E77-D, no. 12, 1994, [Online]. Available:
http://etclab.mie.utoronto.ca/people/paul_dir/IEICE94/ieice.html.
 - [20] H. Zhang, “Head-mounted display-based intuitive virtual reality training system for the mining industry,” *Int. J. Min. Sci. Technol.*, vol. 27, no. 4, pp. 717–722, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.ijmst.2017.05.005.
 - [21] A. Saeed, L. Foaud, and L. Fattouh, “Environments and System Types of Virtual Reality Technology in STEM: a Survey,” *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 8, no. 6, pp. 77–89, 2017, doi: 10.14569/IJACSA.2017.080610.

- [22] M. Heilig, "Stereoscopic-television apparatus for individual use," US2955156A, 1960.
- [23] "Morton Heilig - Sensorama," 1962. www.medienkunstnetz.de/works/sensorama/.
- [24] "Morton Heilig - Telesphere Mask," 1960. <https://time.graphics/es/event/265815>.
- [25] I. E. Sutherland, "A head-mounted three dimensional display," in *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I on - AFIPS '68 (Fall, part I)*, 1968, p. 757, doi: 10.1145/1476589.1476686.
- [26] "YT video 'Ivan Sutherland Virtual Reality in the 1960's,'" *Uploadaed by: Mobile Year Zero*.
https://www.youtube.com/watch?v=Hp7YgZAHLo&ab_channel=MobileYearZero.
- [27] "Ivan Sutherland - The Sword of Damocles," 1965. <https://aciiid.com/virtuality-genesis-evolution-of-virtual-and-augmented-realities/>.
- [28] M. Okechukwu and F. Udoka, "Understanding Virtual Reality Technology: Advances and Applications," in *Advances in Computer Science and Engineering*, no. November, InTech, 2011, pp. 28–29.
- [29] D. Barnard, "History of VR - Timeline of Events and Tech Development," 2019.
<https://virtualspeech.com/blog/history-of-vr> (accessed Sep. 15, 2020).
- [30] "Arkadni VR uređaji."
<https://www.theatlantic.com/entertainment/archive/2015/02/when-vr-was-an-arcade-game/385139/>.
- [31] C. Cruz-Neira, D. J. Sandin, T. A. DeFanti, R. V. Kenyon, and J. C. Hart, "The CAVE: audio visual experience automatic virtual environment," *Commun. ACM*, vol. 35, no. 6, pp. 64–72, Jun. 1992, doi: 10.1145/129888.129892.
- [32] J. Barrett, "Side effects of virtual environments: A review of the literature - report," Edinburgh South Australia 5111, Australia, 2004. [Online]. Available:
<http://dspace.dsto.defence.gov.au/dspace/bitstream/1947/4079/1/DSTO-TR-1419PR.pdf>.
- [33] R. Copetti, "Virtual Boy Architecture - A Practical Analysis," *web stranica*.
<https://www.copetti.org/writings/consoles/virtual-boy/>.
- [34] "The Power Glove." <https://www.bitfeed.co/page/the-5-worst-devices-for-console>.

- [35] “Virtual Boy.” <https://www.theverge.com/2016/2/2/10893266/nintendo-virtual-reality-vr-return>.
- [36] D. Gotz, “Virtual Vietnam: Virtual Reality Exposure Therapy for PTSD.” [http://gotz.web.unc.edu/research-project/virtual-vietnam-virtual-reality-exposure-therapy-for-ptsd/#:~:text=By creating a virtual environment,techniques in a virtual setting](http://gotz.web.unc.edu/research-project/virtual-vietnam-virtual-reality-exposure-therapy-for-ptsd/#:~:text=By creating a virtual environment,techniques in a virtual setting.). (accessed Nov. 24, 2020).
- [37] M. R. Macedonia and M. J. Zyda, “A taxonomy for networked virtual environments,” *IEEE Multimed.*, vol. 4, no. 1, pp. 48–56, 1997, doi: 10.1109/93.580395.
- [38] M. Zyda, “Why the VR You See Now Is Not the Real VR,” *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, vol. 25, no. 2, pp. 166–168, Nov. 2016, doi: 10.1162/PRES_a_00254.
- [39] “Oculus Rift DK1.” <https://venturebeat.com/2014/03/25/facebook-acquires-oculus-vr-for-2-billion/>.
- [40] J. Thang, “VR Headset Specs Compared: PSVR, HTC Vive, Oculus Rift, And More,” 2018. <https://www.gamespot.com/articles/vr-headset-specs-compared-psvr-htc-vive-oculus-rif/1100-6456697/> (accessed Sep. 12, 2018).
- [41] P. Dempsey, “The Teardown: HTC Vive virtual reality headset,” *Eng. Technol.*, vol. 11, no. 7, pp. 80–81, Aug. 2016, doi: 10.1049/et.2016.0731.
- [42] M. Ribo, A. Pinz, and A. L. Fuhrmann, “A new optical tracking system for virtual and augmented reality applications,” in *IMTC 2001. Proceedings of the 18th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. Rediscovering Measurement in the Age of Informatics (Cat. No.01CH 37188)*, 2001, vol. 3, pp. 1932–1936, doi: 10.1109/IMTC.2001.929537.
- [43] H. Brajčić and M. Šitum, “Virtual Reality in Medicine,” *RAD - Med. Sci.*, vol. 543, no. July, pp. 33–38, 2020.
- [44] H. Oyama and F. Wakao, “Evaluation of a virtual reality system for medicine,” in *Proceedings. International Conference on Virtual Systems and MultiMedia VSMM '97 (Cat. No.97TB100182)*, 1997, pp. 243–245, doi: 10.1109/VSMM.1997.622353.
- [45] C. Botella, R. M. Baños, C. Perpiñá, H. Villa, M. Alcañiz, and A. Rey, “Virtual reality treatment of claustrophobia: a case report,” *Behav. Res. Ther.*, vol. 36, no. 2, pp. 239–246, Feb. 1998, doi: 10.1016/S0005-7967(97)10006-7.

