

# Dizajn korisničkih sučelja za aplikacije prividne stvarnosti

---

**Kušić, Davor**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Organization and Informatics / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet organizacije i informatike**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:211:029054>

*Rights / Prava:* [Attribution 3.0 Unported/Imenovanje 3.0](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-10-16**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Organization and Informatics - Digital Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ORGANIZACIJE I INFORMATIKE  
VARAŽDIN

Davor Kušić

DIZAJN KORISNIČKIH SUČELJA ZA  
APLIKACIJE PRIVIDNE STVARNOSTI

DIPLOMSKI RAD

Varaždin, 2024.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET ORGANIZACIJE I INFORMATIKE**  
**V A R A Ž D I N**

**Davor Kušić**

**Matični broj: 0016139355**

**Studij: *Organizacija poslovnih sustava***

**DIZAJN KORISNIČKIH SUČELJA ZA APLIKACIJE PRIVIDNE  
STVARNOSTI**

**DIPLOMSKI RAD**

**Mentorica:**

Izv. prof. dr. sc. Dijana Plantak Vukovac

**Varaždin, rujan 2024.**

*Davor Kušić*

### **Izjava o izvornosti**

Izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onima koji su u njemu navedeni. Za izradu rada su korištene etički prikladne i prihvatljive metode i tehnike rada.

*Autor potvrdio prihvaćanjem odredbi u sustavu FOI-radovi*

---

## Sažetak

Tema rada je pregled karakteristika aplikacija za prividnu stvarnost i svojstava njihovih korisničkih sučelja. Uvodno poglavlje obrađuje definiciju, zdravstveni aspekt i svrhu aplikacija prividne stvarnosti. U radu su opisane karakteristike sučelja, principi dobrog dizajna i obavljena usporedba sa drugim vrstama sučelja. Napravljen je pregled koncepata dizajna sadržaja za aplikacije prividne stvarnosti te detaljna obrada različitih vrsta sučelja i njihovih implementacija. Opisane su najčešće vrste interakcija i situacije kada se primjenjuju. Posebna pozornost je posvećena problematici kretanja i navigaciji. Poglavlje „Tehnički izazovi“ predstavlja neke od izazova pri izradi uređaja za prividnu stvarnost, dok su u posljednjem poglavlju teoretskog dijela rada predstavljeni popularni alati za razvoj aplikacija prividne ili mješovite stvarnosti i opisan način njihove distribucije. Kroz praktični dio rada je predstavljen postupak dizajna korisničkog sučelja i izrade prototipa aplikacije u prividnoj stvarnosti koja omogućava korisniku da istražuje prostor i stupa u interakciju s objektima.

**Ključne riječi:** prividna stvarnost, sučelje, prototip, 3D, aplikacija, dizajn

# Sadržaj

1. Uvod .....	1
2. Prividne stvarnosti .....	2
2.1. Iluzije stvarnosti .....	6
2.2. Zdravstvene nuspojave korištenja tehnologije virtualne stvarnosti.....	9
2.3. Svrha i upotreba.....	11
3. Korisničko iskustvo u aplikacijama prividne stvarnosti.....	15
3.1. Usidranje korisnika u novi svijet.....	15
3.2. Upravljanje korisničkim iskustvom.....	15
3.3. Upravljanje komunikacijom korisnika i aplikacije .....	16
3.4. Koncepti kreiranja sadržaja .....	18
3.4.1. Doživljaj i očekivanja .....	18
3.4.2. Temeljno iskustvo .....	19
4. Karakteristike sučelja u aplikacijama prividne stvarnosti .....	20
4.1. Vrste upravljanja i interakcije sa sučeljima u aplikacijama prividne stvarnosti.....	22
4.2. Smjernice za dizajn sučelja prividne stvarnosti.....	34
4.3. Implementacije sučelja .....	35
4.3.1. Fittov zakon.....	37
4.3.2. Hickov zakon.....	38
4.4. Kretanje i navigacija .....	39
5. Tehnički izazovi .....	45
6. Alati za razvoj aplikacija i njihova distribucija .....	47
7. Praktični rad.....	51
7.1. Kreiranje modela prostorije .....	52
7.2. Mogućnosti ShapesXR alata .....	58
7.3. Prototipiranje aplikacije u ShapesXR alatu .....	64
7.4. Izrada aplikacije u Unity alatu.....	68
7.5. Dorada modela u Blender alatu.....	69
7.6. Ideja i dizajn sučelja .....	70
7.6.1. Dizajn glavnog izbornika .....	71
7.6.2. Dizajn sekundarnih izbornika i panela .....	74
7.6.3. Dizajn početne platforme i interakcija .....	79
7.6.4. Elementi sučelja u modelu sobe .....	81
8. Zaključak .....	85
9. Prilog .....	87

# 1. Uvod

U posljednjem desetljeću je došlo do velikog napretka u području tehnologije prividne stvarnosti za koju je još korišten naziv virtualna (engl. *virtual reality*). Definicija pojam razjašnjava kao umjetno (računalno) stvoreno okruženje koje se može iskusiti kroz niz osjetila i postupaka korisnika koji imaju utjecaj na prividno okruženje (Gigante, 1993b).

