

# Objektivna metoda mjerenja u virtualnoj stvarnosti

---

**Karačić, Nina**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Graphic Arts / Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:216:713101>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-27**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB

# ZAVRŠNI RAD

Nina Karačić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB

Smjer: Dizajn grafičkih proizvoda

# ZAVRŠNI RAD

OBJEKTIVNA METODA MJERENJA U VIRTUALNOJ  
STVARNOSTI

Mentor:

Prof.dr.sc. Lidija Mandić

Student:

Nina Karačić

Zagreb, 2019.

## SAŽETAK

Tehnologija virtualne stvarnosti u samom je jeku razvoja, te se samim time i povećava potreba za istraživanjima koja će utvrditi štetnost, prednosti i mane ove tehnologije. Takvih istraživanja koja se bave objektivnim metodama mjerenja kvalitete iskustva korisnika VR uređaja trenutno ima malo, pogotovo u odnosu na astronomski razvoj same tehnologije

Razvojem tehnologije uređaji za virtualnu stvarnost nalaze sve veću primjenu u različitim područjima: medicine, arhitekture, igara i sl. Cilj ovog istraživanja je mjerenje elektrodermalne aktivnosti i rada srca pomoću biosenzora u virtualnoj stvarnosti. Povećanjem rezolucije i vidnog polja postiže se bolje korisničko iskustvo, ali problem još uvijek predstavlja mučnina koja se javlja jer mozak ne može percipirati koje je stvarno stanje. Jedna od objektivnih metoda je mjerenje elektrodermalne aktivnosti koja se povezuje sa razinom stresa kod čovjeka, tj. mjeri se elektrokonduktivnost znojnih žlijezda na površini kože.

Provedeno je istraživanje na dva ispitanika na kojima se mjerila elektrodermalna aktivnost i puls, prvo u stanju mirovanja, a nakon toga za vrijeme korištenja VR uređaja, te su se zabilježeni rezultati usporedili.

Ključne riječi: **virtualna stvarnost, elektrodermalna aktivnost, stres**

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
1.1. Virtualna stvarnost .....	1
1.2. Cilj rada.....	1
<b>2. ŠTO JE VIRTUALNA STVARNOST?</b> .....	2
2.1. Kako nas VR i naš mozak “varaju”?.....	4
2.2. Interaktivnost u VR tehnologiji.....	5
2.3. Koliko bi “stvarno” trebalo biti VR iskustvo? .....	5
2.4. Zdravlje i sigurnost .....	6
<b>3. FIZIOLOGIJA ČOVJEKA</b> .....	8
3.1. Podjela osjetila .....	9
3.2. Ljudski vid .....	10
3.3. Problemi u percepciji do kojih dolazi korištenjem VR tehnologije .....	11
3.4. Prilagodba .....	12
3.5. Dizajn eksperimenata .....	13
<b>4. OBJEKTIVNA METODA MJERENJA</b> .....	14
4.1. Kvaliteta iskustva korisnika .....	14
4.2. Evaluacije rada srca i elektrodermalne aktivnosti.....	15
<b>5. REZULTATI</b> .....	18
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	22
<b>7. LITERATURA</b> .....	23

# 1. UVOD

## 1.1. Virtualna stvarnost

Virtualni svijet, ili virtualna stvarnost, jedan je od oblika računalne simulacije u kojoj se sudionik osjeća kao da se nalazi u umjetnom okruženju. Senzori na samom uređaju detektiraju kretanje ili položaj dijelova tijela, te pretvaraju te informacije u pokret ili vizualni efekt koji sudionik može primjetiti u virtualnom okruženju [1].

VR tehnologija je u samom jeku razvoja, ali već sada ima široku primjenu u mnogim područjima, kao što su kirurški zahvati, vojne vježbe, arhitektura, psihoterapija, ili najjednostavnije u svrhu zabave u mnogim videoigricama i drugim zabavnim sadržajima.

## 1.2. Cilj rada

Uz ovakvu široku primjenu s potencijalnim brzim razvojem, važno je osigurati da ta tehnologija bude dostupna, sigurna i bez većih trajnih posljedica na ljudski organizam. Vrlo ograničen broj istraživanja se do sada vodio o utjecaju VR tehnologija na naše tijelo; s tim na umu su u ovom radu iznešene određene informacije potrebne za razumijevanje VR tehnologija i načina na koje ona djeluje na organizam, te su objašnjene objektivne metode mjerenja kvalitete iskustva korisnika VR tehnologije i njihovi rezultati, zapažanja i zaključci.

## 2. ŠTO JE VIRTUALNA STVARNOST?

Virtualni svijet ili virtualna stvarnost je u punom jeku razvitka, te se razvija toliko brzo da je teško definirati tehnologiju i same uređaje - vrlo je moguće da će sve te definicije biti zastarjele za samo godinu dana. Zbog ovih uvjeta, virtualna stvarnost se najčešće opisuje koristeći načela same tehnologije, pošto su ona puno otpornija na promjene u razvitku same tehnologije [2].