- [46] B. O. Rothbaum, L. F. Hodges, R. Kooper, D. Opdyke, J. S. Williford, and M. North, "Effectiveness of computer-generated (virtual reality) graded exposure in the treatment of acrophobia.," *Am. J. Psychiatry*, vol. 152, no. 4, pp. 626–8, Apr. 1995, doi: 10.1176/ajp.152.4.626.
- [47] S. Shunnaq and M. Raeder, "VirtualPhobia: A Model for Virtual Therapy of Phobias," in *2016 XVIII Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*, Jun. 2016, pp. 59–63, doi: 10.1109/SVR.2016.20.
- [48] A. J. Park, V. Spicer, M. Guterres, P. L. Brantingham, and G. Jenion, "Testing perception of crime in a virtual environment," *ISI 2010 - 2010 IEEE Int. Conf. Intell. Secur. Informatics Public Saf. Secur.*, pp. 7–12, 2010, doi: 10.1109/ISI.2010.5484785.
- [49] C. Craig, "Understanding perception and action in sport: how can virtual reality technology help?," *Sport. Technol.*, vol. 6, no. 4, pp. 161–169, Nov. 2013, doi: 10.1080/19346182.2013.855224.
- [50] A. Vovk, F. Wild, W. Guest, and T. Kuula, "Simulator Sickness in Augmented Reality Training Using the Microsoft HoloLens," in *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '18*, 2018, vol. 2018-April, pp. 1–9, doi: 10.1145/3173574.3173783.
- [51] M. L. Heilig, "EL Cine del Futuro: The Cinema of the Future," *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, vol. 1, no. 3, pp. 279–294, Jan. 1992, doi: 10.1162/pres.1992.1.3.279.
- [52] C. A. Guyton and E. J. Hall, *Medicinska fiziologija udžbenik*, 11th ed. Medicinska naklada, 2006.
- [53] VisualPathy, "How Virtual Reality Technology Control Human 5 Senses?," 2016. <https://medium.com/@visualpathy/how-virtual-reality-technology-control-human-5-senses-fd6f4cbf0f79> (accessed Jan. 11, 2020).
- [54] I. Ivanišić, "Oklo kao optički instrument - završni rad na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa J. Strossmayera u Osijeku," Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, 2015.
- [55] L. A. Remington, *Clinical Anatomy and Physiology of the Visual System*, Third edit. Butterworth-Heinemann, an imprint of Elsevier Inc., 2012.
- [56] H. Davson, "Human Eye - anatomy," *Encyclopædia Britannica*, 2020.

<https://www.britannica.com/science/human-eye> (accessed Dec. 16, 2020).

- [57] “Oko - građa i funkcija,” [Online]. Available: <http://www.msdprirucnici.placebo.hr/msd-za-pacijente/bolesti-ociju/oci-i-vid/gradja-i-funkcija>.
- [58] H. S. Kelly and K. M. Stanney, *Handbook of virtual environments: design, implementation, and applications*, 2. CRC Press; Taylor & Francis Group, 2015.
- [59] M. Judaš and I. Kostović, *Temelji neuroznanosti*. Zagreb: Medicinska dokumentacija, 1997.
- [60] M. H. Draper, “The Adaptive Effects Of Virtual Interfaces : Vestibulo-Ocular Reflex and Simulator Sickness (PhD thesis),” University of Washington, 1998.
- [61] R. S. Kennedy, J. Drexler, and R. C. Kennedy, “Research in visually induced motion sickness,” *Appl. Ergon.*, vol. 41, no. 4, pp. 494–503, Jul. 2010, doi: 10.1016/j.apergo.2009.11.006.
- [62] R. S. Kennedy, N. E. Lane, K. S. Berbaum, and M. G. Lilienthal, “Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness,” *Int. J. Aviat. Psychol.*, vol. 3, no. 3, pp. 203–220, 1993, doi: 10.1207/s15327108ijap0303.
- [63] V. Sevinc and M. I. Berkman, “Psychometric evaluation of Simulator Sickness Questionnaire and its variants as a measure of cybersickness in consumer virtual environments,” *Appl. Ergon.*, vol. 82, no. June 2019, p. 12, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.apergo.2019.102958.
- [64] J. F. Golding, “Motion sickness susceptibility questionnaire revised and its relationship to other forms of sickness,” *Brain Res. Bull.*, vol. 47, no. 5, pp. 507–516, Nov. 1998, doi: 10.1016/S0361-9230(98)00091-4.
- [65] J. F. Golding, “Predicting individual differences in motion sickness susceptibility by questionnaire,” *Pers. Individ. Dif.*, vol. 41, no. 2, pp. 237–248, Jul. 2006, doi: 10.1016/j.paid.2006.01.012.
- [66] B. Keshavarz and H. Hecht, “Validating an Efficient Method to Quantify Motion Sickness,” *Hum. Factors J. Hum. Factors Ergon. Soc.*, vol. 53, no. 4, pp. 415–426, Aug. 2011, doi: 10.1177/0018720811403736.
- [67] P. J. Gianaros, E. R. Muth, J. T. Mordkoff, M. E. Levine, and R. M. Stern, “A

- questionnaire for the assessment of the multiple dimensions of motion sickness,” *Aviat. Space. Environ. Med.*, vol. 72, no. 2, pp. 115–9, Feb. 2001, [Online]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11211039>.
- [68] S. L. Ames, J. S. Wolffsohn, and N. A. McBrien, “The Development of a Symptom Questionnaire for Assessing Virtual Reality Viewing Using a Head-Mounted Display,” *Optom. Vis. Sci.*, vol. 82, no. 3, pp. 168–176, 2005.
- [69] B. G. Witmer and M. J. Singer, “Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire,” *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, vol. 7, no. 3, pp. 225–240, Jun. 1998, doi: 10.1162/105474698565686.
- [70] M. Usoh, E. Catena, S. Arman, and M. Slater, “Using Presence Questionnaires in Reality,” *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, vol. 9, no. 5, pp. 497–503, Oct. 2000, doi: 10.1162/105474600566989.
- [71] C. Youngblut, “Experience of Presence in Virtual Environments - Report,” 2003.
- [72] R. S. Kennedy and L. H. Frank, “A Review of Motion Sickness with Special Reference to Simulator Sickness,” *Transp. Res. Rec.*, 1986, doi: 0309040531.
- [73] A. Tiirio, “Effect of Visual Realism on Cybersickness in Virtual Reality (Master’s Thesis),” University of Oulu, 2018.
- [74] J. T. Reason and J. J. Brand, *Motion Sickness*. London: Academic Press, 1975.
- [75] J. T. Reason, “Motion sickness adaptation: A neural mismatch model,” *J. R. Soc. Med.*, vol. 71, no. 11, pp. 819–829, 1978, doi: 10.1177/014107687807101109.
- [76] S. M. LaValle, *Virtual reality*. Cambridge University press, 2017.
- [77] S. Palmisano, R. S. Allison, M. M. Schira, and R. J. Barry, “Future challenges for vection research: definitions, functional significance, measures, and neural bases,” *Front. Psychol.*, vol. 6, no. FEB, pp. 1–15, Feb. 2015, doi: 10.3389/fpsyg.2015.00193.
- [78] J. Dichgans and T. Brandt, “Visual-Vestibular Interaction: Effects on Self-Motion Perception and Postural Control,” *Handb. Sens. Physiol.*, vol. 8, 1978.
- [79] F. Hammer, S. Egger-Lampl, and S. Möller, “Quality-of-user-experience: a position paper,” *Qual. User Exp.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–15, 2018, doi: 10.1007/s41233-018-0022-0.