Tehnologija za prividnu stvarnost je doživjela nagli rast popularnosti 2016. godine kad je na tržište izašao prvi model naočala za prividnu stvarnost Oculus Rift. Iako prvotno fokusirani na sferu videoigri, postavilo se nekoliko pitanja poput hoće li prividna stvarnost zamijeniti način upotrebe sada već tradicionalnih digitalnih medija: upotrebe interneta, čitanja knjiga, streaming sadržaja.

Preduvjet takvog iskoraka je da iskustvo konzumiranja sadržaja bude na znatno većoj razini od trenutnog da bi bila opravdana visoka cijena opreme za prividnu stvarnost. Trošak opreme stoga dovodi do drugog pitanja koje je često pogubno za nove tehnologije i startup poduzeća, a to je probijanje i opstanak na tržištu, a posebno je važno jer su tehnologije prividne i proširene stvarnosti već su doživljavale neuspjehe na tržištu u prošlosti.

Za opstanak na novim inovativnim tržištima je stoga potrebno nuditi i inovativne proizvode, pa se uz virtualne videoigre, tehnologija prividne stvarnosti proširila i na druge industrije poput vojne, medicinske, umjetničke, turizma. Bilo koji sadržaj koji se konzumira kroz prividnu stvarnost predstavlja novu vrstu interakcije što je vjerojatno i najuzbudljiviji dio jer niti jedan tradicionalni medij ne može ponuditi takav stupanj interakcije sa sadržajem.

S takvim pristupom prema korisniku gdje mu je ponuđen ogroman izbor i kontrola potrebno je osigurati visoku razinu i korisničkog iskustva te prilagoditi mehanizme upravljanja na način da zadovoljavaju očekivanja korisnika ali i upotpunjavaju svoju funkcionalnu svrhu što može biti i vrlo kompleksno jer je potrebno ogroman broj funkcionalnost prevesti u način korištenja koji će biti intuitivan korisniku.

Intuitivnost u upotrebi aplikacija virtualne stvarnosti koje god primjene one bile se najvećim dijelom iskazuje kroz virtualna korisnička sučelja što je tema ovog rada.

Pri pisanju rada su korišteni razni izvori iz stručne literature vezane uz izradu aplikacija prividne stvarnosti, smjernice dizajna korisničkih sučelja, dokumentacija za korištenje programskih alata ShapesXR, Blender, Unity i uređaj za prividnu stvarnost Meta Quest 3.

## 2. Prividne stvarnosti

Percepcijom stvarnosti kod čovjeka je moguće manipulirati, a jednostavan primjer su optičke varke, izgradnja uvjerljivog „savršenog“ ali nestvarnog svijeta znači da osoba nije svjesna odnosno ne može razaznati razliku između takvog kreiranog i stvarnog svijeta. Takva kreirana stvarnost se naziva prividnom ili virtualnom jer se generira računalno (Gigante, 1993a). Za postizanje takve visoke razine uvjerljivosti kod prividnih stvarnosti potrebno je zadovoljiti više od samo vizualnih osjetila, a što onda uključuje i sljedeća osjetila (Broll, 2022):

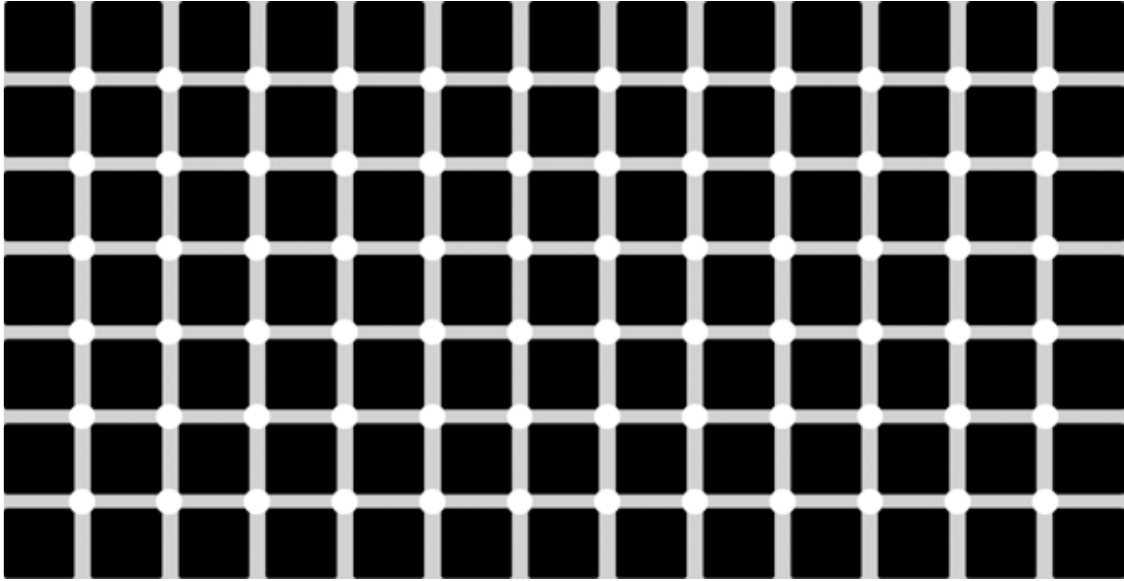
- auditivna
- olfaktorno
- okusno
- haptičko i taktilno
- vestibularne (ravnoteža)
- osjete na tijelu
- osjete temperature
- osjet boli