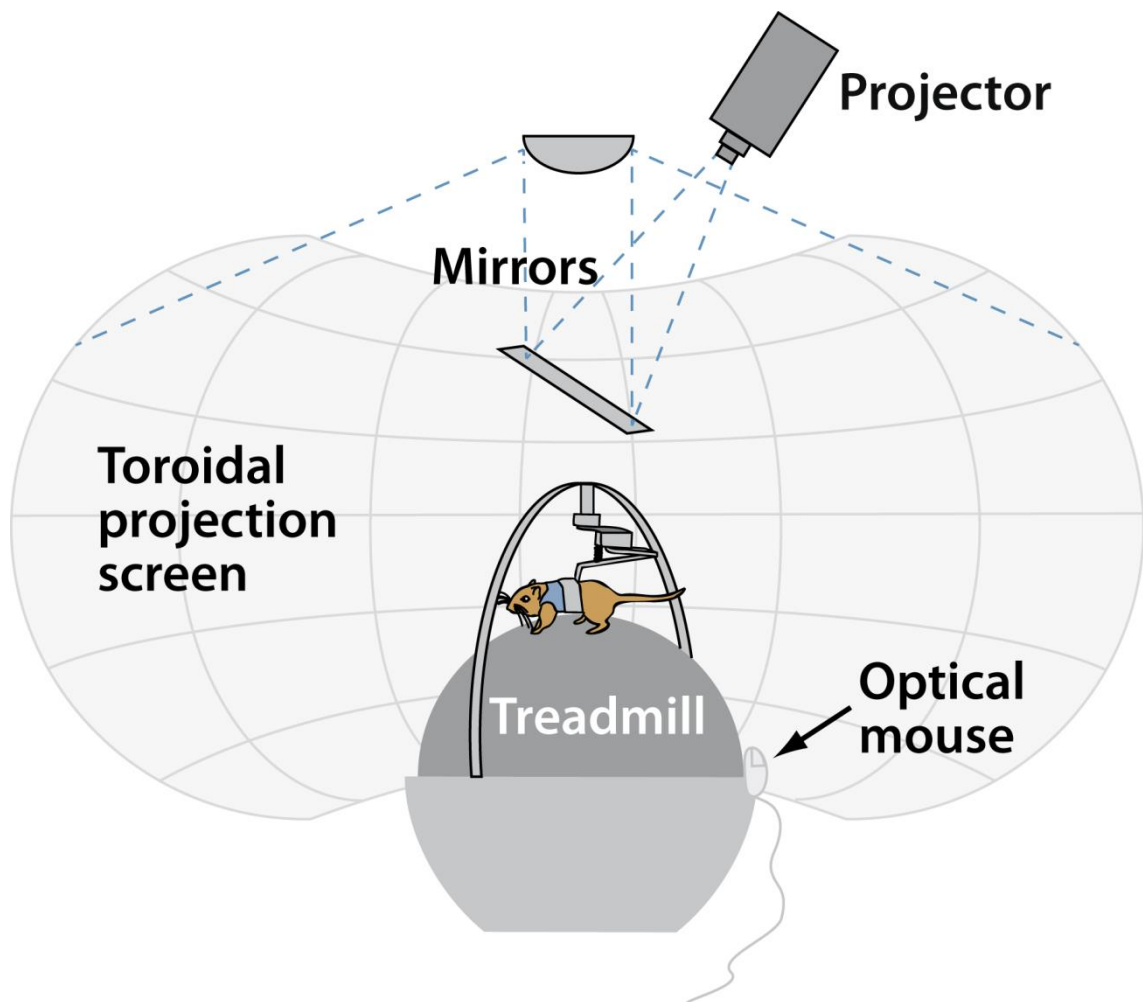
Da bi pokazali koliko opširan sam pojam virtualnog svijeta može biti, predstavljana su dva primjera koji pokazuju na koje se sve načine ova tehnologija može upotrijebiti: 1) čovjek koji pomoću virtualne tehnologije ima doživljaj leta iznad San Franciska (slika 1.a i 1.b); 2) miš koji trči na pomičnoj lopti te ima doživljaj prolaženja kroz labirint prikazan na ekranima oko njega (slika 2.) [3,6].



*Slika 1.a Korisnik koristi VR uređaj kako bi iskusio let iznad San Franciska (izvor: Virtual Reality, LaValle)*



Slika 1.b Pogled unutar VR uređaja - slika koju korisnik vidi kada koristi uređaj (izvor: Virtual Reality, LaValle)



Slika 2. Prikaz VR uređaja korištenog u pokusima na mišu (izvor: Virtual Reality, LaValle)



S tim informacijama na umu, i pazeći na to da je definicija dovoljno opširna da obuhvati većinu značajki virtualne stvarnosti, virtualnu stvarnost u ovom radu se opisuje kao tehnologija koja izaziva određeno ponašanje i doživljaj na organizam pomoću umjetno ostvarenih stimulacija, a da za vrijeme stimulacija taj organizam ima minimalnu svijest o interferenciji koju uzrokuju ti stimuli. 'Organizam' u ovom slučaju možete biti Vi ili neka druga osoba ili životinja (kao npr. majmun).

Primjeri prikazani na slikama 1.b i 2. očitno ulaze u definiciju virtualne stvarnosti koja je predstavljena na početku rada. Svaka osoba koja nabavi jedan od dostupnih VR uređaja i pokrene ga također je dio definicije, ali koliko daleko možemo tražiti primjere, pazeći pritom da ne odstupimo od definicije? Da li uključujemo slušanje glazbe preko slušalica, gledanje filmova na ekranu ili pak promatranje slika u muzejima? Stimulansi kod čitanja knjige su vizualne prirode, ali ne čini se da djeluju direktno na naš mozak, za razliku od filmskih ekrana ili slika. Zato je, umjesto da se bavimo granicama definicija virtualne stvarnosti, važnije razumjeti glavne ideje i namjere VR tehnologija [2].

## 2.1. Kako nas VR i naš mozak “varaju”?

Načelo rada VR tehnologije te kako ono vara naš mozak, a kako naš mozak vara nas, se može objasniti i preko neurobiologije. Kada organizam istražuje prostor oko sebe, formiraju se živčane strukture koje mu daju informacije o okolini u kojoj se nalazi. Svaki dio te strukture se aktivira kada se organizam vrati na područje koje je prvotno aktiviralo određeni dio živčane strukture. Studije su pokazale da je vrlo moguće da se sličan način prenošenja informacija o okolini događa i kada je organizam pod utjecajem virtualne tehnologije, što znači da naš mozak stvara stanice za prostorno prepoznavanje a da taj prostor uopće ne postoji u stvarnom svijetu. Na upravo takav način tehnologija virtualne stvarnosti “vara” naš mozak, a zatim kao posljedicu naš mozak “vara” i nas [2].

Najvažnija ideja virtualne tehnologije je da se percepcija korisnika i njegove stvarnosti mijenja putem tehnologije i inženjerstva; ideja da li je okolina koju korisnik vidi i doživljava više stvarna nego virtualna odlazi u drugi plan [4].

## 2.2. Interaktivnost u VR tehnologiji.

Većina VR tehnologija se bazira na jednom jako bitnom konceptu koji je ključna komponenta bilo kojeg VR uređaja: interaktivnost. Ako simulacije VR uređaja ovise o tome kako čovjek reagira, ili o njegovim pokretima (pokretima ruku, nogu, očiju, glave ili slično), onda govorimo o *closed-loop* VR tehnologiji. Ako ne, onda je to *open-loop* (predodređene i pred-programirane simulacije koje ne ovise o našim reakcijama) [5].

*Closed-loop* VR tehnologije pružaju najveći stupanj interaktivnosti, jer se zacrtane reakcije i stimulansi VR uređaja događaju kao direktna reakcija na određene pokrete našeg tijela. Neke VR tehnologije čak reagiraju na verbalne komande, ili nesvjesne i nekontrolirane reakcije tijela organizma - rad srca i temperaturu tijela.