- [80] P. Le Callet, S. Möller, and A. Perkis, “Definitions of Quality of Experience, European Network on Quality of Experience in Multimedia Systems and Services (COST Action IC 1003), version 1.2,” *Qualinet White Pap.*, no. March, 2012.
- [81] E. M. Kolasinski, “Simulator Sickness in Virtual Environments (Technical Report 1027 - US Army Research Institute),” 1995. [Online]. Available: <http://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.404501>.
- [82] ITU- T, “Influencing factors on quality of experience for virtual reality services ITU-T G.1035 RECOMMENDATION,” 2020. [Online]. Available: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.1035-202005-I!!PDF-E&type=items.
- [83] S. H. Bendiksen and L. Jørgensen, “Balancing the virtual reality experience: A study of human reactions with the Oculus Rift DK2,” Nord-Trøndelag University College, Norway, 2015.
- [84] J. Zhao, R. S. Allison, M. Vinnikov, and S. Jennings, “Estimating the motion-to-photon latency in head mounted displays,” in *2017 IEEE Virtual Reality (VR)*, 2017, pp. 313–314, doi: 10.1109/VR.2017.7892302.
- [85] M. Brion and F. Pumudu, “Early Prediction of Cybersickness in Virtual , Augmented & Mixed Reality Applications : A Review,” in *5th International Conference for Convergence in Technology (I2CT), 2019, At Pune, Maharashtra, India*, 2018, no. December, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/330853906_Early_Prediction_of_Cybersickness_in_Virtual_Augmented_Mixed_Reality_Applications_A_Review.
- [86] V. Bergovec, “Tehnike unapređenja kvalitete grafičkog prikaza u 3D računalnim igrama Tehnike unapređenja kvalitete grafičkog prikaza u 3D računalnim igrama,” Sveučilište Sjever, 2016.
- [87] C. C. Gordon, T. Churchill, C. E. Clauser, J. T. Mcconville, I. Tebbetts, and R. A. Walker, “2012 Anthropometric Survey of U.S Army Personnel: Methods and Summary Statistics,” 2012.
- [88] C. Curry, “Cybersickness in Virtual Reality: Examining the Influence of the Virtual Environments on Sex Susceptibility,” in *SIGGRAPH Asia 2019 Doctoral Consortium on - SA '19*, 2019, pp. 1–4, doi: 10.1145/3366344.3366628.

- [89] K. M. Stanney, R. R. Mourant, and R. S. Kennedy, "Human Factors Issues in Virtual Environments: A Review of the Literature," *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, vol. 7, no. 4, pp. 327–351, Aug. 1998, doi: 10.1162/105474698565767.
- [90] K. Nesbitt, S. Davis, K. Blackmore, and E. Nalivaiko, "Correlating reaction time and nausea measures with traditional measures of cybersickness," *Displays*, vol. 48, pp. 1–8, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.displa.2017.01.002.
- [91] A. Iskenderova, F. Weidner, and W. Broll, "Drunk Virtual Reality Gaming," in *Proceedings of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play - CHI PLAY '17*, 2017, pp. 561–572, doi: 10.1145/3116595.3116618.
- [92] S. V. G. Cobb, "Measurement of postural stability before and after immersion in a virtual environment," *Appl. Ergon.*, vol. 30, no. 1, pp. 47–57, Feb. 1999, doi: 10.1016/S0003-6870(98)00038-6.
- [93] M. S. Dennison and M. D’Zmura, "Cybersickness without the wobble: Experimental results speak against postural instability theory," *Appl. Ergon.*, vol. 58, pp. 215–223, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.apergo.2016.06.014.
- [94] R. A. Ruddle, "The effect of environment characteristics and user interaction on levels of virtual environment sickness," in *IEEE Virtual Reality 2004*, 2004, pp. 141–285, doi: 10.1109/VR.2004.1310067.
- [95] A. Sebok, E. Nystad, and S. Helgar, "Navigation in desktop virtual environments: an evaluation and recommendations for supporting usability," *Virtual Real.*, vol. 8, no. 1, pp. 26–40, Mar. 2004, doi: 10.1007/s10055-004-0133-1.
- [96] R. A. Ruddle, E. Volkova, and H. H. Bühlhoff, "Learning to walk in virtual reality," *ACM Trans. Appl. Percept.*, vol. 10, no. 2, pp. 1–17, May 2013, doi: 10.1145/2465780.2465785.
- [97] S. Vlahović, M. Sužnjević, and L. Skorin-Kapov, "Subjective Assessment of Different Locomotion Techniques in Virtual Reality Environments," in *2018 Tenth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*, 2018, no. c, pp. 1–3.
- [98] U. Engelke *et al.*, "Psychophysiology-Based QoE Assessment: A Survey," *IEEE J. Sel. Top. Signal Process.*, vol. 11, no. 1, pp. 6–21, 2017, doi: 10.1109/JSTSP.2016.2609843.

- [99] W. F. Bischof and P. Boulanger, "Spatial Navigation in Virtual Reality Environments: An EEG Analysis," *CyberPsychology Behav.*, vol. 6, no. 5, pp. 487–495, Oct. 2003, doi: 10.1089/109493103769710514.
- [100] A. Drachen, L. E. Nacke, G. Yannakakis, and A. L. Pedersen, "Correlation between heart rate, electrodermal activity and player experience in first-person shooter games," in *Proceedings of the 5th ACM SIGGRAPH Symposium on Video Games - Sandbox '10*, May 2010, vol. 475, no. 3, pp. 49–54, doi: 10.1145/1836135.1836143.
- [101] M. Clemente, A. Rodríguez, B. Rey, and M. Alcañiz, "Assessment of the influence of navigation control and screen size on the sense of presence in virtual reality using EEG," *Expert Syst. Appl.*, vol. 41, no. 4 PART 2, pp. 1584–1592, 2014, doi: 10.1016/j.eswa.2013.08.055.
- [102] B. Keshavarz, J. L. Campos, and S. Berti, "Vection lies in the brain of the beholder: EEG parameters as an objective measurement of vection," *Front. Psychol.*, vol. 6, no. OCT, pp. 1–4, 2015, doi: 10.3389/fpsyg.2015.01581.
- [103] D. Egan, S. Brennan, J. Barrett, Y. Qiao, C. Timmerer, and N. Murray, "An evaluation of Heart Rate and ElectroDermal Activity as an objective QoE evaluation method for immersive virtual reality environments," in *2016 Eighth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*, Jun. 2016, no. June, pp. 1–6, doi: 10.1109/QoMEX.2016.7498964.
- [104] M. S. Dennison, A. Z. Wisti, and M. D’Zmura, "Use of physiological signals to predict cybersickness," *Displays*, vol. 44, pp. 42–52, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.displa.2016.07.002.
- [105] S. M. Abdelfattah, K. E. Merrick, and H. A. Abbass, "Theta-Beta Ratios are prominent EEG features for visual tracking tasks," *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc.*, pp. 21–25, 2016, doi: 10.1177/1541931213601005.
- [106] R. Liu, E. Peli, and A. D. Hwang, "Measuring visually induced motion sickness using wearable devices," *Electron. Imaging*, vol. 2017, no. 14, pp. 218–223, Jan. 2017, doi: 10.2352/ISSN.2470-1173.2017.14.HVEI-147.
- [107] A. Mazloumi Gavgani, D. M. Hodgson, and E. Nalivaiko, "Effects of visual flow direction on signs and symptoms of cybersickness," *PLoS One*, vol. 12, no. 8, 2017, doi: 10.1371/journal.pone.0182790.