U istraživanju koje je proveo Broll 2022. godine, veliki naglasak je stavljen na vizualnu percepciju i ponašanje te svojstva svjetlosti poput refleksivnosti, boje i subjektivnog doživljaja.

Kao jednostavna reprezentacija manipulacije vizualnom percepcijom predstavljen je primjer Hermannovog efekta gdje se gledatelju priviđaju crne točke u mjestima gdje se svijetle linije križaju (Slika 1).

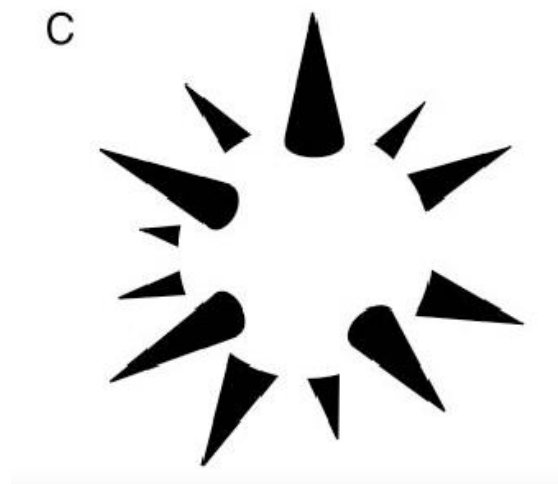
Vrstu manipulacije vizualnim osjetilima nazivamo optičkim varkama pa je potrebno voditi brigu o percepciji korisnika i izbjegavati korištenje zavaravajućih ili manipulativnih sadržaja.





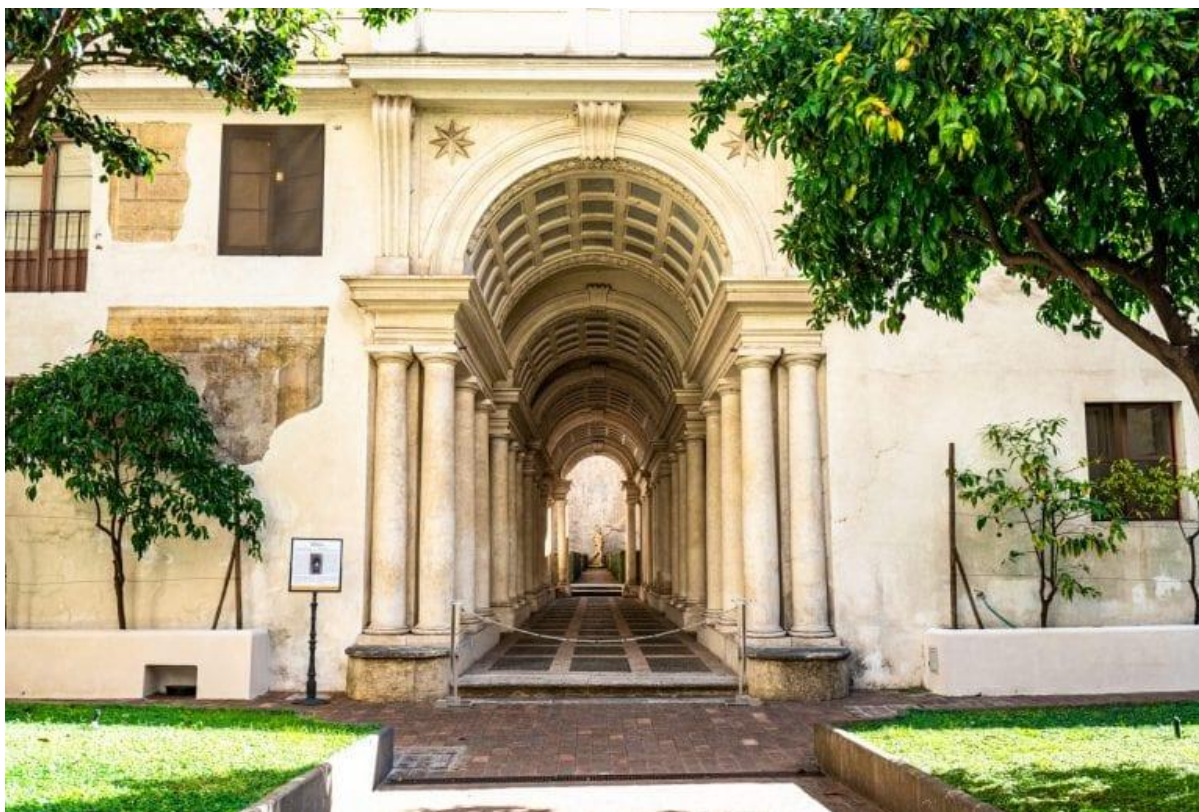
Slika 1 - Hermannov efekt (Izvor: Kien, Maul... 2012)

