

# Pregled naprav, tehnologij in področij uporabe navidezne, izboljšane in mešane resničnosti

**Andrej Somrak, Jože Guna**

*Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana  
E-pošta: andrej.somrak@lfe.org, joze.guna@fe.uni-lj.si*

**Povzetek.** V prispevku je predstavljen state-of-the art pregled naprav in tehnologij na področju navidezne resničnosti (angl. VR – Virtual Reality), izboljšane resničnosti (angl. AR – Augmented Reality) in mešane resničnosti (angl. MR – Mixed Reality). V zadnjih štirih letih se je na omenjenih področjih pojavilo veliko izdelkov in izdelovalcev, medtem ko so vplivi dolgotrajne uporabe teh naprav v veliki meri še vedno neznan. Poleg tehnološke zrelosti in ekonomske upravičenosti so vidiki uporabniške izkušnje, uporabnosti, dostopnosti in vpliva na zdravje ključni za sprejetje tehnologij s strani uporabnikov. Osredinili smo se na tehnološke probleme, ki jih moramo rešiti za zadovoljujočo uporabniško izkušnjo brez stranskih učinkov uporabe.

**Ključne besede:** navidezna resničnost, izboljšana resničnost, mešana resničnost

## Overview of devices and technologies in the area of virtual-, augmented-, and mixed-reality applications

We present a state-of-the art overview of devices and technologies in the area of Virtual-Reality (VR), Augmented-Reality (AR) and Mixed-Reality (MR) applications. In the last four years, a large number of products and manufacturers have appeared in the field of these technologies while the effects of the prolonged use of these devices are still largely unknown. Besides the technological maturity and economic viability, the aspects of the user experience, usability, accessibility and health-oriented effects are crucial for the user adoption. We focus on the technological issues needed to be solved in order to satisfy the user experience with no adverse health effects.

**Keywords:** virtual reality, augmented reality, mixed reality

## 1 UVOD

Navidezna resničnost (angl. Virtual Reality – VR), izboljšana resničnost (angl. Augmented Reality – AR) in mešana resničnost (angl. Mixed/Merged Reality – MR) so tehnologije, ki obljublajo, da nam bodo v bližnji prihodnosti spremenile način dela, zabave, komunikacije, izobraževanja in življenja sploh.

Po oceni podjetja PiperJaffray [1] bo leta 2025 trg storitev VR obsegal 5,4 milijarde dolarjev, na trgu pa bo 500 milijonov naprav z ocenjeno vrednostjo 62 milijard dolarjev. Analitska hiša Gartner v poročilu »Krivulja posvajanja tehnologij« za leto 2017 (angl. Hype Cycle for Emerging Technologies) [2] napoveduje, da bo VR v široki uporabi čez dve do pet let, AR/MR pa čez pet do deset let. Trenutno se AR/MR nahaja v fazi streznitve (angl. Through of Disillusionment), VR pa že v fazi razsvetljenja (angl. Slope of Elightenment). Obe oceni

napovedujeta pomembnost teh tehnologij v bližnji prihodnosti, s čimer je povezana tudi motivacija za izdelavo tega dela.

Na trg redno prihajajo nove naprave, tehnologije pa se nenehno izpopolnjujejo. Naprave postajajo cenovno čedalje bolj dostopne potrošnikom, nenehno pa se razvijajo novi koncepti za reševanje tako strojnih kot programskih omejitev in izzivov [3].

Za optimalno delovanje VR/AR/MR je treba vključiti kar precej podrejenih tehnologij, ki so v zadnjih letih izjemno napredovale, da lahko skupaj omogočijo kakovostno uporabniško izkušnjo brez, oziroma z najmanj stranskimi zdravstvenimi učinki. Najpomembnejše s tem povezane tehnologije so računalniška grafika, zajem 360-stopinjske slike in videa v visoki ločljivosti, shranjevanje in prenos velikih količin podatkov, izdelava visoko ločljivih in hitro odzivnih zaslonov, računalniški vid, senzorske tehnologije, razpoznavna govora, gest, obraznih izrazov, haptične in taktilne tehnologije ter umetna inteligenca. Večina teh tehnologij je že dosegla napredek, da so dovolj natančne in robustne, da lahko omogočijo tako profesionalno uporabo kot tudi znanstveno raziskovanje [3].

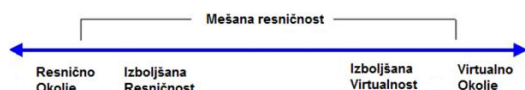
Ključni prispevki tega dela so v pregledu področja naprav, tehnologij, področij uporabe naprav za navidezno resničnost, s poudarkoma na dostopnosti in stranskih zdravstvenih učinkih, ki jih uporaba te nove tehnologije prinaša.

V nadaljevanju prispevka podajamo opis pregleda v naslednjem vrstnem redu. Najprej predstavimo razlike med posameznimi oblikami resničnostmi, sledi pregled področij uporabe in naprav, ki so trenutno na voljo, nato predstavimo uporabniško izkušnjo, interakcijo, sledenje

uporabniku, stranske zdravstvene učinke, dostopnost in varnost uporabe. Nadaljujemo s trendi in ključnimi raziskovalnimi področji, prispevek pa zaključujemo z razpravo in najpomembnejšimi sklepnimi ugotovitvami.

## 2 NAVIDEZNA, IZBOLJŠANA IN MEŠANA RESNIČNOST

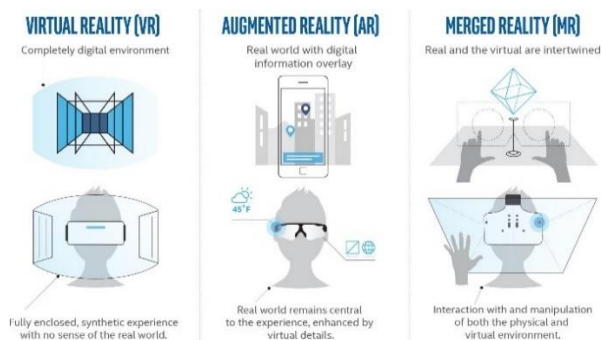
Poznamo več stopenj resničnosti, ki postopoma prehajajo med čisto resničnostjo in čisto navideznostjo.