## 2.3. Koliko bi “stvarno” trebalo biti VR iskustvo?

Mnogo ljudi smatra da bi VR tehnologija trebala što više nalikovati na naš svijet; ako je stupanj realnosti predstavljen u simulaciji veći, samim time će i iskustvo korištenja VR tehnologije biti zanimljivije. Sve što doživljavamo u stvarnom svijetu se tehnologijom može prenijeti u virtualnu stvarnost, a naši su mozgovi upoznati sa takvim situacijama i okruženjima. S tim informacijama na umu, lako je zaključiti da je ovakav pristup VR tehnologiji najprikladniji. Ovaj način razmišljanja dijele i mnogi developeri VR video igara, kao što su ultra-realistične FPS igre (eng. *first-person shooter*; dosl. igre pucačine u prvom licu) (slika 3.) [7,8].



Slika 3. FPS igra dizajnirana za virtualnu stvarnost (izvor: Stress Level Zero)

Međutim, važno je razumjeti da igre koje imaju vrlo jednostavnu grafiku mogu pružiti slično iskustvo u VR-u. Zapravo, igre koje imaju jednostavnije elemente ponekad mogu biti puno zanimljivije nego stvaranje elemenata koje već vidimo u stvarnom svijetu - jednostavni kockasti objekti i elementi mogu stvoriti umjetnički doživljaj (kao u igri *Minecraft*), korištenje jednostavnijih boja ili monokromatsko okruženje mogu djelovati smirujuće na mozak. Za svaki od ovih primjera, razmislite o tome kako zahtjevi za određeni stupanj realizma mogu varirati. U svim primjerima bitno je odrediti kriterije percepcije na kojima se temelji iskustvo te kako bi oni bili zadovoljeni da bi iluzija bila uvjerljiva i pogodna za određeno VR iskustvo [2,7].

#### 2.4. Zdravlje i sigurnost

Stupanj realnosti u VR tehnologiji ovisi o mnogim primjerima koje smo do sada naveli, ali prva i najbitnija stavka bi trebalo biti zdravlje i sigurnost korisnika VR tehnologije. Za razliku od medija koje smo naveli na početku radi usporedbe (filmovi, slike...), VR tehnologije mogu opteretiti naša osjetila i mozak, što može uzrokovati mučninu, vrtoglavicu i sl. Vrlo rijetko je slučaj da do ovih simptoma dođe zbog problema u *hardware*-u samog uređaja; u većini slučajeva, problem je u osobama koje razvijaju VR uređaje bez potrebnog znanja o tome kako ljudsko tijelo može reagirati na određene

podražaje [4]. Ovo je jedan od razloga zašto smatramo da je znanje o ljudskoj fiziologiji i načinu na koji percepcija utječe na našu psihu vrlo bitno za svakog potencijalnog *developer*-a VR tehnologije. Posljedice na naš organizam je važno dobro proučiti kako bi osoba osmislila i razvila VR uređaj koji ne bi izazivao bespotrebna neugodna iskustva [2].

U većini slučajeva umora i vrtoglavice tijekom korištenja VR uređaja, problem nastaje zbog prekomjernog rada našeg mozga, koji nastoji povezati sve njemu neuobičajene stimuluse i njihova djelovanja na razna osjetila. Kod nekih se ljudi čak javlja i mučnina, kao posljedica nekonzistentnih stimulusa ili stimulusa koji previše odudaraju od onog što naš mozak očekuje u situacijama koje se simuliraju pomoću VR uređaja [7]. Također, jedan od problema u korištenju VR uređaja je umor kao posljedica prekomjernog rada mišića - ako želimo stvoriti realističnu igru u kojoj moramo uzimati i prenositi razne objekte, može nam se činiti kako je najbolje rješenje osmisliti uređaj koji će reagirati na puni pokret naših ruku. To, međutim, stvara veliki osjećaj umora u rukama, pogotovo zato što osoba zapravo ne osjeća težinu objekta koji nosi. Puno je jednostavnije i efektivnije osmisliti igru na način da se kratkim pokretima prenose objekti - time se smanjuje umor, a ljudski mozak će nakon nekog vremena normalizirati te pokrete kao realistične za prenošenje objekata [2,19].

### 3. FIZIOLOGIJA ČOVJEKA

Naša tijela nisu dizajnirana za VR tehnologiju - ona poremeti sva naša osjetila i narušava prirodne biološke mehanizme koje je naše tijelo razvijalo tijekom milijuna godina evolucije. Osim toga, naša osjetila primaju umjetne stimulanse koji nisu u skladu sa stimulansima na koje su naša osjetila i mozak navikli. Način na koje tijelo pojedinca reagira na VR tehnologiju može varirati. U nekim slučajevima, tijelo se u potpunosti adaptira na novo iskustvo i pojedinac može iskusiti stimulanse VR tehnologije bez da osjeti ikakve posljedice, ili čak dosegnuti razinu svjesnosti 3D scena koje su mu prije bile neshvatljive [2,9].

S druge strane, postoji puno veća mogućnost da tijelo odbije nove informacije i korisnik osjeti umor ili glavobolje kao posljedicu procesa u kojem mozak pokušava interpretirati nepoznate stimulanse. U najgorim slučajevima, korisnik će osjetiti veliki umor i mučninu - kako bi izbjegli bilo koje negativne posljedice na naše tijelo, važno je razumjeti percepcijsku psihologiju i fiziologiju našeg tijela [10].

Da bi mogli razumjeti na koji način funkcionira VR tehnologija i kako najbolje mjeriti utjecaj na ljudsko tijelo, moramo prvo iznijeti iduće informacije: 1) najosnovnije psihološke aspekte ljudskog tijela, 2) ključne pojmove i eksperimentalne ideje percepcijske psihologije, i 3) načine na koje VR tehnologija može narušiti ove osnovne aspekte ljudske psihe, te implikacije posljedica na tijelo i tjelesne reakcije [2].