Kao i kod Hermannovog efekta gdje percipiramo nešto što ustvari ne postoji, moguće je percipirati 3D geometrijske oblike pažljivim slaganjem 2D geometrijskih tijela, tako je poznat primjer „lopte sa šiljcima“ (Lehar, 2012). Vrlo poznata je i Amesova soba gdje osoba u jednom kutu izgleda puno veća od osobe u suprotnom kutu ili primjer Ponzovih tračnica.



Slika 2: „Lopta sa šiljcima“ (Izvor: S. Lehar, *Figure 1*, 2012)

Slične optičkim varkama su umjetnički radovi u stilu „*Trompe L'Oeil*“ što prevedeno s francuskog znači „zavarati oči“ (prikazano na slici 2). Radi se o radovima koji s točno određene točke i udaljenosti daju iluziju stvarnosti ali pomicanjem samo par centimetara u stranu iluzija se razbija, sličnost sa virtualnim svijetom je ovdje veća ali s bitnom razlikom da je kod VR-a iluzija postojana iz svake točke, a ne samo jedne određene (Wade & Hughes, 1999).

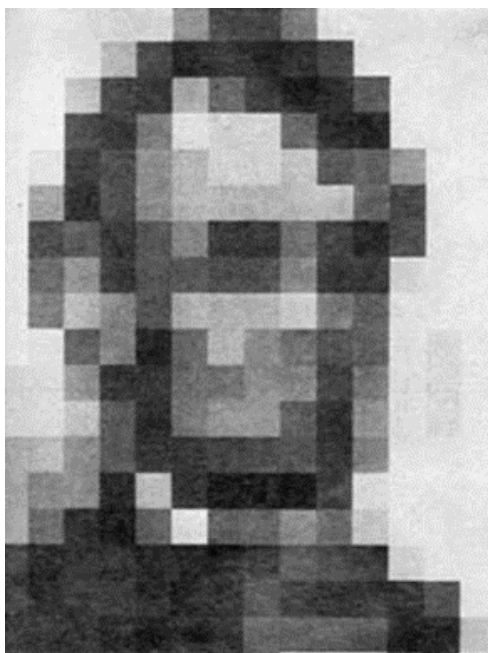


Slika 3: The 'Forced Perspective' Gallery u Palazzo Spadi u Rimu (Izvor: K. Storm, "How to Visit Palazzo Spada's Offbeat Optical Illusion in Rome", Our Escape Clause)

Veliku ulogu u onom što vidimo dolazi iz osobnih očekivanja i iskustva, VR objekt ili okolinu možemo protumačiti na sebi jedinstven način ili pak jednako kao i drugi korisnici. Ovim pitanjem se bavio američki znanstvenik Harmon L. D. pa je iz njegovog istraživanja poznat primjer jako pikselizirane fotografije (Slika 4), a koja i dalje vrlo prepoznatljiva (Harmon, 1973).

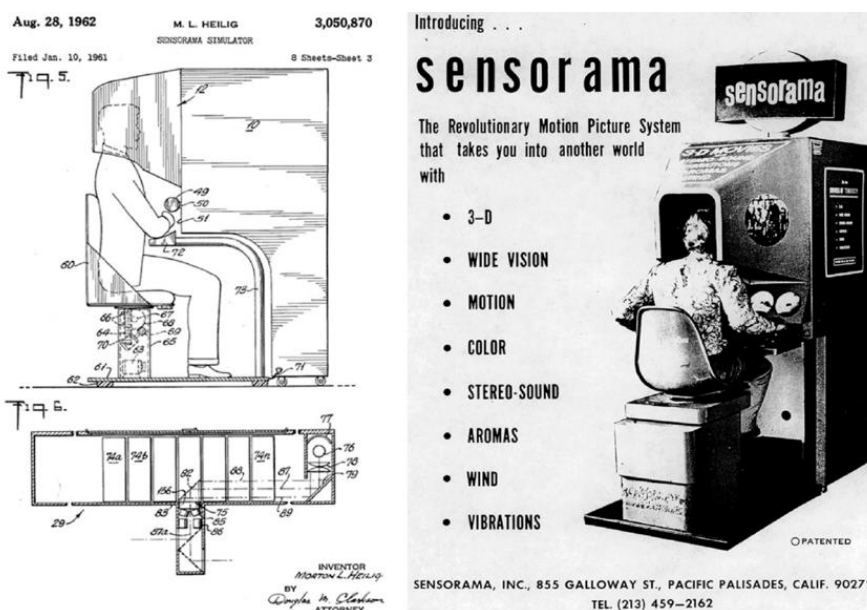
Nastavno na vizualnu manipulaciju koja može biti namjerna, treba uzeti u obzir i nuspojave koje nastaju slučajno korištenjem virtualnih simulacija, a objašnjene su u poglavlju 2.2.