Slika 1: Kontinuum resničnosti in navideznosti [4]

Navidezna resničnost je pojem, uporabljen za opis tridimenzionalnega, popolnoma računalniško ustvarjenega okolja, ki ga lahko uporabnik raziskuje in v katerem težko loči, kaj je resnično in kaj ni. Pri izboljšani in mešani resničnosti se ne potopimo popolnoma v navidezni svet in ne zakrijemo svojega resničnega sveta v celoti, temveč v resnični svet, v katerem se nahajamo, dodamo digitalne elemente in informacije. Mešana resničnost je podobna izboljšani resničnosti, vendar pa so pri njej digitalni elementi umeščeni v resnični svet tako, da se zavedajo prostora, v katerem se nahajajo, in z resničnim svetom interaktivirajo.

Medtem, ko je VR že 30 in več let stara tehnologija, so AR in MR nove tehnologije. AR se trenutno že uporablja na mobilnih napravah (npr. aplikacija pokemon, snapchat, FB-aplikacije itd.), MR pa je še v fazi razvoja in naprave še niso komercialno dobavljive.



Slika 2: Primerjava med različnimi oblikami resničnosti (Vir: extremetech.com)

Navidezna resničnost je osebi predstavljena s pomočjo naglavnega VR prikazovalnika, slušalk, haptičnih in taktilnih naprav itd. Vsak del tega sistema je potreben za simuliranje določenih čutil za dojetje iluzije kot realnosti. Zaslona je osrednji in najpomembnejši del izkušnje na področju navidezne resničnosti.

Glede na rek, da slika pove več kot 1000 besed, bi lahko rekli, da VR pove več kot 1000 slik.

## 3 PODROČJA UPORABE

Navidezna resničnost, ki je namenjena potrošnikom in ne industriji, se trenutno največ uporablja za igranje iger in zabavo (ogled 360-stopinjskih videov, videov za odrasle in spremljanje dogodkov v živo), vendar je področje uporabe zelo široko tako za splošno uporabo kot tudi za industrijo in poslovna okolja. Navidezna resničnost se uporablja za:

- treninge in simulacije [5][6];
- povečanje empatije, ki jo občuti uporabnik, ko je vživet v zgodbo, iz tega izhaja tudi t. i. vživeto novinarstvo [7];
- je del industrije 4.0, v kateri se uporablja predvsem za izdelavo prototipov [8][9];
- izobraževanje [10];
- medicino in zdravstvo [11][12][13][14][15]
- trženje in nakupovanje [16];
- nepremičnine in arhitekturo [17][18];
- umetnost [19];
- druženje in oddaljeno skupinsko delo [20];
- turizem (navidezna potovanja) [21];
- vizualizacijo velikih količin podatkov [22] [23];
- kinematografijo VR [24];
- in drugo.

Od navedenih področij se zadnje čase veliko vlaga v aplikacije za druženje (angl. Social VR), ki bodo uporabnikom omogočile druženje znotraj VR, kjer bodo lahko predstavljeni drug drugemu kot animirani avatarji, ali pa z bolj resnično upodobitvijo. Eno zanimivejših rešitev je leta 2017 predstavil Facebook in se imenuje Facebook Spaces [25]. Ta omogoča druženje treh oseb znotraj virtualnih okolij in tudi znotraj 360-stopinjskega videa. Zelo popularno platformo za VR druženje AltSpace pa je nedavno prevzel Microsoft [26].

Zelo veliko uporabnost imajo tehnologije VR v medicini in zdravstvu. Tako imenovana terapija VR (angl. VR Therapy) se je izkazala za uspešno pri fobijah, strahu pred letenjem [11], pomaga pri motnji PTSD (angl. Post Traumatic Stress Disorder) [27], kroničnih bolečinah [14], rehabilitaciji [13], parkinsonovi bolezni [12], depresijah itd.

Izdelava prototipov se uporablja v avtomobilski, letalski in vesoljski industriji, pri izdelavi pohištva in notranje opreme, oblačil itd. [8][9] Z uporabo VR prototipa se razvijalec lahko postavi v VR svet, ki vsebuje njegov prototip. Z njim je lahko interaktiven in lahko hitro izvede spremembe. Mogoče je tudi prototip v VR okolju pokazati naročnikom, ki ga tako bolje doživijo in razumejo. Največja prednost takšne tehnologije pa je prav gotovo jasna predstava o končnem izdelku, ki prihrani veliko časa in ne nazadnje denarja.

VR tehnologija se je zelo razširila v arhitekturi in pri prodaji nepremičnin [17][18]. Arhitekt si lahko ogleda svojo stvaritev že pred gradnjo, lahko simulira svetlobo in vpad sonca v prostore, pri prodaji nepremičnin pa se ogled nepremičnin lahko opravi kar od doma ali v

prostorih nepremičninske agencije, kar še posebej pride v poštev pri ogledu oddaljenih nepremičnin.

Prvoosebna izkušnja, ki jo daje VR, je močno orodje za doseganje empatije do drugih ljudi in njihovih situacij. Svet je še vedno neenak in deli ljudi glede na raso, vero, starost, spol, spolno usmerjenost, socialni status in izobrazbo. Tu napredek najbolj omejuje to, da si večina ljudi ne predstavlja, kako je biti v koži nekoga drugega [28]. Nekateri imajo lahko sočutje do ljudi, vendar prvoosebna izkušnja prinese močnejša čustva, kot pa samo branje ali poslušanje o stiskah drugih ljudi. Primer je VR projekt, ki so ga sponzorirali Združeni narodi, ko so z uporabo VR ljudi postavili v izkušnjo sirske begunke [29]. Z uporabo empatije lahko dosežemo sprejemljivost drugih družbenih slojev in ras.

Iz tega se je razvila tudi nova veja novinarstva, tako imenovano vživeto novinarstvo (angl. Immersive Journalism), ki ljudem omogoča prvoosebno izkušnjo dogodkov oziroma situacij, o katerih se poroča v novicah ali dokumentarnih filmih [30]. Pri tem je ključno, da se z novim medijem ne spreminja samo pogled, temveč tudi način podajanja zgodb. Večino zgodb bomo na ta način doživeli bistveno bolj intenzivno in ne bomo samo bralci oziroma opazovalci, ampak tudi udeleženci dogodkov.