- [108] E. Marchiori, E. Niforatos, and L. Preto, “Analysis of users’ heart rate data and self-reported perceptions to understand effective virtual reality characteristics,” *Inf. Technol. Tour.*, vol. 18, no. 1–4, pp. 133–155, 2018, doi: 10.1007/s40558-018-0104-0.
- [109] J. Guna, G. Geršak, I. Humar, J. Song, J. Drnovšek, and M. Pogačnik, “Influence of video content type on users’ virtual reality sickness perception and physiological response,” *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 91, no. September, pp. 263–276, 2019, doi: 10.1016/j.future.2018.08.049.
- [110] T. Y. Wen and S. A. M. Aris, “Electroencephalogram (EEG) stress analysis on alpha/beta ratio and theta/beta ratio,” *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 17, no. 1, pp. 175–182, 2020, doi: 10.11591/ijeecs.v17.i1.pp175-182.
- [111] M. X. Cohen, “Where Does EEG Come From and What Does It Mean?,” *Trends Neurosci.*, vol. 40, no. 4, pp. 208–218, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.tins.2017.02.004.
- [112] T. Dalglish *et al.*, *Introduction to Quantitative EEG and Neurofeedback*, Second., no. 1. Elsevier, 2009.
- [113] S. Noachtar, C. Binnie, J. Ebersole, F. Mauguière, A. Sakamoto, and B. Westmoreland, “A glossary of terms most commonly used by clinical electroencephalographers and proposal for the report form for the EEG findings,” *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. Suppl.*, vol. 52, pp. 21–41, 1999.
- [114] M. Amoroso, “Types of Brain Waves,” *Am. J. EEG Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 31–35, Jun. 1965, doi: 10.1080/00029238.1965.11080645.
- [115] The University of Queensland, “Lobes of the brain,” 2018.
<https://qbi.uq.edu.au/brain/brain-anatomy/lobes-brain> (accessed Jul. 23, 2020).
- [116] R. Ramirez and Z. Vamvakousis, “Detecting Emotion from EEG Signals Using the Emotive Epoc Device,” vol. 7670, no. 7670, F. M. Zanzotto, S. Tsumoto, N. Taatgen, and Y. Yao, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 175–184.
- [117] A. J. Russell, “A Circumplex Model of Affect,” *J. Pers. Soc. Psychol.*, vol. 39, no. 6, pp. 1161–1178, 1980.
- [118] S. Weech, S. Kenny, and M. Barnett-Cowan, “Presence and Cybersickness in Virtual Reality Are Negatively Related: A Review,” *Front. Psychol.*, vol. 10, no. FEB, pp. 1–19, Feb. 2019, doi: 10.3389/fpsyg.2019.00158.

- [119] M. Malińska, K. Zużewicz, J. Bugajska, and A. Grabowski, “Heart rate variability (HRV) during virtual reality immersion,” *Int. J. Occup. Saf. Ergon.*, vol. 21, no. 1, pp. 47–54, Jan. 2015, doi: 10.1080/10803548.2015.1017964.
- [120] M. MacGill, “What should my heart rate be?,” 2017.
<https://www.medicalnewstoday.com/articles/235710> (accessed Dec. 15, 2020).
- [121] F. Shaffer and J. P. Ginsberg, “An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms,” *Front. Public Heal.*, vol. 5, no. September, pp. 1–17, 2017, doi: 10.3389/fpubh.2017.00258.
- [122] J. Moore, “What is Heart Rate Variability? | The Definitive Guide to HRV,” 2020.
<https://elitehrv.com/what-is-heart-rate-variability> (accessed Sep. 08, 2020).
- [123] H.-M. Wang and S.-C. Huang, “SDNN/RMSSD as a Surrogate for LF/HF: A Revised Investigation,” *Model. Simul. Eng.*, vol. 2012, pp. 1–8, 2012, doi: 10.1155/2012/931943.
- [124] S. Rangelova, D. Decker, M. Eckel, and E. Andre, “Simulation Sickness Evaluation While Using a Fully Autonomous Car in a Head Mounted Display Virtual Environment,” in *10th International Conference, VAMR 2018, Held as Part of HCI International 2018, Las Vegas, NV, USA, July 15-20*, vol. 10909, Springer International Publishing, 2018, pp. 155–167.
- [125] A. Agić and L. Mandić, “Evaluation of cybersickness in virtual reality in driving simulator,” *Acta Graph. J. Print. Sci. Graph. Commun.*, vol. 30, no. 2, pp. 11–16, May 2021, doi: 10.25027/agj2017.28.v30i2.210.
- [126] T. Hirzle, M. Cordts, E. Rukzio, J. Gugenheimer, and A. Bulling, “A Critical Assessment of the Use of SSQ as a Measure of General Discomfort in VR Head-Mounted Displays,” in *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, May 2021, pp. 1–14, doi: 10.1145/3411764.3445361.
- [127] K. Carnegie, “Mitigating Visual Discomfort on Head Mounted Displays using Estimated Gaze Dependent Depth of Field, Master Thesis,” Victoria University of Wellington, 2015.
- [128] A. L. Guerra, T. Gidel, and E. Vezzetti, “Toward a common procedure using likert and likert-type scales in small groups comparative design observations,” in *Proceedings of*

International Design Conference, DESIGN 2016, 2016, pp. 23–32.