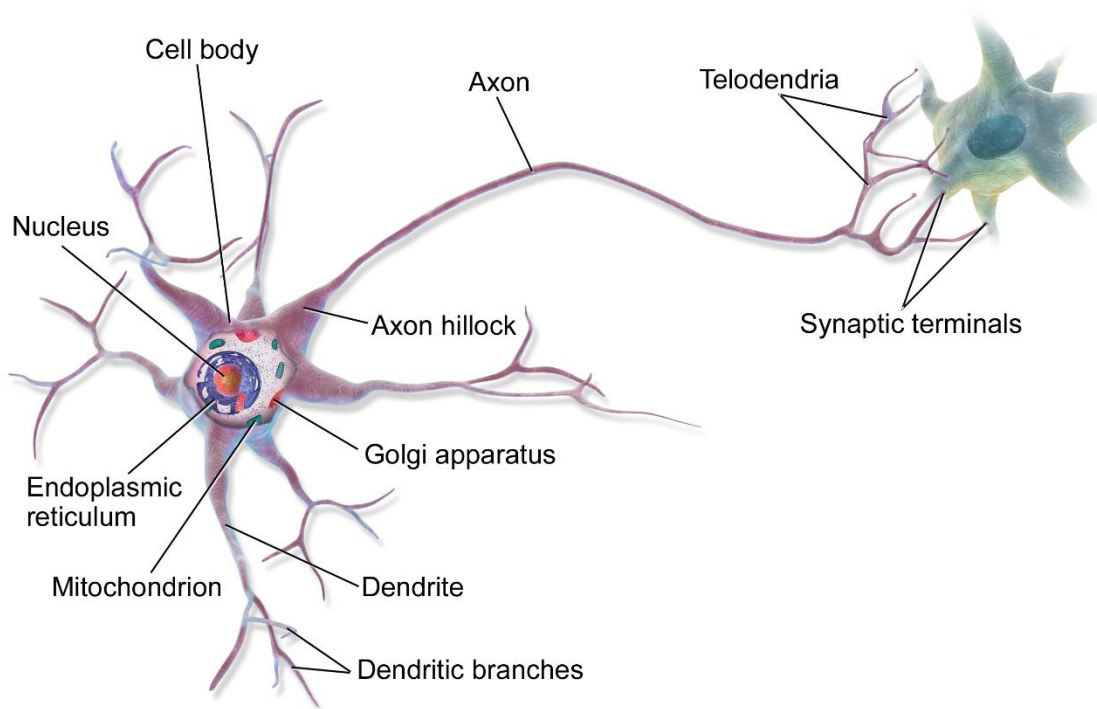
U stvarnom svijetu percepcijski su procesi uglavnom neuočljivi - rijetko kada ljudi razmišljaju o tome koliko im dugo treba da bi prepoznali člana obitelji ili bliskog prijatelja. Ovakvi procesi najčešće se događaju bez našeg znanja, počinju automatski te su gotovi prije nego što stignemo razmisliti o tome kako prepoznamo lice osobe koju često vidimo. Iz ovog razloga, ljudi koji se bave razvojem VR tehnologije i VR uređaja ne pridodaju dovoljno važnosti percepcijskim procesima i grani psihologije koja se njima bavi [2,11].

### 3.1. Podjela osjetila

Ljudski vid nije jedino osjetilo koje se može prevariti putem optičkih iluzija. Bilo koje vrste senzora pretvaraju energiju iz nekog izvora u signale koji se dalje šalju putem određene mreže. U ljudskom tijelu se različiti stimuli pretvaraju u živčane impulse - za svako od naših osjetila postoje različiti izvori energije iz kojeg receptori za vid, njuh, sluh, ravnotežu i sl. pretvaraju određeni stimulus u živčani impuls. Ovakvo ponašanje organizma, u kojem određeni receptor “traži” samo jednu određenu vrstu stimulusa, se zove *selektivnost osjetilnog sustava* [11,12].

Percepcija nastaje kao posljedica pretvaranja vanjskih stimulusa u živčane impulse putem osjetilnih organa. Ljudsko tijelo ima otprilike 86 milijardi neurona - od tih 86 milijardi, 20 milijardi je posvećeno dijelu mozga koji se zove moždana kora. Moždana kora je zaslužna za mnoge moždane funkcije, među kojima se nalaze percepcija i svijest [12].

Drugi važan čimbenik za ljudsku percepciju i opću kognitivnu sposobnost je veza između samih neurona. Jezgra ili stanično tijelo svakog neurona (slika 4.) je jedan čvor koji obavlja određenu vrstu obrade podataka. Dendriti su ulazni rubovi neurona, a aksiti su izlazni. Preko mreže dendrita, neuron može skupiti podatke i informacije od brojnih drugih neurona, a “rezultat” se šalje na jedan ili više drugih neurona preko aksona. Između spojenog para aksona i dendrita komunikacija se odvija u rupama koje zovemo sinapse, kuda prolaze električni ili kemijski signali. Svaki neuron u ljudskom mozgu ima u prosjeku oko 7000 sinaptičkih veza s drugim neuronima, što rezultira sa oko 1015 rubova u našem mozgu [13,16,17].



Slika 4. Sastavni dijelovi i građa neurona (izvor: *Sensation and Perception*, Goldstein)

### 3.2. Ljudski vid

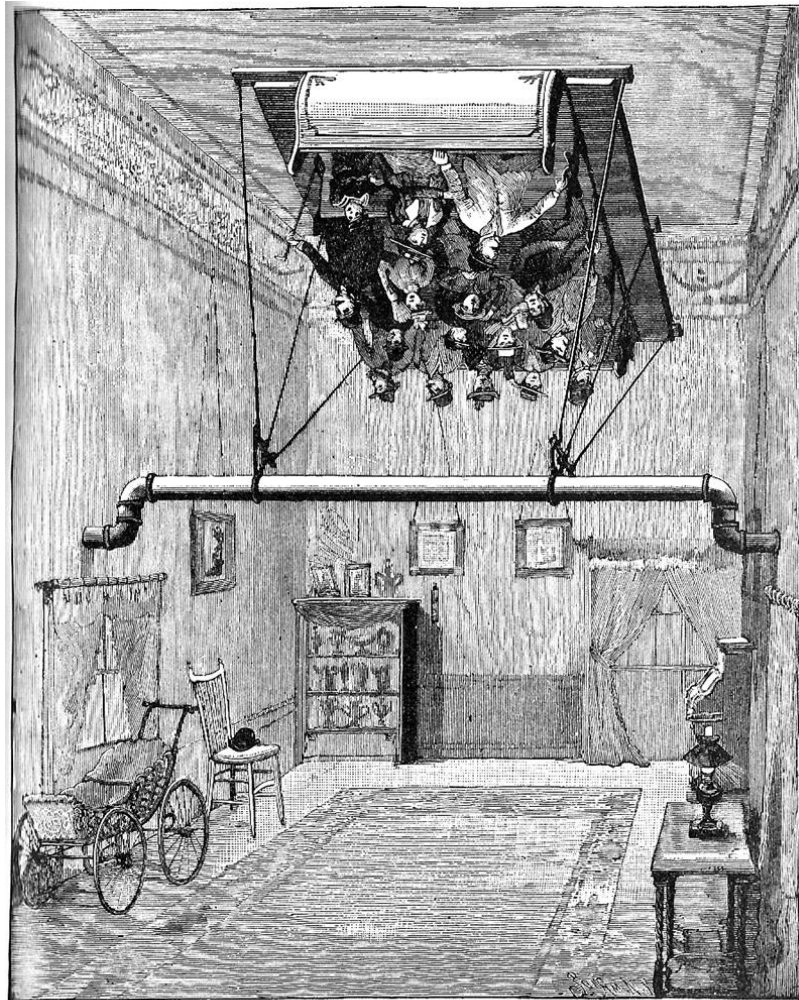
Ono što vidimo oko nas je zapravo “sve u našoj glavi”. Svjetlo i svjetlosni valovi oko nas formiraju sliku na mrežnici pomoću boja, pokreta i odnosa između objekata u fizičkom svijetu. Za nekoga tko ima savršeni vid, ove slike se čine savršeno jasne, bez obzira na to što pokrivaju prilično veliko vidno polje. Međutim, tu nas naš vid vara - ova na prvi pogled savršeno jasna slika je zapravo iluzija koju stvara naš mozak. Naše živčane strukture popunjavaju dijelove slike koji nisu savršeni kako bi stvorili sliku koja “ima smisla” sa našim dosadašnjim životnim iskustvima [2,12,15,18].