#### 4 DELITEV NAPRAV

Predstavljamo ugotovitve pregleda naprav virtualne resničnosti, ki jih lahko delimo na pet tipov:

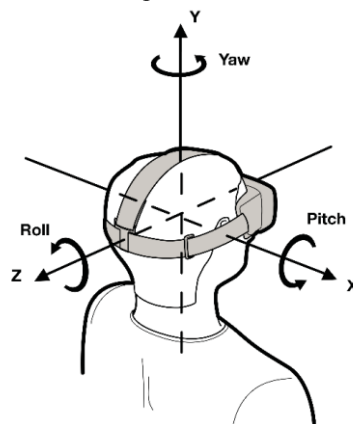
- prenosne naprave, ki za svoje delovanje potrebujejo mobilni telefon (Google Cardboard, Google DayDream, Samsung Gear VR itd.);
- samostojne prenosne VR naprave (Pico Goblin, Oculus Go, HTC Vive Focus itd.);
- naprave, ki za svoje delovanje potrebujejo povezavo z zmogljivim računalnikom (HTC Vive, Oculus Rift, Modal VR, Windows Mixed Reality naprave itd.);
- naprave, ki se priključijo na igralno konzolo (Sony Playstation VR);
- profesionalne postavitve CAVE VR.

VR naprave so pogosto razvrščene tudi po prostostnih stopnjah (angl. DOF – Degrees of Freedom), ki jih omogočajo. To velja tako za naglavne prikazovalnike, kot tudi za krmilnike. Šest prostostnih stopenj pomeni svobodo gibanja togega telesa v 3D prostoru. Zajema translacije v pravokotnem koordinatnem sistemu, kot so naprej/nazaj (angl. forward/backward, oziroma surge), dol/gor (angl. up/down, oziroma heave), levo/desno (angl. left/right, oziroma sway) in rotacije okrog koordinatnih osi, kotaljenje (angl. Roll), nagib (angl. Pitch) in odklon (angl. Yaw).

Najpreprostejša in najcenejša naprava za prikazovanje navidezne resničnosti je Google Cardboard oziroma Googlova kartonka [31]. Sestavljena je iz kartonastega ogrodja in para leč, ki poskrbita za pravilen prikaz slik in magnetnega stikala za preprosto interakcijo v aplikacijah.

Za prikaz potrebujemo pametni telefon Android ali iOS, ki ga vstavimo pred leči v temu namenjen prostor.

Samostojne prenosne VR naprave lahko temeljijo na mobilni tehnologiji, imajo vgrajeni zmogljivejšo procesorsko in grafično enoto oziroma so z zmogljivim računalnikom brezžično povezane.



Slika 3: Prostostne stopnje pri rotaciji [Vir: packtpub.com]

Ena prvih tehnološko zrelih naprav za navidezno resničnost je Oculus Rift [32], ki še vedno uživa status referenčne naprave, saj se je leta 2012 z njo začela revolucija VR. Med boljše zmogljivejše naprave za virtualno resničnost se uvršča HTC Vive [33], trenutno najbolj prodajana naprava je Sony Playstation VR [34], od prenosnih naprav pa Samsung Gear VR [35] s prodanimi več kot 7 milijoni enot.

Samsung Gear VR je bil predstavljen leta 2015 in za svoje delovanje potrebuje pametni mobilni telefon Samsung Galaxy višjega cenovnega razreda. V letu 2017 pa je bila skupaj s telefonom Galaxy S8 predstavljena izboljšana različica, ki vsebuje tudi manjši krmilnik za lažjo interakcijo v navidezni okoljih.

Prednost prenosnih naprav je nizka cena in seveda prenosljivost, da lahko naprave uporabljamo tako rekoč kjerkoli in kadarkoli. Slabost pa je v manjših zmogljivostih procesorske in grafične enote za izris bolj realistične grafike in ostrih tekstur, naprave imajo slabšo odzivnost in čas osveževanja zaslona (tipično 60 Hz), pri uporabi z mobilnim telefonom se le-ta precej pregreva, imajo kratek čas avtonomije, še posebej pa izstopa to, da omogočajo samo sledenje v treh prostostnih stopnjah. Ponavadi omogočajo samo sledenje rotacije glave v treh prostostnih stopnjah, ne pa tudi položaja glave oziroma telesa v prostoru, kar vpliva na slabšo uporabniško izkušnjo pri raziskovanju navidezni svetov. To pomeni, da ko se nagnemo ali premaknemo v VR, se ne premaknemo znotraj navidezne resničnosti, temveč se ves VR svet premakne skupaj z nami. Naprava HTC Vive Focus sicer obljublja tudi sledenje v šestih prostostnih stopnjah.

Med napravami za izboljšano oziroma mešano resničnost izstopajo naprave Microsoft HoloLens, Magic Leap, Meta 2 in ODG R-8 ter R-9, vse pa so še v razvoju in dobavljive samo kot razvojni kompleti, vendar se kljub

temu nekatere že uporabljajo v profesionalne namene, imajo pa velik potencial za rast v poslovnih okoljih in industriji.

Poznamo delno potopljene (angl. Semi Immersive) VR izkušnje (npr. PowerWall, Immersa desk, Monocular headset) in popolnoma potopljene (angl. Full immersive) VR izkušnje, ki jih dosežemo s stereoskopskimi očali in sistemi CAVE.

## 5 UPORABNIŠKA IZKUŠNJA IN INTERAKCIJA

Za doseganje celovite uporabniške izkušnje (angl. User eXperience, UX), občutka življenja (angl. Immersion) in občutka prisotnosti v okoljih VR (angl. Sense of Presence) je treba poleg dobre odzivnosti vplivati tudi na človeška čutila (vid, sluh, vonj, dotik in okus). Zelo pomembno čutilo, ki je v VR še posebej pomembno, je propriocepcija, ki nam daje občutek položajev telesa in gibanja v prostoru. Zmožnost prostorske orientacije in ravnotežja je rezultat sinhroniziranih informacij iz čutil vestibularnega, vizualnega in proprioceptijskega sistema [36].

Za doseganje iluzije 3D slike je uporabljen stereoskopski prikaz na dveh ločenih zaslonih, kjer se vsakemu očesu izriše ustrezno zamaknjena slika. Bolj ko sta sliki zamaknjena, bližje je objekt. Da bi se vsaka slika pravilno izrisala na zaslonu, mora sistem ves čas zaznavati usmerjenosti in položaj uporabnikove glave, slika pa se mora osveževati dovolj hitro in v dovolj veliki ločljivosti. Za gladko izkušnjo mora biti časovna zakasnitev med gibom in spremembo slike na zaslonu med 15 in 25 milisekundami (angl. Motion-to-photons Latency) [28]. Višje vrednosti lahko pripomorejo k povečani VR slabosti.