Iako trenutna razina tehnologije nikako ne može izgraditi savršen virtualni svijet pa je korisnik uvijek svjestan da se nalazi u fiktivnom, postoji faktor iznenađenja gdje virtualni svijet može barem nakratko uvjeriti tj. prevariti osjetila (a što je najlakše ostvariti izazivanjem iskonskog instinkta za preživljavanjem) i to se može vidjeti u raznim videozapisima gdje ljudi koji prvi puta koriste virtualne naočale reagiraju instinktivno na događanja u virtualnoj stvarnosti kao da se stvarno odvijaju fizički ispred njih.



Slika 4: Vrlo pikselizirana fotografija Abrahama Lincolna (Izvor: L. Harmon, 1973)

Ideja o savršenim virtualnim svjetovima je dobro istražena u znanstveno-fantastičnim filmovima poput Matrixa gdje je simulirani svijet toliko jednak stvarnom da ne postoji način za razlikovanje jednog od drugog upravo jer zadovoljava svaki od navedenih osjetila. Posebno je zanimljiv uvjet zadovoljavanja boli ili negativne percepcije, naime u Matrix filmovima je objašnjeno kako je prva simulacija razotkrivena upravo zato jer je bila utopijska. Pravi osjećaj dodira ili boli nije moguće simulirati u prividnoj stvarnosti zbog čega korisnik nesvjesno primjećuje da „nešto“ nedostaje (Seinfeld & Müller, 2020).



Slika 5: Sensorama, prvi sustav prividne stvarnosti (Izvor: A. Basso, Figure 2, 2017.)

Na slici 5 je prikazan prvi multi osjetilni sustav za imerziju kojeg je 1962. godine predstavio američki filmaš Morton Heilig kao svoje viđenje kina budućnosti koje gledatelju daju veći stupanj uživanja u sadržaj. Te je preteča onog što se kasnije formiralo u pojam prividne stvarnosti, a uključivao je između ostalog: 3D prikaz slike tj. osjećaj dubine i prostora uz široki prikaz u boji i stereo zvuku, kretanje kroz prividnu okolinu, vibracije te osjet vjetra i mirisa. Samo iskustvo je bila vožnja motora po ulicama Brooklyna (Rheingold, 1991).

Puno bliže trenutnom smjeru razvoja prividne tehnologije je viđen u filmu „Ready Player One“ koji zadovoljava veći broj navedenih osjetila koristeći opremu koja već postoji u stvarnosti ali se ne trudi simulirati stvarni svijet već nudi mnoštvo fiktivnih svjetova na istraživanje korisniku (Han i ostali, 2020).

Kakav god prividni svijet bio i neovisno o tome koliko je osjetila zadovoljeno (kompleksna simulacija ili jednostavna aplikacija), da bi korisnik vršio interakciju potrebno je osmisлити mehanizam upravljanja koji zadovoljava osjetila korisnika na osnovnoj razini i prikladan je za ugodno korisničko iskustvo.

## 2.1. Iluzije stvarnosti

Uz optičke iluzije, u virtualnoj stvarnosti mogu se pojaviti i druge vrste iluzija kod kojih se ne radi o zavaravanju osjetila kao kod optičkih već stvaranju o atmosfere, osjećaja i uvjeravanja korisnika. Prema istraživanju o imerzivnosti televizijskog novinarstva (Kishore i ostali, 2018) napravljena je distinkcija između tri tipa iluzija (Novačić, 2022):

- Iluzija tijela
- Iluzija mjesta
- Iluzija vjerodostojnosti

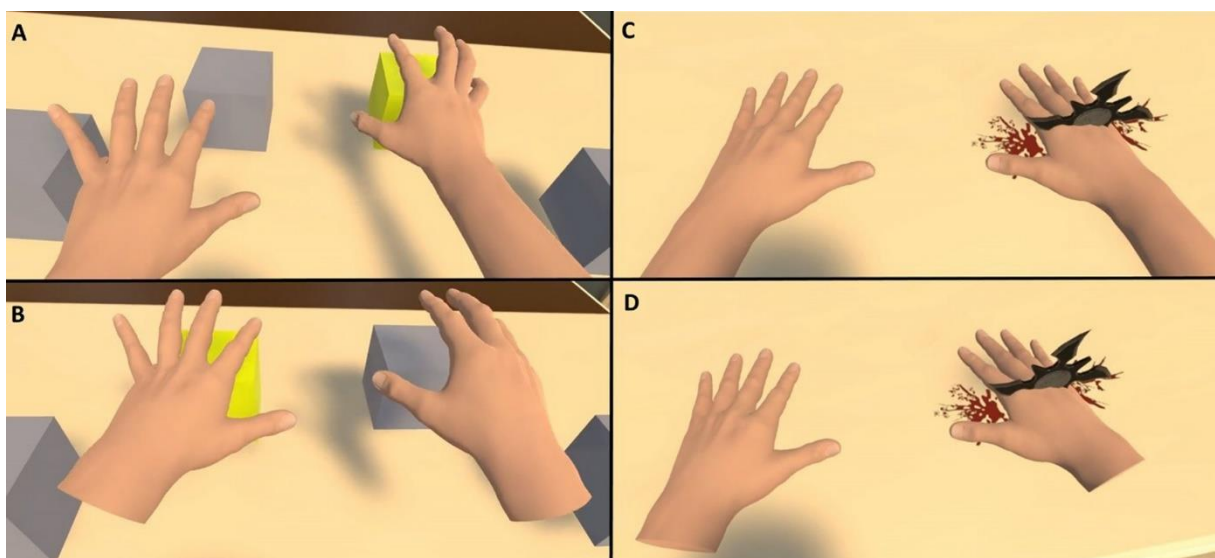
Kao što nazivi govore, kod **iluzije tijela** je potrebno uvjeriti korisnika u vjerodostojnost njegovog virtualnog modela tijela, pogledom prema dolje u stvarnosti osoba vidi svoje ruke, prsa, noge i to je potrebno vjerno preslikati u virtualni model. Korak dalje od viđenja je sinkronizacija pokreta tijela iz stvarnosti s virtualnim modelom.