U procesu stvaranja VR tehnologija i uređaja, važno je u potpunosti razumjeti ovaj proces koji je opisan. On će pomoći pojednostaviti VR uređaje, te na najbolji način iskoristiti naše prirodne procese u mozgu kako bi stvorili VR iskustvo koje će biti prikladno za korisnike. Također, razumijevanje ovog procesa će omogućiti izbjegavanje već spomenute posljedice na naš organizam, i smanjenje mučnine i vrtoglavice tijekom korištenja VR uređaja. Ova tehnologija, kao što je spomenuto, ne bi trebala biti potpuno savršeni odraz našeg svijeta [12].

### 3.3. Problemi u percepciji do kojih dolazi korištenjem VR tehnologije

Jedan od primjera senzornog konflikta na koji se moramo posebno fokusirati u kontekstu VR-a je vekcija - jedan od oblika iluzije pokreta. Sukob se javlja kada ljudski vizualni osjeti javljaju našem mozgu da se krećemo, ali osjetilni sustav za ravnotežu nam govori da smo nepomični. Kako ljudi prirodno hodaju ulicom u stvarnom svijetu, njihova ravnoteža i osjetila vida su u harmoniji. Vekciju se može iskusiti čak i bez VR tehnologije - 1890-ih godina, Amariah Lake zabavni park je izgradio vožnju koja se sastojala od ljuljačke koja je ostala u stanju mirovanja, dok se cijela soba koja je okruživala tu ljuljačku pomicala, stvarajući pritom osjećaj pokreta bez da se naše tijelo pomiče (slika 5). U VR-u, vekcija je uzrokovana pogonom za kretanje - na primjer, ako se u VR-u počnemo kretati unaprijed koristeći kontroler umjesto da se krećemo naprijed u stvarnom svijetu, naš će vizualni sustav percipirati taj pokret, ali naš centralni sustav za ravnotežu neće. To može dovesti do osjećaja mučnine i vrtoglavice [2,14,20].





ILLUSION PRODUCED BY A RIDE IN THE SWING.

*Slika 5. Vožnja u zabavnom parku Amariah Lake (izvor: Virtual Reality, LaValle)*

### 3.4. Prilagodba

Univerzalno obilježje našeg osjetilnog sustava je prilagodba - ovaj proces opisuje promjenu u percepciji učinka podražaja ili stimulusa tijekom vremena. To se može dogoditi s bilo kojim od naših osjetila i kroz širok interval vremena. Primjerice, glasnoća zvukova kao što su npr. buka motora u zrakoplovu ili automobilu smanjuje se za nekoliko minuta. U slučaju vida, optički sustav naših očiju i osjetljivost fotoreceptora drugačije se prilagođavaju promjeni svjetlosti ovisno o tome da li se promjena događa od svjetlijeg prema tamnijem ili obrnuto. Tijekom dugih vremenskih perioda, ako pravilno treniramo naša osjetila, možemo ih dovesti do prilagodbe. U simulacijama vojne obuke i VR igrama, uočeno je da se iskusni igrači video igara puno manje

sukobljavaju sa mučninom i ostalim nuspojavama vektije. Razlog tome je u velikoj izloženosti sličnim situacijama tijekom određenog vremenskog intervala. Adaptacija stoga postaje ključni čimbenik za VR i za problem koji se predstavlja u ovom radu - kroz ponovljeno izlaganje vlastitim programima, ljudi koji razvijaju VR uređaje mogu postati otporni na utjecaje te tehnologije koji muče ljude koji ju koriste po prvi put. To im pruža određenu dozu pristranosti u samom iskustvu, i može učiniti proizvod neupotrebljivim za korištenje osobi koja se ne izlaže VR tehnologijama na dnevnoj bazi [2,13,18].

### 3.5. Dizajn eksperimenata

VR narušava percepcijske procese koji su prirodni za naš organizam. Iz svega što je dosad navedeno, trebalo bi biti jasno da VR sustavi i iskustva moraju biti procijenjeni od strane samih korisnika VR uređaja, a ne samo ljudi koji su radili na njima. To je jedini način da se nepristrano odredi koliko je samo iskustvo poželjno ili ugodno za običnog korisnika, te kako izbjeći neželjene nuspojave. S time na umu, valjalo bi primijeniti znanstvene metode kako bi se promatralo samo iskustvo, i došlo do određenih teza i eksperimenata koji bi najbolje odredili da li je uređaj spreman za korištenje ili ne. To može dovesti do komplikacija kada uključimo ljude. Kako ćemo znati u kojem su stupnju adaptacije na VR uređaj tijekom ispitivanja? Što ako su im dosadašnja iskustva promijenila doživljaj i osjete? I što se dogodi ako saznaju za unaprijed postavljenu hipotezu kada počinje ispitivanje? To će sigurno utjecati na rezultate eksperimenta.

Bitno je i unaprijed odrediti način na koji će se ispitivanje provoditi kada uzmemo sve ove slučajeve u obzir. Drugačiji su ishodi za drugačiju vrstu ispitivanja - da li će mjerenja biti provedena u obliku pitanja i odgovora nakon obavljenog eksperimenta? Da li ćemo odbiti se osloniti samo na njihovo subjektivno mišljenje, već i na objektivne metode kao što su mjerenje elektrodermalne aktivnosti, rada srca i mozga, i slično? [22].

## 4. OBJEKTIVNA METODA MJERENJA

### 4.1. Kvaliteta iskustva korisnika

Grupa QUALINET je kao definiciju kvalitete iskustva korisnika uzela ovu: “razina zadovoljstva ili nezadovoljstva korisnika nekog uređaja ili usluge; ispunjavanje očekivanja korisnika tog uređaja ili usluge.” Tradicionalan način mjerenja kvalitete iskustva uključuje korištenje VR tehnologije, nakon čega korisnik osobno evaluira razinu zadovoljstva tijekom korištenja samog uređaja, i funkcionalnost uređaja u područjima vizualnih, taktilnih i zvučnih simulacija putem ankete.