Za sluh velja, da je za čim večjo življenjsko treba zagotoviti kakovostno reprodukcijo zvoka in 3D upodobitev, da ustreza prostoru v katerem se uporabnik nahaja, upoštevati odmeve od objektov v VR, pri socialni interakciji pa zagotoviti, da zvok prihaja iz ust oziroma lokacije govorečega [28].

Pomembna je izdelava kakovostnih mehanizmov interakcije, ki ob dobri izvedbi omogočajo zadovoljivo uporabniško izkušnjo, povečajo udobje in preprečijo oziroma zmanjšajo nezaželene stranske zdravstvene učinke uporabe tehnologij VR [36][28].

Pri razvoju aplikacij VR moramo biti pozorni na ergonomijo in udobje uporabnika, predvsem glede utrujenosti rok in ramen. Z ustreznim načrtovanjem preprečimo poškodbe zaradi ponavljajočih se gibov, ki se lahko sčasoma razvijejo in povzročijo dolgotrajno delovno nezmožnost, zmanjšamo utrujenost ter povečamo udobje in produktivnost.

Utrujenosti se lahko izognemo tako, da uporabimo različne tipe interakcij, ki omogočajo uporabniku, da pri tem uporablja različne mišične skupine. Pogostejše interakcije naj bodo kratke, preproste in izvedene s čim manj napora, medtem ko manj pogoste interakcije lahko zahtevajo več napora. Pogosto uporabljani interaktivni elementi naj bodo postavljeni znotraj človekove cone

udobja (angl. Human Comfort Zone), ki se nahaja med višino mize in višino oči. Zaradi ergonomskih razlogov je najboljšo mesto za postavitev uporabniških vmesnikov tipično na višini prsne kosti.

Ker v VR okoljih nimamo klasične miške, s katero upravljamo računalnik, je veliko razvoja namenjenega tudi naravnim uporabniškim vmesnikom (angl. NUI – Natural User Interface), ki jih upravljamo s pomočjo gest, glasu, pogleda itd. Razvoj pa je usmerjen tudi k najpopolnejšemu vmesniku za komunikacijo z računalnikom, tako imenovanim vmesnikom možgani-stroj (angl. BCI – Brain Computer Interface).

Izdelava navideznih svetov je postala veliko bolj dostopna zaradi orodij za razvoj iger, kot sta Unreal Engine in Unity. Njuna prednost je predvsem preprostost uporabe zaradi obsežne dokumentacije in velike skupnosti, ki si med seboj pomagata.

## 6 SLEDENJE UPORABNIKU IN POVRATNI ODZIV

Zanesljivo, hitro sledenje položaja uporabnika je zelo pomembno za dobro uporabniško izkušnjo in občutek življenja [28], zato naglavni sistemi in krmilniki največkrat vsebujejo pospeškomer, žiroskop in magnetometer. Zadnji spadajo med IMU (angl. Inertial Measurement Unit) naprave – inercialna merilna enota. Oculus Rift in Sony Playstation VR vsebujeta tudi infrardeče diode oziroma osvetljene dele, katerih položaj spremlja zunanja kamera, pri napravi HTC Vive pa je za sledenje uporabniku uporabljen t. i. sistem Lighthouse, ki spremlja prostor do 4,5 m x 4,5 m in gibanje uporabnika v njem. Ta način sledenja imenujemo navzven-znotraj (angl. Outside-In), nekatere, predvsem prihajajoče naprave, pa bodo imele sledenje znotraj-navzven (angl. Inside-Out) z vgrajenimi senzorji na naglavnem prikazovalniku za razpoznavo prostora, v katerem se posameznik nahaja.

Sledimo lahko posameznikovim čutilnim organom (kot so oči), drugim telesnim delom (glava, roke [37], cel skelet itd.), pa tudi prostoru, v katerem se uporabnik nahaja [36]. To pride v poštev za izboljšanje interaktivnosti in za varnost uporabe pri sistemih, v katerih se uporabnik VR sprehaja po prostoru, pri MR pa je sledenje prostoru pomembno, da se digitalni objekti čim bolj umestijo v resnični prostor.

Sledenje delimo na aktivno in pasivno. Pri aktivnem sledenju se uporabijo viri informacij, ki v prostoru že obstajajo, pri aktivnem pa v prostor oddajamo energijo, kot so ultrazvočna, infrardeča in elektromagnetna polja. Ker posamezniki delujejo v istem prostoru, viri energije, ki jih lahko zaznavajo s svojimi čutili, niso primerni (zvok, svetloba).

Zanimivo in še precej neraziskano področje je sledenje pogledu, ki se lahko uporablja za interakcijo, za izboljšanje uporabniške izkušnje in selektivno kakovost upodobljanja slike (angl. Foveated Rendering) [36], pri čemer je slika upodobljena v visoki ločljivosti samo v

delu, ki ga zaznava del očesa, imenovan fovea oziroma rumena pega. S tem dosežemo manjšo obremenitev procesorske in grafične enote in s tem manjšo porabo baterije pri prenosnih napravah, povečamo občutek živjetosti in vplivamo na zmanjšanje VR slabosti. Za sledenje pogledu se uporablja elektrookulografija, tehnika s pomočjo kontaktnih leč z magnetnimi navitji, ki povzročijo spremembo potenciala v okoliškem magnetnem polju, ter videookulografija. Slednja se uporablja pri VR napravah ker je najmanj invazivna in povzroča najmanj nelagodja uporabnikom. Pri njej oko osvetljujemo z IR svetlobo in z zaznavo odboja svetlobe ugotavljamo položaj oči oziroma zenice.

Za predstavo o prostoru, v katerem se uporabnik nahaja, se s pomočjo (globinskih) kamer in tehnike SLAM (angl. Simultaneous Localization and Tracking), ki izhajajo iz računalniškega vida in robotike, izdelava 3D predstava o prostoru, v katerem se nahaja uporabnik.

Sledenje celemu telesu (angl. Motion Capture - MOCAP) lahko bistveno pripomore k občutku živjetosti in tudi občutku socialne prisotnosti. Izvaja se tipično z obleko za zajem gibanja, podobno kot se uporablja v filmski industriji. Za sledenje se uporabljajo naslednji načini zajema gibanja: elektromagnetno, elektromehanično, optično z značkami ali brez itd.