Ako je implementiran sustav za praćenje tijela (što se ostvaruje kroz poseban set senzora koji prate određene točke tijela) onda je moguće translatirati podatke iz senzora u virtualni svijet i sinkronizirati s pokretima u stvarnom vremenom.

Pomicanjem ruku, saginjanjem tijela, nagibom, okretom u stvarnosti – isto se događa u virtualnoj stvarnosti s virtualnim modelom. Ograničenja su u ovom pogledu tehničke prirode, od brzine obrade podataka sa senzora (odnosno latencije), snage i cijene opreme i softverskih ograničenja aplikacije koja se koristi.

Kretanje ili radnje u virtualnom svijetu također mogu narušiti iluziju ako korisnik na primjer u virtualnom svijetu gleda animaciju gdje drži ruke ispred sebe i izvodi neku radnju dok u stvarnosti drži ruke uz tijelo. Zaključak iz perspektive dizajna sučelja da ako se upravljanje izvodi kretanjima ruke ili kontrolera, praćenjem očiju ili nekim trećim načinom, potrebno je implementirati vjerodostojno sinkroniziranje pokreta ruku sa virtualnim modelom, a ukoliko se želi staviti naglasak na realističnost onda i virtualni model treba biti vjerodostojna reprezentacija stvarnosti (izgled ruku poput boje kože, rukavi od majice, veličina šake).

Slika 5 je iz istraživanja o reakciji korisnika na virtualne šake (Seinfeld & Müller, 2020) koje su bile „spojene“ s virtualnim tijelom ili odvojene, izdvojena je slika 6 jer podsjeća na osjet boli ili opasnost zbog eksperimenta sa virtualnim *shurikenom* koji ozljeđuje ruku. U zaključku istraživanja je izneseno kako odvojene ruke imaju neznatan utjecaj na uvjerenje korisnika u njegovo virtualno tijelo te čak polovica ispitanika nije imalo reakciju iako je razlika jasno vidljiva. Kod pitanja opasnosti od ozljede *shurikenom* postoji psiho-motorna reakcija iako je prijetnja virtualna i unatoč „odvojenim“ šakama.



Slika 6: Eksperiment percepcije tijela s odvojenim šakama (Izvor: Seinfeld, S., Müller, J. *Figure 2*, 2020)

Kod **iluzije vjerodostojnosti** bitno je uvjeriti korisnika u stvarnost virtualnog okruženja, mjesto na kojem se nalazi treba izgledati uvjerljivo, objekti se trebaju ponašati u skladu s očekivanjima i događaji trebaju moći biti pod utjecajem korisnika te imati reakciju na korisnikove postupke.

Ako postavimo primjer gdje se ovo pravilo treba primijeniti, možemo doći do bitnih zaključaka pa recimo da je korisnik na virtualnom željezničkom kolodvoru. Izgled kolodvora treba biti sličan izgledu stvarnih kolodvora (digitalne ploče s informacijama o linijama, virtualni ljudi, šalter za kupnju karata i peroni).

Objekti (poput vlakova) dolaze i odlaze po tračnicama, virtualni ljudi sjede na klupama ili stoje i čekaju vlak (ne leže na podu ili stoje na tračnicama što bi razbilo doživljaj), te pristupom na šalter korisnik može kupiti kartu i virtualna osoba na šalteru će reagirati na upit korisnika, plaćanje i vratiti mu traženu kartu, dok će razglas na kolodvoru upozoriti na vrijeme polaska vlaka za koji je korisnik kupio kartu. Najava vlaka za koji je korisnik kupio kartu je vrlo jednostavna reakcija virtualnog prostora na postupke korisnika kojom se dodatno uvjerava korisnika u vjerodostojnost virtualnog mjesta, a istovremeno je dobar dizajn jer dajemo korisnu informaciju i guramo korisnika prema sljedećoj lokaciji u planiranom narativu.