Ova vrsta ispitivanja i mjerenja je vrlo subjektivna, i samim time ima mnoge nedostatke koji dovode do krivog tumačenja i shvaćanja djelovanja VR tehnologija na ljudski organizam. Samo neki od problema su vrijeme potrebno da bi se izvelo mjerenje, subjektivnost odgovora od strane korisnika, te činjenica da korisnici evaluiraju svoje iskustvo nakon samog doživljaja, a ne tijekom, što može utjecati na njihovu percepciju zadovoljstva ili nezadovoljstva korištenja uređaja.

Neka istraživači su primijetili zadnji problem, te su postavili EEG uređaj koji snima moždane valove i reakcije tijekom samog korištenja VR uređaja. Međutim, vrlo je moguće da razina neugodnosti nošenja EEG i VR uređaja u isto vrijeme negativno utječe na iskustvo i zadovoljstvo korisnika.

Kako bi se objektivno izmjerila kvaliteta iskustva korisnika VR uređaja, u mjerenjima u ovom radu su korišteni pristupačni elektronički uređaji za mjerenje i usporedbu objektivnih fizioloških mjernih podataka. To su mjerenja brzine otkucaja srca i elektrodermalne aktivnosti, a uz pomoć rezultata tih mjerenja može se uočiti razliku u reakciji našeg organizma na virtualno i stvarno okruženje.

#### 4.2. Evaluacije rada srca i elektrodermalne aktivnosti

Ispitanicima se u ovom eksperimentu mjerila razina stresa pomoću elektrodermalne aktivnosti, te rad srca, odnosno puls, u stanju mirovanja i tijekom igranja igre u virtualnoj stvarnosti.

Uređaj koji se koristio za VR iskustvo je HTC Vive (slika 6.). Ovaj uređaj ima vidno polje od 110 stupnjeva (vidno polje ljudskog oka je približno 120 stupnjeva) te je rezolucija na jednom oku 1080x1200 px (kombinirano 2160x1200 px). Ovaj uređaj također ima sposobnost podešavanja udaljenosti leće od oka za poboljšanu kvalitetu iskustva korisnika. U uređaj su ugrađeni žiroskop - za praćenje položaja i orijentacije - te senzor koji prati neposrednu okolinu uređaja za povećanu interaktivnost.



Slika 6.. Uređaj za virtualnu stvarnost HTC Vive (izvor: avito.ru)

Stolno računalo na koje je uređaj bio spojen ima RAM memoriju od 16GB, grafičku karticu nVidia GeForce GTX 1070 sa 8GB memorije te Intel i7 četverojezgreni procesor sa 4.40GHz. Igrica se igrala na 60 fps (eng. *frames-per-second*, sličica po sekundi).

Uređaj koji se koristio za mjerenje razine stresa pomoću elektrodermalne aktivnosti je PIP biosenzor (slika 7.). Ovaj uređaj mjeri razinu stresa pomoću promjena u aktivnosti znojnih žlijezdi u porama na vrhovima prstiju, pošto se pokazalo da se promjene u razini stresa najbolje uočavaju baš na vrhovima prstiju. Za mjerenje rada srca koristio se Polar A 370 sportski sat (slika 8.) koji između ostalog mjeri i otkucaje srca.



Slika 7. PIP biosenzor za praćenje razine stresa (izvor: redef.com)



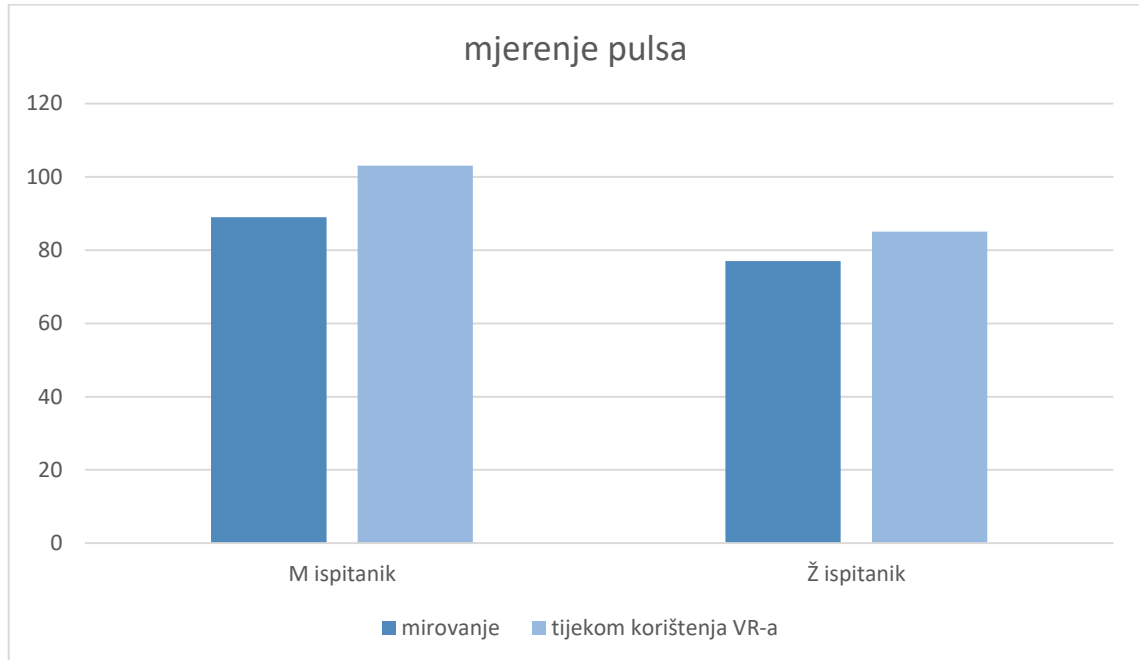
Slika 8. Polar A 370 sat za praćenje rada srca (izvor: Facebook)

U eksperimentu je sudjelovalo dvoje ljudi (M, 30 god. i Ž, 29 god.). Ispitanicima se prvo mjerila razina stresa u stanju mirovanja - u sjedećem položaju, odmarajući. Mjerenja razine stresa PIP biosenzorom i pulsa Polar sportskim satom trajala su po dvije minute.

Nakon što su obavljena potrebna mjerenja u stanju mirovanja, ispitanicima je dan HTC Vive uređaj na kojem su igrali Fallout 4 VR, akcijsku RPG igricu (eng. *role-playing game*, igra uloga). Tokom igranja igre, ispitanicima su se ponovno izmjerile vrijednosti razine stresa i otkucaja srca. Ova mjerenja su također trajala dvije minute.