Za čim močnejši občutek živjetosti je treba stimulirati čutila uporabnika, velja pa pravilo, da več čutil ko stimuliramo, močnejši bo občutek živjetosti uporabnika. To izvedemo s haptičnimi, taktilnimi in drugimi napravami, ki so pogosto kar vgrajene v vhodne naprave – krmilnike. Haptične naprave vplivajo na večje mišice, medtem ko taktilne naprave delujejo na dotik površine, za kar ne potrebujemo sile. Obstajajo tudi obleke (angl. Full-body ali Haptic Suits), ki se uporabljajo predvsem pri igranju iger in med drugim simulirajo eksplozije in zadetke metkov.

Pasivne haptične naprave predstavljajo 3D natisnjene objekte, ki so poleg fizične lokacije v resničnem okolju predstavljene tudi v navideznem okolju. Ti objekti so v resničnem svetu nedelujoči, v VR svetu pa so predstavljeni kot popolno delujoči objekti, kot npr. gumbi, instrumenti v kokpitu itd [36].

Vsestranska tekalna steza (angl. Omnidirectional Treadmill) je mehanska naprava, podobna klasični tekalni stezi, s to razliko, da omogoča, da se uporabnik giblje v vse smeri, kar omogoča 360-stopinjsko gibanje in hojo oziroma tek neomejene razdalje hodi v vse smeri (npr. Virtuix Omni [38]).

V VR se pri gibanju v omejenem prostoru lahko izkoristi t. i. efekt preusmerjene hoje (angl. Redirected Walking), kjer lahko z manipulacijo slike in pametno zasnovanim navideznim svetom ustvarimo iluzijo neskončnega prostora. Namreč zelo težko hodimo naravnost, če ne uporabljamo oči za korekcijo orientacije, saj bo ena smer dominirala zaradi neravnovesja v moči in zaznavanju čutil, kar bo povzročilo, da bodo ljudje hodili v krogih. Hoditi naravnost po ravni črti brez vizualnih znamenj je za

človeka zelo težko, ker je v resničnem svetu nemogoče doseči popolno simetrijo [39].

## 7 STRANSKI ZDRAVSTVENI UČINKI UPORABE

Uporaba navidezne resničnosti prinaša tudi določene nezaželene stranske učinke: VR slabost (angl. VR Sickness) [40], utrujenost oči [41], pri slabo načrtovanih interakcijah pa nas lahko doleti simptom t. i. gorilje roke (angl. Gorilla Arm), obstaja pa tudi tveganje za asocijalnost uporabnikov. Vplivi dolgotrajne uporabe teh naprav so v veliki meri še vedno neznan. Sistemi za prikaz navidezne resničnosti lahko povzročajo tudi prostorsko dezorientacijo in težave z ravnotežjem po uporabi.

VR slabost je najpogostejši nezaželeni stranski zdravstveni učinek. Je precej podobna slabosti gibanja (angl. Motion Sickness) in simulacijski slabosti (angl. Simulation Sickness). Do nje pride takrat, ko vizualni podatki iz simuliranega okolja predstavljajo gibanje, vendar pa posameznik miruje, in tako pride do konflikta med vidnimi, vestibularnimi in proprioceptivnimi čutili. Najpogostejši simptomi so splošno nelagodje, glavobol, slabost, bruhanje (zelo redko) in vrtoglavica. Od slabosti gibanja se razlikuje po tem, da jo lahko povzroči tudi zgolj vizualni prikaz gibanja in pri tem dejansko gibanje ni potrebno. Na VR slabost vplivajo še zakasnitev odziva in optična popačenja [28].

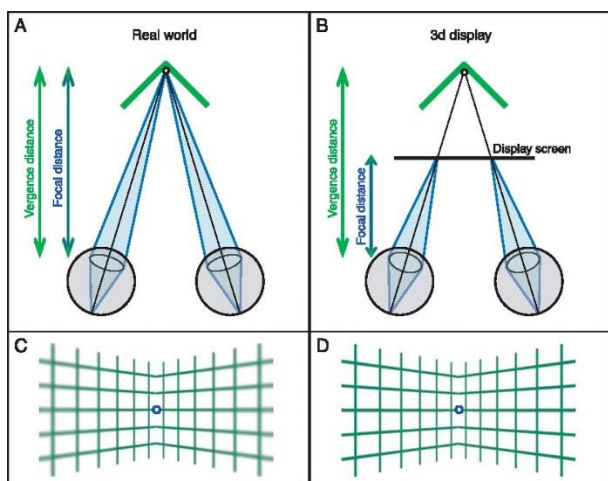
Najpogostejši standardni način ocenjevanja VR slabosti je s SSQ vprašalnikom (angl. Simulation Sickness Questionnaire), ocenjujemo jo pa tudi s fiziološkimi parametri (srčni utrip, dihanje, prevodnost in temperatura kože) in posturalnim odzivom (angl. Postural Sway) [40].

Na tem področju je bilo izvedenih največ raziskav, kar ni presenetljivo, saj je to eden poglobitnih razlogov zamrtja industrije VR v zgodnjih 90. letih prejšnjega stoletja.

Do utrujenosti oči pride zaradi pojava, ki se imenuje konflikt akomodacije konvergenca (angl. Vergence Accommodation Conflict) [41]. Pri tem gre za to, da se pri uporabi naglavnih VR prikazovalnikov goriščna razdalja očesnih leč razlikuje od konvergentne razdalje očesnih zrkel.

Na sliki 4 je v primerih A in B prikazana primerjava med pogledom v resničnem okolju in pri pogledu z VR prikazovalnikom, na primeru C in D pa primerjava med izkusom globine. V resničnem okolju sta goriščna razdalja leč in konvergenčna razdalja zrkel enaki, pri uporabi naglavnih VR prikazovalnikov pa se razlikujeta.

Pri pogledu se zgodita dve stvari. Najprej usmerimo zrkli na objekt, ki ga želimo videti. Če je objekt blizu, očesni zrkli konvergirata navznoter, če je daleč, pa divergirata navzven. Nato pa se leči izostrita na razdaljo zaslona, kar imenujemo akomodacija. V resničnem okolju sta konvergenca in akomodacija združeni oziroma usmerjeni na enako razdaljo, pri VR prikazovalnikih pa leči vedno akomodirata na razdaljo zaslona, a zrkli konvergirata na neko oddaljeno točko.



Slika 4: Konflikt akomodacije konvergence [41]

Zaradi tega pride do nezaželenih učinkov, kot so neudobje, utrujenost, glavobol itd., pojav pa lahko pripomore k VR slabosti. Do utrujenosti oči pride še hitreje, če je spreminjane pogleda na daleč in blizu hitro in nenadno.