- [129] J. S. Uebersax, “Likert Scales: Dispelling the Confusion,” *web stranica*, 2006.
<http://www.john-uebersax.com/stat/likert.htm>.
- [130] Muse, “Absolute Band Powers.”
https://web.archive.org/web/20181105231756/http://developer.choosemuse.com/tools/available-data#Absolute_Band_Powers (accessed Sep. 15, 2020).
- [131] A. Riera *et al.*, “Electro-physiological data fusion for stress detection,” in *Studies in health technology and informatics*, 2012, vol. 10, no. September, pp. 228–232.
- [132] S.-H. Seo and J.-T. Lee, “Stress and EEG,” in *Convergence and Hybrid Information Technologies*, no. March, InTech, 2010.
- [133] D. Plass-Oude Bos, “EEG-based Emotion Recognition,” *Influ. Vis. Audit. Stimuli*, 2006.
- [134] F. Steinicke, Y. Visell, J. Campos, and A. Lécuyer, *Human Walking in Virtual Environments*. New York, NY: Springer New York, 2013.
- [135] R. H. Y. So, W. T. Lo, and A. T. K. Ho, “Effects of Navigation Speed on Motion Sickness Caused by an Immersive Virtual Environment,” *Hum. Factors J. Hum. Factors Ergon. Soc.*, vol. 43, no. 3, pp. 452–461, Sep. 2001, doi: 10.1518/001872001775898223.
- [136] R. H. Y. So, A. Ho, and W. T. Lo, “A Metric to Quantify Virtual Scene Movement for the Study of Cybersickness: Definition, Implementation, and Verification,” *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, vol. 10, no. 2, pp. 193–215, Apr. 2001, doi: 10.1162/105474601750216803.
- [137] K. K. K. Kwok, A. K. T. Ng, and H. Y. K. Lau, “Effect of Navigation Speed and VR Devices on Cybersickness,” in *2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, Oct. 2018, pp. 91–92, doi: 10.1109/ISMAR-Adjunct.2018.00041.
- [138] O. X. Kuiper, J. E. Bos, and C. Diels, “Vection does not necessitate visually induced motion sickness,” *Displays*, vol. 58, no. October, pp. 82–87, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.displa.2018.10.001.

- [139] A. Agić, E. Murseli, L. Mandić, and L. Skorin-Kapov, "The impact of different navigation speeds on cybersickness and stress level in VR," *J. Graph. Eng. Des.*, vol. 11, no. 1, pp. 5–11, 2020, doi: 10.24867/JGED-2020-1-005.
- [140] M. Karamnejad, A. Choo, D. Gromala, C. Shaw, and J. Mamisao, "Immersive virtual reality and affective computing for gaming, fear and anxiety management," in *ACM SIGGRAPH 2013 Posters on - SIGGRAPH '13*, 2013, p. 1, doi: 10.1145/2503385.2503466.
- [141] F. Biocca, "Will Simulation Sickness Slow Down the Diffusion of Virtual Environment Technology?," *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, vol. 1, no. 3, pp. 334–343, 1992, doi: 10.1162/pres.1992.1.3.334.
- [142] K. M. Stanney, K. S. Hale, I. Nahmens, and R. S. Kennedy, "What to Expect from Immersive Virtual Environment Exposure: Influences of Gender, Body Mass Index, and Past Experience," *Hum. Factors J. Hum. Factors Ergon. Soc.*, vol. 45, no. 3, pp. 504–520, Sep. 2003, doi: 10.1518/hfes.45.3.504.27254.
- [143] C. Boletsis, "The New Era of Virtual Reality Locomotion: A Systematic Literature Review of Techniques and a Proposed Typology," *Multimodal Technol. Interact.*, vol. 1, no. 4, p. 24, Sep. 2017, doi: 10.3390/mti1040024.
- [144] K. Carbotte, "Do the Locomotion: The 19 Ways You Walk and Run in VR Games." <https://www.tomshardware.com/picturestory/807-virtual-reality-games-locomotion-methods.html#s7> (accessed Feb. 26, 2019).
- [145] T. C. Peck, M. C. Whitton, and H. Fuchs, "Evaluation of reorientation techniques for walking in large virtual environments," *Proc. - IEEE Virtual Real.*, pp. 121–127, 2008, doi: 10.1109/VR.2008.4480761.
- [146] Epic games, "Unreal Engine." <https://www.unrealengine.com/en-US/> (accessed Dec. 15, 2020).
- [147] D. Vergara, M. Rubio, and M. Lorenzo, "On the Design of Virtual Reality Learning Environments in Engineering," *Multimodal Technol. Interact.*, vol. 1, no. 2, p. 11, Jun. 2017, doi: 10.3390/mti1020011.
- [148] K. Carnegie and T. Rhee, "Reducing Visual Discomfort with HMDs Using Dynamic Depth of Field," *IEEE Comput. Graph. Appl.*, vol. 35, no. 5, pp. 34–41, Sep. 2015, doi:

10.1109/MCG.2015.98.

- [149] B. Winslow, “Design Guidelines for Preventing VR Sickness,” 2017.
<https://www.slideshare.net/AugmentedWorldExpo/dr-brent-winslow-design-interactive-design-guidelines-for-preventing-vr-sickness> (accessed Feb. 04, 2021).
- [150] T. Wallis, “The Importance of Lighting in Creating Immersive VR,” in *VRX Europe 2017 Conference & Expo*, 2017, pp. 1–20, [Online]. Available: www.vr-intelligence.com/europe.
- [151] S. Sharples, S. Cobb, A. Moody, and J. R. Wilson, “Virtual reality induced symptoms and effects (VRISE): Comparison of head mounted display (HMD), desktop and projection display systems,” *Displays*, vol. 29, no. 2, pp. 58–69, Mar. 2008, doi: 10.1016/j.displa.2007.09.005.
- [152] P. Mealy, *Virtual & Augmented Reality For Dummies®*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2018.
- [153] L. B. Jones, “Virtual Reality 101: Understanding the Types of Lighting,” 2018.
<https://www.developer.com/tech/virtual-reality-101-understanding-the-types-of-lighting.html#:~:text=Directional Lighting in Virtual Reality,or a flashlight would shine.> (accessed Jan. 21, 2021).
- [154] Unity, “Unity - vrste osvjetljenja,” [Online]. Available: <https://docs.unity3d.com/Manual/Lighting.html>.
- [155] “ID-Guardian Software.” <https://id-guardian.co/> (accessed Dec. 15, 2020).
- [156] M. Marusteri and V. Bacarea, “Comparing groups for statistical differences: how to choose the right statistical test?,” *Biochem. Medica*, vol. 20, no. 1, pp. 15–32, 2010, doi: 10.11613/BM.2010.004.
- [157] A. Aron, E. Coups, J. and E. Aron, N, *Statistics for Psychologists*, 6th editio. Psychology Press, 2013.
- [158] R. B. Kline, *PRINCIPLES AND PRACTICE OF STRUCTURAL EQUATION MODELING*, Second edi. New York, NY: The Guildford Press, 2005.
- [159] A. M. Gavgani, K. V. Nesbitt, K. L. Blackmore, and E. Nalivaiko, “Profiling subjective symptoms and autonomic changes associated with cybersickness,” *Auton. Neurosci.*,