Povratna reakcija ili informacija virtualnog okruženja ne mora biti toliko kompleksna kao razgovor s virtualnim osobama ili prilagodba objekata korisniku, kod jednostavnih sučelja je dovoljno da je povratna informacija izražena kao vibracija ili audio znak na reakciju korisnika poput običnog klika na željenu funkcionalnost, bitno je uvjeriti korisnika da ne komunicira sa „zidom“ već da ima mogućnosti i kontrolu.

Ako usporedimo primjer kolodvora i nešto tradicionalnije aplikacije možemo uzeti za primjer aplikaciju za reprodukciju glazbe. Ukoliko korisniku ponudimo odabir pjesme, a on traži neku koja je nedostupna, dobro dizajnirano sučelje će dati audio/vizualni odgovor kako pjesma još uvijek nije dostupna (na šalteru kolodvora je to nedostupna karta) čime ne daje čvrsto obećanje da će biti u budućnosti ali može odvući korisnika od ideje da je aplikacija loša jer nema pjesmu, a privlači ideji da će aplikacija biti bolja jer će u budućnost sadržavati traženu pjesmu.

Istovremeno korisniku treba omogućiti da odmah nastavi s odabirom druge pjesme pa i predložiti neku, a ne ga ostavljati u izborniku iz kojeg treba više puta klikati da bi se vratio do odabira (Talbot i ostali, 2020). Višestruko prolaženje kroz isti postupak brzo zamara korisnika i razbija iluziju stvarnosti, na primjer: ako moramo ponovno vaditi osobnu iskaznicu pri kupnji karte iako smo to već jednom napravili.

Treći tip iluzije se **odnosi na mjesto** i usko je vezano **uz iluziju vjerodostojnosti**, virtualna reprezentacija stvarne lokacije mora sadržavati objekte i vjerodostojnost u ponašanju jednaku stvarnoj.

Primjer s kolodvorom podsjeća na platformu 9¾ iz Harry Potter knjiga pa ako korisnika stavimo u virtualni svijet Harry Potter knjiga i na tu platformu, izgled kolodvora i vlakova te platforme će biti autentičan filmovima/knjigama, a iluzija vjerodostojnosti će se realizirati kroz reakciju korisnika koja će vjerojatno biti da pokuša proći kroz zid platforme, pa ako ne može proći kroz zid, iluzija će biti narušena, lokacija zavaravajuća, a iskustvo razočaravajuće.

## **2.2. Zdravstvene nuspojave korištenja tehnologije virtualne stvarnosti**

U istraživanju koje je proveo Sun 2020. godine (citirano u Laessoe i ostali, 2023) o nastanku vrtoglavice/mučnine ili bolesti putovanja prilikom kretanja (eng. *motion sickness*) izdvojeno je nekoliko faktora koji utječu na nastanak ovakvih nuspojava:

- trajanje simulacije
- akceleracija objekata u virtualnom svijetu
- stupnjevi kontrole
- iskustvo i trening korisnika

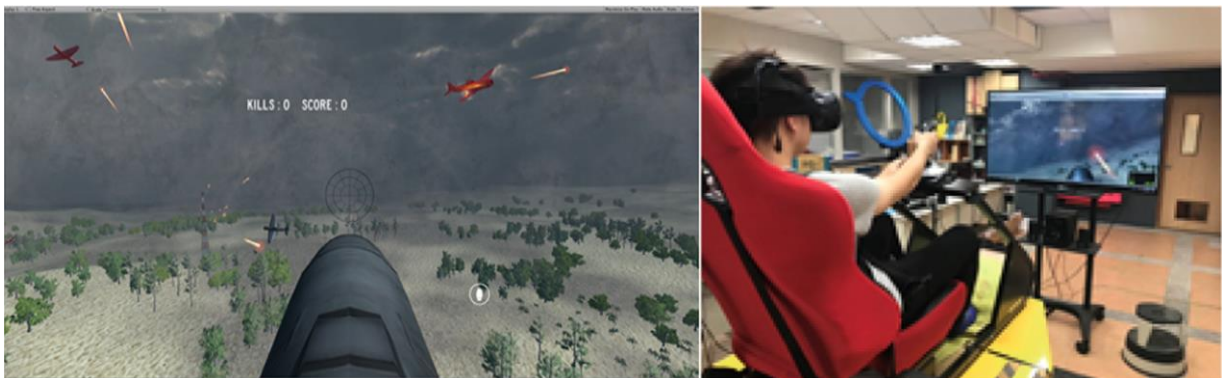
Uočeno je da kretanje virtualnih objekata tj. njihova akceleracija nema utjecaj na izazivanje zdravstvenih nuspojava kod korisnika pa zajedno s preostalim faktorima može se zaključiti da pitanje nuspojava ovisi o pojedinačnom korisniku više nego o simulaciji. „Loša“ simulacija koja bi namjerno inducirala nuspojave ima manji utjecaj nego predispozicija korisnika podložnog bolesti putovanja.