Za rešitev tega problema je bilo izvedenih že veliko raziskav in razvoja rešitev. Rešitev je lahko strojna prilagoditev, kot npr. uporaba svetlobnih polj (angl. Light Field).

## 8 VARNOST UPORABE

Pri uporabi VR naprav, ki so na osebni računalnik priključene s kablom, se lahko tedaj, ko je uporabnik v stoječem položaju in ima resnični svet zakrit, zgodi, da se zaplete v kabel in pade, kar pa se ne more zgoditi pri prenosnih VR napravah, ki so s tega stališča nekoliko varnejše. Tveganje za padec obstaja tudi, da se uporabnik spotakne ob mizo, otroka, domačo žival itd., te nevarnosti pa ni pri uporabi AR/MR naprav, saj uporabnik vidi svoj resnični svet. Pri raziskovanju navideznega okolja v stoječem položaju je priporočljivo, da se zraven nahaja pomočnik, ki uporabnika VR opazuje in je pozoren, da se ne zaplete v kabel in mu pomaga obdržati ravnotežje, če je potrebno. Prav tako lahko pri pojavu VR slabosti uporabnik izgubi ravnotežje in pade, zato je pomembno, da se začne uporaba VR naprav v sedečem položaju, da se uporabnik navadi na VR izkušnjo.

Za uporabnike ki se prvič srečajo z VR, je pomembno, da začnejo s kratkimi sejami in premori med njimi, seje tudi ne smejo biti predolge, dokler se uporabnik na VR izkušnjo ne navadi. Uporaba VR se odsvetuje ljudem, ki niso zdravi. Pri prvih opozorilnih znakih VR slabosti, kot sta bledica in potenje, je treba sejo nemudoma prekiniti. Po VR izkušnji naj uporabniki v naslednjih 30 do 45 minutah ne vozijo avtomobila oziroma ne upravljajo strojev.

Pri uporabi VR naprav, ki jih delimo med več uporabniki, lahko pride do prenosa kožnih bolezni med uporabniki, zato je primerno, da se v teh primerih

uporabljajo papirnate kape in robčki, ki se vstavijo med napravo in obraz uporabnika, tam, kjer se VR naprava dotika obraza. Po vsaki uporabi pa naj se naprava in leče očistijo z razkužilno tekočino.

## 9 DOSTOPNOST

Navidezna resničnost prinaša nove izkušnje in terapevtske učinke tudi ljudem s telesnimi omejitvami oziroma posebnimi potrebami, hkrati pa jim tehnologija prinaša nove omejitve, kar lahko onemogoči ali omeji uporabo tehnologije. Področje dostopnosti je področje, v katerem je še veliko prostora za raziskave in izboljšave, obsega pa naslednje omejitve:

- že omenjeno VR slabost;
- okvaro motoričnih sposobnosti;
- okvaro sluha;
- fotosenzitivnost;
- okvaro vida.

Razlikujemo naslednje motorične sposobnosti: moč, hitrost, gibljivost, koordinacijo, ravnotežje, preciznost in vzdržljivost. Pri igranju tradicionalnih dvodimenzionalnih iger je pomembna zmožnost upravljanja krmilnika, pri VR pa so za upravljanje in interakcijo potrebne zahtevnejše in kompleksnejše motorične sposobnosti. Te motorične okvare so velik izziv – nekatere so nepremostljive, toda večinoma niso. Osnova pri prilagoditvi aplikacij za ljudi z motoričnimi okvarami je ponuditi možnost izbire, kot je uporaba standardnega krmilnika namesto sledenja rokam ali hoji itd.

Enostranska izguba sluha je pogosta, kar pomeni, da uporabnik nima občutka, iz katere smeri zvok prihaja. V resničnem življenju je enostranska izguba sluha delno ublažena zaradi odmeva. Velik izziv za ljudi z okvaro sluha so tudi podnapisi, ki so lahko tekstovni ekvivalent govora in pomembnih zvokov v VR okolju. Ker v VR nimamo dna zaslona, se pojavi izziv, kam v VR postaviti podnapise. Lahko so postavljeni lebdče na dno uporabnikovega vidnega polja in morajo biti blizu uporabnika, da ne prekrivajo objektov, vendar tak način postavitve podnapisov privede do konflikta akomodacije konvergence in utrujenosti oči. Da se temu izognemo, lahko podnapise naredimo kontekstualne in jih »obesimo« na vir zvoka, kar je najpogostejše na karakter v igri, vendar pa se pojavi problem, če uporabnik gleda stran od vira zvoka. Ker uporabnik ne ve, da nekdo govori, ni razloga, da bi se obrnil k viru zvoka in prebral besedilo, zato taka rešitev tudi ni idealna. Boljša rešitev je kombinacija obeh pristopov, to je, da so podnapisi kontekstualni, ko je vir zvoka v območju uporabnikovega pogleda, in postavljeni na neko fiksno točko/distanco, ko ni.

Fotosenzitivna epilepsija je redka, vendar je to kljub temu pomembno področje dostopnosti, saj so lahko posledice zelo resne in lahko povzročijo hude telesne poškodbe. Pomemben dejavnik poleg časa trajanja vizualnega efekta, ki vpliva na sprožitev epileptičnega

napada, je velikost vidnega polja, kjer je prikazan vizualni efekt, kar pa v VR lahko pomeni celotno vidno polje. Pomembno je vedeti, da uporaba VR ne povzroči, da zbolimo za epilepsijo, temveč lahko samo sproži epileptične napade. Zato se priporoča, da se v VR popolnoma izognemo vsem standardnim znanim sprožilcem, ne glede na to, kolikšen del vidnega polja pomeni vizualni efekt.

Droben tekst in majhen uporabniški vmesnik sta na splošno pogosti pripombi pri navadnih 2D igrah kjer imajo uporabniki preprosto rešitev, to je, da se usedejo bliže oziroma približajo zaslonu, kar pa ne velja za VR, kjer se ne moremo usedi bliže zaslonu, niti ga ne moremo povečati, ker to bistveno poveča verjetnost VR slabosti.

Popolna slepota in VR se izključujeta, saj naj bi bil VR vizualen medij. Toda obstajajo VR igre, ki v celoti temeljijo na zvoku.

Obstaja pa še eno stanje, ki je unikatno pri uporabi VR, in to je t. i. stereoslepota (angl. Stereoblindness). Večino časa je nezmožnost videti stereosliko neproblematična, še zlasti, če je križec (angl. Crosshair) dobro viden, toda je to treba imeti v mislih pri načrtovanju, če je v igri karkoli, kar je odvisno od globinske zaznave. Jasen razlog za nezmožnost videti v stereo je zmanjšana oziroma ničelna vidljivost na eno oko. Zato je treba poskrbeti, da so elementi, kot so napisi, vedno prikazani na obeh zaslonih.