- vol. 203, pp. 41–50, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.autneu.2016.12.004.
- [160] Cabañero, Hervás, González, Fontecha, Mondéjar, and Bravo, “Analysis of Cognitive Load Using EEG when Interacting with Mobile Devices,” *Proceedings*, vol. 31, no. 1, p. 70, 2019, doi: 10.3390/proceedings2019031070.
- [161] P. Antonenko, F. Paas, R. Grabner, and T. van Gog, “Using Electroencephalography to Measure Cognitive Load,” *Educ. Psychol. Rev.*, vol. 22, no. 4, pp. 425–438, 2010, doi: 10.1007/s10648-010-9130-y.
- [162] E. Başar, C. Başar-Eroglu, S. Karakaş, and M. Schürmann, “Gamma, alpha, delta, and theta oscillations govern cognitive processes,” *Int. J. Psychophysiol.*, vol. 39, no. 2–3, pp. 241–248, 2001, doi: 10.1016/S0167-8760(00)00145-8.
- [163] G. Pfurtscheller, C. Neuper, and W. Mohl, “Event-related desynchronization (ERD) during visual processing,” *Int. J. Psychophysiol.*, vol. 16, no. 2–3, pp. 147–153, 1994, doi: 10.1016/0167-8760(89)90041-X.
- [164] J. A. Blanco *et al.*, “Quantifying Cognitive Workload in Simulated Flight Using Passive, Dry EEG Measurements,” *IEEE Trans. Cogn. Dev. Syst.*, vol. 10, no. 2, pp. 373–383, Jun. 2018, doi: 10.1109/TCDS.2016.2628702.
- [165] M. X. Cohen, *Analyzing Neural Times Series Data*. Massachusetts Institute of Technology, 2014.
- [166] S. Talebi, “Independent Component Analysis (ICA),” 2021.
<https://towardsdatascience.com/independent-component-analysis-ica-a3eba0ccec35>.

Prilog 1. Popis slika:

Slika 1: Shematski prikaz istraživanja, metodologije, zaključaka i doprinosa	4
Slika 2: Miješana stvarnost [19].....	7
Slika 3: „i3“ komponente virtualne stvarnosti [15].....	7
Slika 4: Sensorama – Morton Heilig [23]	8
Slika 5: Telesphere mask [24].....	8
Slika 6: Ivan Sutherland „The sword of Damocles“ [27].....	9
Slika 7: Arkadni VR uređaji [30]	10
Slika 8: Nintendo „The Power Glove“ [34]	10
Slika 9: Nintendo „Virtual boy“ [35]	10
Slika 10: Virtualni Vijetnam [36].....	11
Slika 11: Oculus Rift DK1 [39].....	12
Slika 12: Rastavljeni HTC Vive uređaj [41]	16
Slika 13: Dijelovi oka [57]	19
Slika 14: 3D objekt u stvarnosti i u virtualnom okruženju	19
Slika 15: Širina vidnog polja kod čovjeka	20
Slika 16: Vestibularni dio uha.....	21
Slika 17: Faktori koji utječu na iskustvenu kvalitetu u VR-u (izvor: [82]).....	28
Slika 18: Primjeri različitih rezolucija	28
Slika 19: Kidanje slike [76].....	29
Slika 20: Podjela mozga.....	40
Slika 21: Frekvencije moždanih valova	41
Slika 22: Puls i RR interval	43
Slika 23: Oprema a) HTC Vive, b) Muse EEG c) Steam kontroler	45
Slika 24: Primjer scene vožnje (Project Cars).....	46
Slika 25: Hodogram/metodološki prikaz testiranja kibermučnine u 2D i VR uvjetima	47
Slika 26: Scena iz Talos Principle VR igre	56
Slika 27: Pip Biosensor	56
Slika 28: Postav eksperimenta sa opremom.....	57
Slika 29: Hodogram/metodološki prikaz testiranja različitih brzina kretanja u virtualnom okruženju.....	58
Slika 30: Tipologija kretanja kroz prostor virtualne stvarnosti [128]	67

Slika 31: HTC Vive kontroleri i opis gumba (tipki)	68
Slika 32: Prikazi načina kretanja: teleportacija, linearno kretanje i arm swing tehnika kretanja	69
Slika 33: Vrste osvjetljenja: 1. spot osvjetljenje, 2. točkasto osvjetljenje, 3. usmjereno osvjetljenje, 4. prostorno osvjetljenje [154]	73
Slika 34: Dnevna scena, ptičja perspektiva	75
Slika 35: Dnevna scena, perspektiva ispitanika	75
Slika 36: Noćna scena, ptičja perspektiva	76
Slika 37: Noćna scena, perspektiva ispitanika	76
Slika 38: Hodogram istraživanja različitih načina kretanja u virtualnoj stvarnosti	80
Slika 39: Okruženje prilikom provedbe eksperimenta	81
Slika 40: Oprema korištena u istraživanju a) HTC Vive, b) Muse EEG c) Polar H10 prsna traka	82
Slika 41: Krug emocija [108]	120
Slika 42: Krug emocija za ispitanike za sve scene	122
Slika 43: Proces obrade EEG signala	123
Slika 44: Spektralna analiza za teleportaciju dnevna scena	124
Slika 45: Spektralna analiza za teleportaciju noćna scena	124
Slika 46: Spektralna analiza za linearno kretanje dnevna scena	125
Slika 47: Spektralna analiza za linearno kretanje noćna scena	125
Slika 48: Spektralna analiza za armswing kretanje dnevna scena	126
Slika 49: Spektralna analiza za armswing kretanje noćna scena	126

Prilog 2. Popis tablica:

Tablica 1. Uređaji za virtualnu, proširenu i miješanu stvarnost.....	13
Tablica 2: Teorije o kibermučnini (sadržaj tablice preuzet iz [8]).....	25
Tablica 3: Faktori čovjeka koji utječu na kibermučninu (preuzeto iz [72]).....	31
Tablica 4: Pregled radova koji istražuju fiziološke promjene kod korisnika prilikom korištenja VR-a	35
Tablica 5: Rezultati Wilcoxonovog testa ekvivalentnih parova.....	52
Tablica 6: Statistička razlika između varijabli iz upitnika za sve 3 brzine	61
Tablica 7: PIP Biosensor statistička razlika za sva mjerena stanja	61
Tablica 8: Korelacije između varijabli za sve 3 brzine	62
Tablica 9: Korelacije između najugodnije i najmanje ugodne brzine kretanja u odnosu na varijable	63
Tablica 10: Korištene boje za dnevnu i noćnu scenu	74
Tablica 11: Upitnik sa pitanjima korištenim u eksperimentu	77
Tablica 12: Friedmanov test: statistička značajnost razlike na svim varijablama između 6 situacija različite svjetline i načina kretanja u VR-u (N=29)	84
Tablica 13: post-hoc Wilcoxon test za varijablu: vrtoglavica.....	85
Tablica 14: post-hoc Wilcoxon test za varijablu: teškoća fokusiranja objekata	86
Tablica 15: post-hoc Wilcoxon test za varijablu: znojenje	87
Tablica 16: post-hoc Wilcoxon test za varijablu: mučnina u želucu.....	88
Tablica 17: post-hoc Wilcoxon test za varijablu: poriv na povraćanje	89
Tablica 18: post-hoc Wilcoxon test za varijablu: zamor očiju.....	90
Tablica 19: post-hoc Wilcoxon test za varijablu: umor u VR-u	91
Tablica 20: post-hoc Wilcoxon test za varijablu: brzina kretanja mi odgovara.....	92
Tablica 21: post-hoc Wilcoxon test za varijablu: ovaj način kretanja mi odgovara	93
Tablica 22: post-hoc Wilcoxon test za varijablu: prosječni HR.....	94
Tablica 23: Značajnost razlike između muškaraca (N=14) i žena (N=15) na svim varijablama u VR situaciji Teleportacija dnevna scena	95
Tablica 24: Značajnost razlike između muškaraca (N=14) i žena (N=15) na svim varijablama u VR situaciji Teleportacija noćna scena	96
Tablica 25: Značajnost razlike između muškaraca (N=14) i žena (N=15) na svim varijablama u VR situaciji Linearno kretanje dnevna scena.....	97
Tablica 26: Značajnost razlike između muškaraca (N=14) i žena (N=15) na svim varijablama u VR situaciji Linearno kretanje noćna scena	98