## 5. REZULTATI

U ovom dijelu rada su predstavljeni rezultati ispitivanja i analizirani podatci koji su dobiveni objektivnom metodom ispitivanja kvalitete iskustva korisnika VR tehnologije.



Graf 1. Usporedba izmjerenog pulsa kod oba ispitanika u stanju mirovanja i tijekom korištenja VR uređaja

Iz priloženog Grafa 1, može se vidjeti da je znatna razlika u promjeni pulsa između stanja mirovanja i tijekom igranja igrice u VR-u kod muškog ispitanika (89 bpm (eng. *beat-per-minute*) u stanju mirovanja, a 103 bpm tijekom igranja igrice). Kod ženskog ispitanika je primijećena manja razlika u rezultatima (77 bpm u stanju mirovanja, 85 bpm tijekom korištenja uređaja).

Dakle, iz podataka mjerenja pulsa može se zaključiti da osobe muškog spola znatnije reagiraju na ovu vrstu podražaja od osoba ženskog spola.

Rezultati mjerenja razine stresa su prikazani u tablicama, Tablice 1 i 2, također, potrebno je bolje objasniti kako točno PIP biosenzor mjeri stres.

PIP biosenzor pokazuje razine stresa sa obzirom na tri vrste 'događaja' koji senzor mjeri – to su *stressed*, *steady* i *relaxed* događaji. Što više osoba ima *stress* događaja u

mjerenju, to je više pod stresom. Isto tako, ako je zabilježen manji broj *relaxed* događaja, znači da je osoba po stresom. Nakon toga, PIP biosenzor računa ukupni postotak – što je postotak veći, to je osoba manje pod stresom.

Prvo su u tablici i na grafu prikazani svi događaji koji su zabilježeni, a na grafovima 3. i 4. su prikazane vrijednosti postotaka koje su analizirane i diskutirane.

*Tablica 1. Podaci Pip biosenzora u stanju mirovanja.*

	<b>M</b>	<b>Ž</b>
<b>STRESS</b>	4	16
<b>STEADY</b>	8	30
<b>RELAXED</b>	25	4

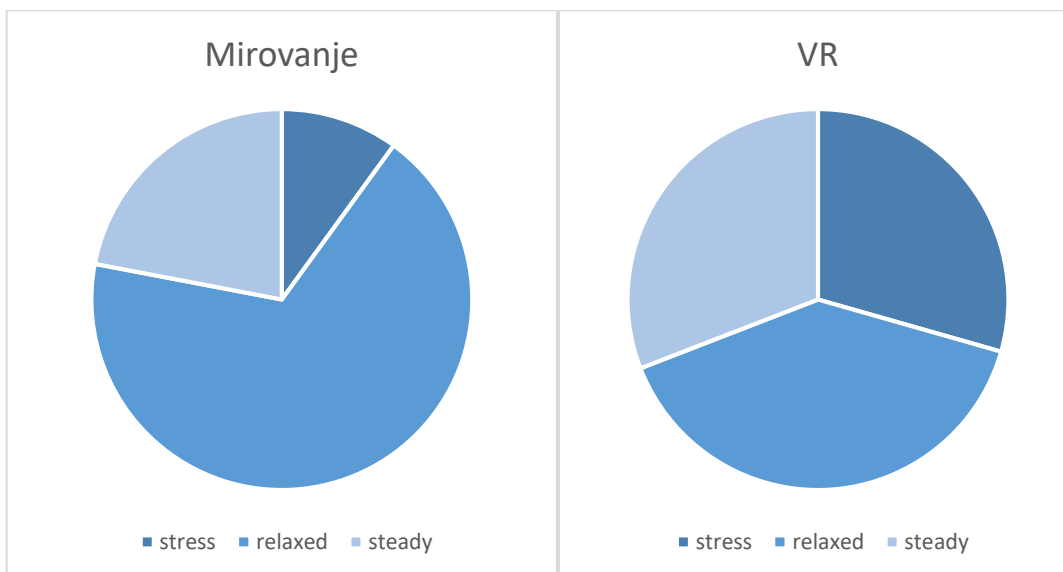
*Tablica 2. Podaci Pip biosenzora tijekom korištenja VR uređaja.*

	<b>M</b>	<b>Ž</b>
<b>STRESS</b>	20	13
<b>STEADY</b>	21	30
<b>RELAXED</b>	27	0

Iz podataka ovih dviju tablica može se vidjeti da je, u osnovi, razina stresa kod ispitanika ženskog spola vidljivo veća nego kod ispitanika muškog spola u oba slučaja. Isto tako je jasno, zbog povećanog broja *stress* događaja i smanjenog broja *relaxed* događaja, da se ovdje može primijetiti vidljiva razlika u razini stresa kada se usporede podatci izmjereni u stanju mirovanja i podatci izmjereni tijekom korištenja VR uređaja.

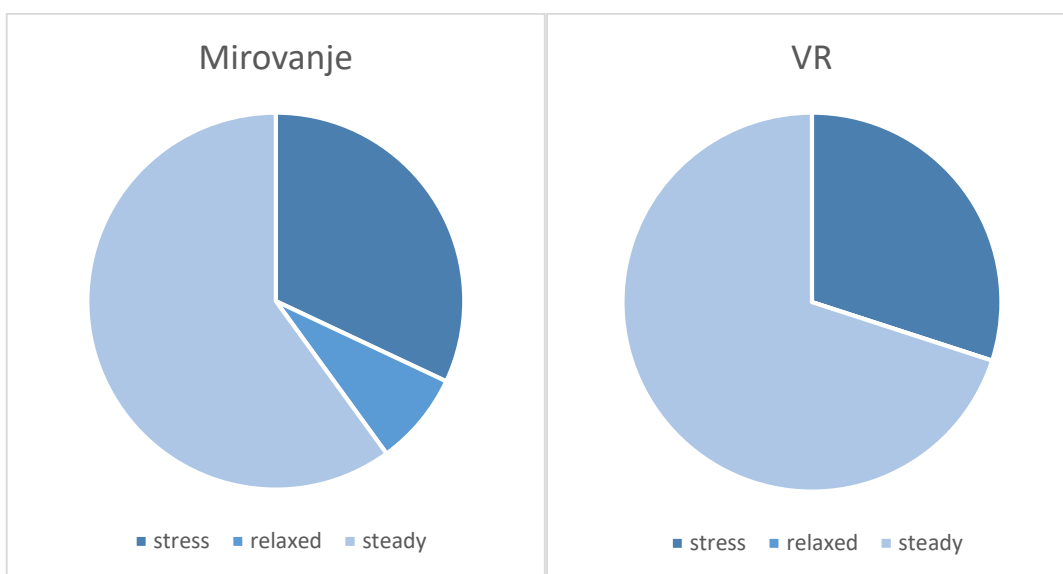
Da bismo bolje prikazali ovu razliku uz pomoć grafa, ove smo događaje pretvorili u postotke i usporedili rezultate za oba ispitanika odvojeno.