## 10 TRENDI

Glede na naprave, ki se napovedujejo, in vlaganje v razvoj tehnologij lahko napovemo, da bodo prihodnje generacije naprav imele naslednje funkcionalnosti:

- brezžično povezavo z računalnikom ali pa imele procesorsko in grafično enoto, vgrajeno že v sam naglavni prikazovalnik;
- vgrajeno bodo imele sledenje pogledu ali pa bo sledenje pogledu na voljo kot poseben modul;
- vgrajeno bodo imele zunanjo kamero za vključitev resničnega okolja v prostor VR in sledile prostoru, v katerem se uporabnik giblje, na način znotraj-navzven;
- napredovali bodo tudi zasloni, ki bodo imeli večjo ločljivost in bodo bolj odzivni.

Predvidevamo trend prenosnih samostojnih VR naprav brez povezave z zmogljivim računalnikom. Najpogostejša uporaba navidezne resničnosti bo s prenosnim telefonom in naglavnim prikazovalnikom, vendar predvidevamo, da bodo samostojne prenosne VR naprave večale svoj delež in ga postopoma prevzele.

Napravo, ki dobro povzame omenjene napovedi, je kot prototip samostojne prenosne naprave predstavil Samsung. Imenuje se imenuje Exynos VR III, ima vgrajeno sledenje pogledu in zaslon zelo visoke ločljivosti z 2000 ppi. Omogočeno bo sledenje rokam in gestam, naprava pa bo omogočala tudi prepoznavo govora in obraznih izrazov.

Živimo v internetni dobi, v dobi interneta stvari (angl. Internet of Things), kjer je (bo) vsaka naprava povezana v internet, in tako kot je zdaj pametni mobilni telefon brez dostopa do interneta tako rekoč neuporabna naprava, enako velja tudi za VR tehnologije, s tem, da so tu precej večje zahteve za hitrost prenosa podatkov, za kar bodo primerne tehnologije mobilnega prenosa podatkov pete generacije – 5G, ki pa za splošno uporabo ne bo na voljo do leta 2026 [2]. Še posebej to velja za pretočni 360-stopinjski video, ki pride do pravega izraza šele z 8k UHD videom ali celo 12k. Vendar pri zaslonih, ki se trenutno uporabljajo v prikazovalnikih VR, ne bi opazili razlike med 6k, 8k in 12k, poleg tega je oprema za snemanje v teh ločljivostih draga in težko dostopna, potrebujemo pa tudi zmogljivo opremo za obdelavo in tudi kodeki za pretočni 360-stopinjski video nad 4k niso prilagojeni.

## 11 RAZPRAVA IN SKLEP

V prispevku opisujemo razmah področij virtualne, izboljšane in mešane resničnosti. Posebej obravnavamo področja uporabe in naprave, ki so na voljo, in naprave, ki so še v razvoju. Dodatno predstavljamo stranske učinke uporabe in možnosti uporabe tehnologije ljudem s posebnimi potrebami. Predstavljamo principe za izdelavo dobre uporabniške izkušnje, sledenje uporabniku in prostoru in pomembnost stimulacije človekovih čutil, da bo občutek vživetosti v VR čim večji.

Ugotavljamo, da je področje naprav navidezne, izboljšane in mešane resničnosti hitro razvijajoče se področje z velikim potencialom za razvoj novih naprav in storitev, ima pa tudi potencial za vstop na nova področja in znanstveno raziskovanje. Veliko je še tehnoloških izzivov, da bodo naprave dostopne širšemu krogu uporabnikov, tako z vidika cenovne dostopnosti kot tudi dostopnosti ljudem s posebnimi potrebami. Poudarek pa bo treba dati tudi zmanjšanju stranskih učinkov uporabe, mehanizmom interakcije in ergonomiji, da bo uporabniška izkušnja čim boljša, da uporabnikov ne bo odvrnila od uporabe nove tehnologije.

Opazamo trend izdelave prenosnih naprav z dolgim časom avtonomije, razvoja številnih haptičnih in taktilnih naprav, ki delujejo na čim več človeških čutil. Od storitev oziroma aplikacij pa je v zadnjem času precej razvoja vloženega v aplikacije za druženje, ki sicer lahko nekako oddaljijo človeški stik in prinašajo tveganje za asocialnost, vendar pa lahko združijo ljudi iz različnih koncev sveta v različnih navideznih okoljih.

Tehnologije VR niso muha enodnevnica, gre za naslednjo računalniško platformo in po besedah enega večjih igralcev na trgu Microsoft je tehnologija mešane resničnosti, ki jo razvijajo z izdelkom HoloLens, prihodnost osebne računalništva, ki bo zamenjala monitor, računalnik, pametni telefon in tablico.

Predvideva se, da bodo tehnologije AR/MR v prihodnosti precej bolj popularne in uporabljane kot VR in da bodo imele tudi precej večji tržni delež, saj bodo uporabne na širšem področju. Svoje mesto bodo našle

tudi v poslovnih okoljih, naprave bomo lahko nosili dalj oziroma večino časa.