Tablica 27: Značajnost razlike između muškaraca (N=14) i žena (N=15) na svim varijablama u VR situaciji Arm swing dnevna scena	99
Tablica 28: Značajnost razlike između muškaraca (N=14) i žena (N=15) na svim varijablama u VR situaciji Arm swing noćna scena	100
Tablica 29: Značajnost razlike između skupine osoba kojima je mučno (N=9) i skupine osoba kojima nije mučno u prijevoznim sredstvima (N=20) na svim varijablama u VR situaciji Teleportacija dnevna scena	101
Tablica 30: Značajnost razlike između skupine osoba kojima je mučno (N=9) i skupine osoba kojima nije mučno u prijevoznim sredstvima (N=20) na svim varijablama u VR situaciji Teleportacija noćna scena	102
Tablica 31: Značajnost razlike između skupine osoba kojima je mučno (N=9) i skupine osoba kojima nije mučno u prijevoznim sredstvima (N=20) na svim varijablama u VR situaciji Linearno kretanje dnevna scena	103
Tablica 32: Značajnost razlike između skupine osoba kojima je mučno (N=9) i skupine osoba kojima nije mučno u prijevoznim sredstvima (N=20) na svim varijablama u VR situaciji Linearno kretanje noćna scena	104
Tablica 33: Značajnost razlike između skupine osoba kojima je mučno (N=9) i skupine osoba kojima nije mučno u prijevoznim sredstvima (N=20) na svim varijablama u VR situaciji Arm swing dnevna scena.....	105
Tablica 34: Značajnost razlike između skupine osoba kojima je mučno (N=9) i skupine osoba kojima nije mučno u prijevoznim sredstvima (N=20) na svim varijablama u VR situaciji Arm swing noćna scena.....	106
Tablica 35: Značajnost razlike između skupine osoba koje nose leće ili naočale (N=8) i skupine osoba ne nose leće niti naočale (N=21) na svim varijablama u VR situaciji Teleportacija dnevna scena	107
Tablica 36: Značajnost razlike između skupine osoba koje nose leće ili naočale (N=8) i skupine osoba ne nose leće niti naočale (N=21) na svim varijablama u VR situaciji Teleportacija noćna scena	108
Tablica 37: Značajnost razlike između skupine osoba koje nose leće ili naočale (N=8) i skupine osoba ne nose leće niti naočale (N=21) na svim varijablama u VR situaciji Linearno kretanje dnevna scena.....	109
Tablica 38: Značajnost razlike između skupine osoba koje nose leće ili naočale (N=8) i skupine osoba ne nose leće niti naočale (N=21) na svim varijablama u VR situaciji Linearno kretanje noćna scena.....	110
Tablica 39: Značajnost razlike između skupine osoba koje nose leće ili naočale (N=8) i skupine osoba ne nose leće niti naočale (N=21) na svim varijablama u VR situaciji arm swing dnevna scena	111
Tablica 40: Značajnost razlike između skupine osoba koje nose leće ili naočale (N=8) i skupine osoba ne nose leće niti naočale (N=21) na svim varijablama u VR situaciji arm swing noćna scena	112
Tablica 41: Prosječne vrijednosti pulsa za sve scene.....	115

Prilog 3. Popis akronima (i prijevod sa engleskog) korištenih u ovom radu

VR – engl. *virtual reality* – virtualna stvarnost

VE – engl. *virtual environment* – virtualno okruženje

AR – engl. *augmented reality* – proširena stvarnost

HMD – engl. *head mounted display* – uređaj za virtualnu stvarnost

HTC – uređaj za virtualnu stvarnost HTC Vive

3D – trodimenzionalno

2D – dvodimenzionalno

FoV – engl. *field of view* – širina vidnog polja

DoF – engl. *depth of field* – dubinska oštrina

IPD – engl. *inter pupillary distance* – razmak između očiju

LCD – engl. *liquid crystal display* – vrsta zaslona

LED – engl. *light emitting diode* – vrsta zaslona

OLED – engl. *organic light emitting diode* – vrsta zaslona

AMOLED – engl. *active matrix OLED* – vrsta zaslona

SSQ – engl. *sickness simulator questionnaire* – upitnik za istraživanje mučnine

MS – engl. *motion sickness* – nema prijevoda na hrvatski – bolest putovanja

Cybersickness – (nema službenog prijevoda na hrvatski) – mučnina u virtualnom prostoru, kibermučnina

UX – engl. *user experience* – korisničko iskustvo

QoE – engl. *quality of user experience* – kvaliteta iskustva

Blueprint – shematski plan(ovi) – koriste se u Unreal Engine 4 aplikaciji

HR – engl. *heart rate* - puls

IBI - engl. *inter beat interval* – vremenski razmak između 2 otkucaja srca

Prilog 4. Anketa korištena u preliminarnom istraživanju

Hvala vam što sudjelujete u ovom istraživanju.

Podaci koje dajete u svrhe istraživanja su anonimni i koriste se isključivo u svrhu istraživanja za ovu disertaciju.

Odgovori su od 1 -5 gdje je 1 – uopće se ne slažem 2 – djelomično se ne slažem 3 – niti se slažem niti se ne slažem 4 – djelomično se slažem 5 – u potpunosti se slažem

Dob: _____ Spol: M Ž

Naočale/leće Da Ne

Prijašnje iskustvo sa VR tehnologijom: Da Ne

Mučnina u prijevoznim sredstvima: Da Ne

Pitanja za vožnju u 2D i VR uvjetima:

1. Osjećate li vrtoglavicu?	1	2	3	4	5
2. Je li vam mutan vid?	1	2	3	4	5
3. Osjećate li teškoću fokusiranja objekata?	1	2	3	4	5
4. Osjećate li glavobolju?	1	2	3	4	5
5. Znojite li se?	1	2	3	4	5
6. Osjećate li mučninu u želucu?	1	2	3	4	5
7. Osjećate li poriv na povraćanje?	1	2	3	4	5
8. Osjećate li zamor očiju?	1	2	3	4	5

Prilog 5. Anketa korištena u istraživanju različitih brzina kretanja

Hvala vam što sudjelujete u ovom istraživanju.