Graf 3. Razina stresa kod M ispitanika u situacijama mirovanja i korištenja VR-a.

Na grafu 3. iznad, prikazana su i uspoređena mjerenja kod ispitanika muškog spola u stanju mirovanja i tijekom korištenja VR uređaja. Vidimo znatnu razliku u razini stresa kada usporedimo smanjenje postotka *relaxed* događaja i povećanje postotka *stress* događaja.



Graf 4. Razina stresa kod Ž ispitanika u situacijama mirovanja i korištenja VR-a.

Kod rezultata ispitanika ženskog spola, prikazano na grafu 4., nije primijećen rast postotka *stress* događaja, ali smanjenje *relaxed* događaja na 0% nam pokazuje da je došlo do promjene u elektrodermalnoj aktivnosti tijekom korištenja VR uređaja, te da je osoba reagirala na utjecaj ove tehnologije.

Kod mjerenja elektrodermalne aktivnosti primjećujemo znatniju razliku u mjerenjima u stanju mirovanja i tijekom korištenja VR uređaja za oba ispitanika. U slučaju ispitanika muškog spola, postotak *relaxed* događaja opada dok postotak *stress* događaja raste. U slučaju ispitanika ženskog spola, nakon korištenja VR uređaja nije zabilježen niti jedan *relaxed* događaj.

## 6. ZAKLJUČAK

Ovaj rad je predstavio objektivnu metodu mjerenja razine stresa i zadovoljstva korisnika VR uređaja s obzirom na njihovo stanje tijekom mirovanja i tijekom korištenja samog uređaja. Cilj ovog rada bilo je prikazati objektivne metode mjerenja povezano uz zadovoljstvo korisnika VR uređaja tijekom samog korištenja, te ispitati koja od navedenih metoda daje najbolje rezultate za buduća ispitivanja.

Prema mjerenjima i rezultatima prikazanim u ovom radu, može se zaključiti da je metoda mjerenja elektrodermalne aktivnosti dobra metoda objektivnog mjerenja utjecaja VR tehnologije na ljudski organizam. U usporedbi sa rezultatima rada srca, primijećena je znatna razlika u rezultatima razine stresa između osoba u stanju mirovanja i tijekom korištenja VR uređaja.

Kao preporuku za dodatna istraživanja, u budućim ispitivanjima zadovoljstva korisnika VR uređaja trebalo bi mjeriti elektrodermalna aktivnost tijekom korištenja uređaja uz subjektivnu evaluaciju zadovoljstva nakon korištenja na većem broju ljudi (>100), kako bi ispitali korelaciju između objektivne i subjektivne metode mjerenja.

## 7. LITERATURA

1. [https://hr.wikipedia.org/wiki/Virtualni\\_svijet](https://hr.wikipedia.org/wiki/Virtualni_svijet), 22.08.2019
2. S. M. LaValle, *Virtual Reality*, u Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2016.
3. W. R. Sherman i A. B. Craig, *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design*, San Francisco, CA, SAD 2002.
4. K. S. Hale i K. M. Stanney, *Handbook of Virtual Environments, 2nd Edition*, u CRC Press, Boca Raton, FL, SAD, 2015.
5. D. Nitz. *A place for motion in mapping*, u Nature Neuroscience, 2010.
6. J. O'Keefe i J. Dostrovsky, *The hippocampus as a spatial map*, u Brain Research, 1971.
7. Z. M. Aghajani, L. Acharya, J. J. Moore, J. D. Cushman, C. Vuong i M. R. Mehta, *Impaired spatial selectivity and intact phase precession in two-dimensional virtual reality*, u Nature Neuroscience, 2015.
8. G. Chen, J. A. King, N. Burgess i J. O'Keefe, *How vision and movement combine in the hippocampal place code*, u Proceedings of the National Academy of Science USA, 2013.
9. C. D. Harvey, F. Collman, D. A. Dombeck i D. W. Tank, *Intracellular dynamics of hippocampal place cells during virtual navigation*, u Nature, 2009.
10. F. A. Azevedo, L. R. Carvalho, L. T. Grinberg, J. M. Farfel, R. E. Ferretti, R. E. Leite, W. Jacob Filho, R. Lent i S. Herculano-Houzel, *Equal numbers of neuronal and nonneuronal cells make the human brain an isometrically scaled-up primate brain*, u Journal of Computational Neurology, 2009.
11. H. S. Mortensen, B. Pakkenberg, M. Dam, R. Dietz, C. Sonne, B. Mikkelsen i N. Eriksen, *Quantitative relationships in delphinid neocortex*, u Frontiers in Neuroanatomy, 2014.
12. G. Roth i U. Dicke, *Evolution of the brain and intelligence*, u Trends in Cognitive Sciences, 2005.
13. G. Mather, *Foundations of Sensation and Perception*, Psychology Press, Hove, UK, 2008.
14. B. D. Lawson, *Motion sickness symptomatology and origins*, u Handbook of Virtual Environments, 2nd Edition (K. S. Hale i K. M. Stanney, ur.), CRC Press, Boca Raton, FL, SAD, 2015.

15. J. K. Bowmaker i H. J. A. Dartnall, *Visual pigment of rods and cones in a human retina*, u Journal of Physiology, 1980.
16. F. Wright, C. F. Chakarova, M. M. Abd El-Aziz i S. S. Bhattacharya, *Photoreceptor degeneration: genetic and mechanistic dissection of a complex trait*, u Nature Reviews Genetics, 2010.
17. R. Darwin, *New experiments on the ocular spectra of light and colours*, u Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1786.
18. E. B. Goldstein, *Sensation and Perception, 9th Ed.*, Wadsworth, Belmont, CA, SAD, 2014.
19. M. Rofls, *Microsaccades: Small steps on a long way*, u Psychological Bulletin, 2009.
20. J. T. Reason i J. J. Brand, *Motion Sickness*, u Academic, New York, SAD, 1975.
21. S. Marschner i P. Shirley, *Fundamentals of Computer Graphics, 4th Ed.*, u CRC Press, Boca Raton, FL, SAD, 2015.
22. D. Egan, S. Brennan, J. Barrett, Y. Qiao, C. Timmerer i N. Murray, *An Evaluation of Heart Rate and Electrodermal Activity as an Objective QoE Evaluation method for Immersive Virtual Reality Enviroments*, u ITEC, Klagenfurt am Worthersee, Austria, 2016.