## LITERATURA

- [1] PiperJaffray Investment Research. "Next Mega Theme is Virtual Reality". 2015.
- [2] "Top Trends in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2017". 2017. Dostopano 15. 11. 2017. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-in-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2017/>.
- [3] Anthes, Christoph, et al. "State of the art of virtual reality technology." Aerospace Conference, 2016 IEEE. IEEE, 2016.
- [4] Milgram, Paul, and Fumio Kishino. "A taxonomy of mixed reality visual displays." *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems* 77.12 (1994): 1321–1329.
- [5] Fang, Yihai, and Yong K. Cho. "Real-Time Visualization of Crane Lifting Operation in Virtual Reality." Proceedings of the 16th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality. Vol. 11. 2016.
- [6] García, Andrés Ayala, et al. "Virtual reality training system for maintenance and operation of high-voltage overhead power lines." *Virtual Reality* 20.1 (2016): 27–40.
- [7] Yilmaz, Rabia Meryem, and Yuksel Goktas. "Using augmented reality technology in storytelling activities: examining elementary students' narrative skill and creativity." *Virtual Reality* 21.2 (2017): 75–89.
- [8] Kovar, Jiri, et al. "Virtual reality in context of Industry 4.0 proposed projects at Brno University of Technology." *Mechatronics-Mechatronika (ME)*, 2016 17th International Conference on. IEEE, 2016.
- [9] Berg, Leif P., and Judy M. Vance. "Industry use of virtual reality in product design and manufacturing: a survey." *Virtual Reality* 21.1 (2017): 1–17.
- [10] Greenwald, S., et al. "Technology and applications for collaborative learning in virtual reality." (2017): 719–726.
- [11] Cardoso, Roxana AI, Oana A. David, and Daniel O. David. "Virtual reality exposure therapy in flight anxiety: A quantitative meta-analysis." *Computers in Human Behavior* 72 (2017): 371–380.
- [12] Albiol-Perez, Sergio, et al. "The Effect of Balance Training on Postural Control in Patients with Parkinson's Disease Using a Virtual Rehabilitation System." *Methods of Information in Medicine* 56.2 (2017): 138–144.
- [13] Marks, D., et al. "Effect of Virtual Reality on Postural and Balance Control in Patients with Stroke: A Systematic Literature Review." *physioscience* 13.02 (2017): 88–90.
- [14] Karaman, Dilek. "Virtual Reality and Pain Management." *Virtual Reality* 5.T2/t2\_0645 (2016).
- [15] Lesk, Valerie E., et al. "Using a virtual environment to assess cognition in the elderly." *Virtual Reality* 18.4 (2014): 271–279.
- [16] Van Kerrebroeck, Helena, Malaika Brengman, and Kim Willems. "When brands come to life: experimental research on the vividness effect of Virtual Reality in transformational marketing communications." *Virtual Reality* (2016): 1–15.
- [17] Brenner, Alexander Julian. "Virtual Reality: The Game Changer for Residential Real Estate Staging through Increased Presence." (2017).
- [18] Nguyen, Minh-Tu, et al. "Applying virtual reality in city planning." International Conference on Virtual, Augmented and Mixed Reality. Springer International Publishing, 2016.
- [19] Serafin, Stefania, et al. "Virtual reality musical instruments: State of the art, design principles, and future directions." *Computer Music Journal* (2016).
- [20] Pouliquen-Lardy, Lauriane, et al. "Remote collaboration in virtual reality: asymmetrical effects of task distribution on spatial processing and mental workload." *Virtual Reality* 20.4 (2016): 213–220.
- [21] Huang, Yu Chih, et al. "Exploring the implications of virtual reality technology in tourism marketing: An integrated research framework." *International Journal of Tourism Research* 18.2 (2016): 116–128.
- [22] Tan, Jed, and Steve Kim. "Applied Data Visualization in Virtual Reality." (2016).
- [23] Teo, Theophilus, et al. "Data fragment: Virtual reality for viewing and querying large image sets." *Virtual Reality (VR)*, 2017 IEEE. IEEE, 2017.
- [24] "VR-Film odprl vrata prihodnosti. Pa je to res še vedno film?". 2017. Dostopano 15. 11. 2017. <http://www.rtvsllo.si/kultura/film/vr-film-odprl-vrata-prihodnosti-pa-je-to-res-se-vedno-film/433623/>.
- [25] Facebook Spaces – uradna spletna stran, <https://www.facebook.com/spaces>
- [26] "Microsoft buys AltspaceVR, the leading VR social platform". 2017. Dostopano 15. 11. 2017. <https://www.windowscentral.com/microsoft-has-purchased-altspacevr-leading-virtual-reality-social-platform>
- [27] Beidel, Deborah C., et al. "Trauma management therapy with virtual-reality augmented exposure therapy for combat-related PTSD: A randomized controlled trial." *Journal of Anxiety Disorders* (2017). Google Cardboard – uradna spletna stran, <https://vr.google.com/cardboard/>
- [28] LaValle, S. M., 2017. *Virtual Reality*. University of Illinois: Cambridge University Press.
- [29] "UN Launches Powerful, First Ever, VR Film following Syrian Refugee Girl". 2015. Dostopano 15. 11. 2017. <https://techcrunch.com/2015/01/23/un-launches-powerful-oculus-virtual-reality-film-following-syrian-refugee-girl/>
- [30] De la Peña, Nonny, et al. "Immersive journalism: immersive virtual reality for the first-person experience of news." *Presence: Teleoperators and virtual environments* 19.4 (2010): 291–301.
- [31] Google Cardboard – uradna spletna stran, <https://vr.google.com/cardboard/>.
- [32] Oculus Rift – uradna spletna stran, <https://www.oculus.com/rift/>.
- [33] HTC Vive – uradna spletna stran, <https://www.vive.com/eu/>.
- [34] Sony Playstation VR – uradna spletna stran, <https://www.playstation.com/sl-si/explore/playstation-vr/>.
- [35] Samsung Gear VR – uradna spletna stran, <http://www.samsung.com/global/galaxy/gear-vr/>.
- [36] Jerald, J., 2015. *The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality*. Morgan & Claypool.
- [37] Sagayam, K. Martin, and D. Jude Hemanth. "Hand posture and gesture recognition techniques for virtual reality applications: a survey." *Virtual Reality* 21.2 (2017): 91–107.
- [38] Virtuix Omni – uradna spletna stran, <http://www.virtuix.com>.
- [39] Suma, Evan A., et al. "A taxonomy for deploying redirection techniques in immersive virtual environments." *Virtual Reality Short Papers and Posters (VRW)*, 2012 IEEE. IEEE, 2012.
- [40] Rebenitsch, Lisa, and Charles Owen. "Review on cybersickness in applications and visual displays." *Virtual Reality* 20.2 (2016): 101–125.
- [41] Hoffman, David M., et al. "Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue." *Journal of vision* 8.3 (2008): 33–33.

**Andrej Somrak** je študent doktorskega študija na Fakulteti za elektrotehniko, kjer njegovo področje dela obsega raziskave uporabniške izkušnje, stranskih zdravstvenih učinkov, dostopnosti in rešitev s področij navidezne, izboljšane in mešane resničnosti.

**Jože Guna** je docent na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Njegovo področje dela obsega raziskave uporabniške izkušnje multimedijskih sistemov ter rešitev s področij navidezne, izboljšane in mešane realnosti. Vodi več nacionalnih in mednarodnih projektov ter je nosilec industrijsko priznanih certifikatov podjetij Apple, Cisco in Comptia. Je senior član organizacije IEEE in tajnik sekcije IEEE Slovenija.