Podaci koje dajete u svrhe istraživanja su anonimni i koriste se isključivo u svrhu istraživanja za ovu disertaciju.

Odgovori su od 1 -5 gdje je 1 – uopće se ne slažem 2 – djelomično se ne slažem 3 – niti se slažem niti se ne slažem 4 – djelomično se slažem 5 – u potpunosti se slažem

Dob: _____ Spol: M Ž

Naočale/leće Da Ne

Prijašnje iskustvo sa VR tehnologijom: Nemam iskustva Nekoliko puta godišnje

Nekoliko puta mjesečno Nekoliko puta tjedno Prosječno jednom dnevno

Mučnina u prijevoznim sredstvima: Da Ne

Mučnina u prijevoznim sredstvima kao djeca? Da Ne

Pitanja za sve 3 brzine kretanja u VR-u („sporo“, „srednje“, i „brzo“):

1. Osjećate li vrtoglavicu? 1 2 3 4 5
2. Jeli vam mutan vid? 1 2 3 4 5
3. Osjećate li teškoću prilikom fokusiranja objekata? 1 2 3 4 5
4. Osjećate li glavobolju? 1 2 3 4 5
5. Osjećate li da se znojite? 1 2 3 4 5
6. Osjećate li mučninu u želucu? 1 2 3 4 5
7. Osjećate li poriv na povraćanje? 1 2 3 4 5
8. Osjećate li zamor očiju? 1 2 3 4 5
9. Osjećate li umor u virtualnoj stvarnosti? 1 2 3 4 5
10. Osjećate li teškoću prilikom nošenja VR headset-a? 1 2 3 4 5
11. Koji vam je dominantni simptom od ovih navedenih iznad? _____

Nakon sve 3 testirane brzine kretanja u VR-u zadnje pitanje je glasilo:

12. Koja vam je od 3 ponuđene bila najugodnija a koja najmanje ugodna brzina za kretanje?

Najugodnija brzina kretanja: _____

Najmanje ugodna brzina kretanja: _____

Prilog 6. Anketa korištena u istraživanju različitih načina kretanja

Hvala vam što sudjelujete u ovom istraživanju.

Podaci koje dajete u svrhe istraživanja su anonimni i koriste se isključivo u svrhu istraživanja za ovu disertaciju.

Odgovori su od 1 -5 gdje je 1 – uopće se ne slažem 2 – djelomično se ne slažem 3 – niti se slažem niti se ne slažem 4 – djelomično se slažem 5 – u potpunosti se slažem

Dob: _____ Spol: M Ž

Naočale/leće Da Ne

Prijašnje iskustvo sa VR tehnologijom: Nemam iskustva Nekoliko puta godišnje
Nekoliko puta mjesečno Nekoliko puta tjedno Prosječno jednom dnevno

Mučnina u prijevoznim sredstvima: Da Ne

Mučnina u prijevoznim sredstvima kao djeca? Da Ne

Postavljena pitanja u svih 6 VR scena:

- | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| 1. Osjećate li vrtoglavicu? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 2. Jeli vam mutan vid? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 3. Osjećate li teškoću prilikom fokusiranja objekata? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4. Osjećate li glavobolju? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 5. Osjećate li da se znojite? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 6. Osjećate li mučninu u želucu? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 7. Osjećate li poriv na povraćanje? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 8. Osjećate li zamor očiju? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 9. Osjećate li umor u virtualnoj stvarnosti? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 10. Osjećate li teškoću prilikom nošenja VR headset-a? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 11. Brzina kretanja mi odgovara? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 12. Ovaj način kretanja mi odgovara? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

Nakon svih 6 testiranih načina kretanja u VR-u zadnja 2 pitanja su glasila:

Koji bi način kretanja izdvojili kao najugodniji? Koji bi način kretanja izdvojili kao najmanje ugodan?

Najugodniji način kretanja _____

Najmanje ugodan način kretanja _____

12. Životopis i popis objavljenih radova

Ana Agić rođena je 31.05.1989. godine u Zagrebu. Završila je Gimnaziju Tituša Brezovačkog 2008. godine u Zagrebu. Iste godine upisala je Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, smjer Tehničko-tehnološki. Diplomirala je pod mentorstvom Prof. dr. sc. Lidijske Mandić sa diplomskim radom pod naslovom „3D modeliranje pločica za slijepe na brailleovom pismu“ 2014. godine. Godinu dana kasnije zapošljava se na Grafičkom fakultetu kao asistent i upisuje Poslijediplomski doktorski studij Grafičko inženjerstvo i oblikovanje grafičkih proizvoda na Grafičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Studij joj je omogućio daljnji rad sa alatima za 3D modeliranje i sustavima virtualne stvarnosti. Istraživački interesi vežu se uz istraživanja subjektivnih i objektivnih metrika prilikom evaluacije korisničkog iskustva u sustavima virtualne stvarnosti. Rezultate svojih istraživanja publicirala je u obliku znanstvenih i stručnih radova na različitim međunarodnim znanstvenim skupovima te u časopisima. Stručno se usavršavala u okviru Erasmus programa međunarodne suradnje na sveučilištu u Švedskoj, i sudjeluje kao vanjski suradnik na HRZZ projektu Q-MERSIVE (Modeling and Monitoring QoE for Immersive 5G-Enabled Multimedia Services) (IP-2019-04-9793) sa mentoricama.

Popis radova vezanih uz doktorsko istraživanje:

Agić, Ana; Mandić, Lidija

Evaluation of cybersickness in virtual reality in driving simulator // Acta graphica 30 No.2, (2019), 11-16.

Agić, Ana; Murseli, Ella; Mandić, Lidija; Skorin- Kapov, Lea

The impact of different navigation speeds on cybersickness and stress level in VR // JGED. Journal of graphic engineering and design, 11 (2020), 1; 5-12 doi:10.24867/JGED-2020-1-005

Agić, Ana; Mandić, Lidija; Stanić-Loknar, Nikolina

Subjective and objective metrics of evaluating cybersickness in virtual environment // Printing & Design 2020 / Stanimirović - Žiljak, Ivana (ur.). Zagreb: Fotosoft d.o.o., 2020. str. 101-104

Agić, Ana; Mandić, Lidija; Pap, Klaudio; Stanić Loknar, Nikolina;

Overview of current virtual reality technologies research and applications // PRINTING & DESIGN 2018 / Gršić Žiljak, Jana (ur.). Zagreb: Fotosoft d.o.o., 2018. str. 98-103