Uzrok bolesti putovanja je prepoznat još u drevnoj Grčkoj (Laessoe i ostali, 2023) gdje je Hipokrat prepoznao da kretanje može izazvati neugodu tijela, danas znamo da se radi o zavaravajućoj percepciji kretanja tj. postoji distinkcija između onoga što osoba percipira i kretanja koje se ustvari događa.

Jednostavan primjer je jedrenje što je i Hipokrat prepoznao. Naglo nagibanje jedrilice (a posebno u horizontalnom smjeru u odnosu na smjer kretanja jedrilice) uzrokovano valovima dovodi do osjećaja neravnoteže ali pravi problem bolesti putovanja nastaje kad izbacimo vizualnu percepciju, boravkom u unutrašnjosti broda (odnosno kabini) bez da vidimo kretanje koje uzrokuje nagibanje lako dovodi već do mučnine u manje od minute ako se radi o snažnim valovima i velikom kutu nagiba. Sličnost sa virtualnim svijetom proizlazi iz toga što također dolazi do izostanka prave vizualne percepcije stvarnosti.

Stavljanjem seta virtualnih naočala na glavu dolazi do odvajanja perceptivne stvarnosti od prave, ali za razliku od jedrenja, virtualne naočale možemo skinuti u bilo kojem trenutku i time prekinuti uzrok vrtoglavice/mučnine. Postoji još jedna teorija (Riccio & Stoffregen, 1991) nazvana „*posture sickness*“ koja razmatra ponašanje tijela u novim uvjetima tj. virtualnom svijetu.

U istraživanju (Sun, 2020) je prepoznato da naglo zaustavljanje ili neočekivano kretanje u simuliranom svijetu, a koje je izvan kontrole korisnika izaziva bolest putovanja ali korisnik treniranjem ravnoteže i motorike može razviti otpornost dok samo vremensko trajanje simulacije ima negativan utjecaj, tj. povećava vjerojatnost nuspojava.



Slika 7: Eksperimentalna situacija (Izvor: H. Sun, 2020)

Zaključuje se da je sinkroniziranje pokreta u virtualnom svijetu sa onim u stvarnosti može biti faktor za smanjivanje bolesti kretanja jer se perceptivni doživljaj poklapa sa stvarnim, a iz perspektive dizajniranja virtualnog svijeta i sučelja za korištenje, davanje korisniku kontrolu znači i prijenos očekivanja.

Sučelje ili objekti koji su pod kontrolom korisnika se mogu ponašati sukladno očekivanjima korisnika nasuprot neočekivanim kretanjem ili akcijama ako su pak pod kontrolom simulacije, izvan kontrole korisnika.

Na slici 7 je prikazana situacija iz istraživanja gdje se može uočiti da je tijelo u fiksnom položaju za razliku od stajaćeg koji pruža veći stupanj slobode kretanja.

U primjeru je kretanje upravljano simulacijom, ukoliko virtualni zrakoplov leti stalnom brzinom i jednostavnom horizontalnom putanjom dolazi do manjeg odudaranja u percepciji nego da naglo i neočekivano mijenja smjer i vrši rotacije. Sučelje u ovom primjeru koristi kontrolne palice i predstavljeno je kao nišan oružja - u fiksnoj je poziciji u odnosu na korisnika i pod njegovom kontrolom.



Pomicanje palice i stiskanje tipki ima definirane akcije, a tu je i očekivanje korisnika na ishod akcije što su osnovne karakteristike korisničkih sučelja.

Pri konzumaciji sadržaja u prividnoj stvarnosti može doći do zdravstvenih tegoba koje su znatno izraženije i drukčije od tipičnih tegoba i često se javljaju uslijed dugotrajnog korištenja sadržaja u prividnosti.

Loše dizajnirana mobilna aplikacija može rezultirati eventualno frustracijom ili smanjenom upotrebom ako se radi o problemu pristupačnosti (neprikladnost daltonizmu, veličina fonta, kontrast, disleksija) ali vrlo teško može direktno uzrokovati mučninu ili vrtoglavicu. Kao autori VR aplikacija potrebno je minimizirati situacije i uvjete koji dovode do nuspojava, u suprotnom je proizvod ionako neupotrebljiv (Riccio & Stoffregen, 1991).

## **2.3. Svrha i upotreba**

Uzimajući u obzir opisane potencijalne negativne zdravstvene strane korištenja virtualne tehnologije ali i sposobnost uvjeravanja u realističnost svijeta u kojem se korisnik nalazi te sa spoznajama iz istraživanja o percepciji korisnika, Doerner navodi neke od načina upotrebe i dobrih principa korištenja koji se poklapaju sa zaključkom iz prethodnog poglavlja 2.2. (Doerner, Broll, i ostali, 2022).

Temeljna svrha korištenja tehnologije za prividnu stvarnost je smanjenje vremena potrebnog za obavljanje rada, obuke ili učenja te potrebnih financijskih i materijalnih resursa koji se nadomještaju njihovom reprezentacijom u prividnoj stvarnosti.

Primjer upotrebe prividne stvarnosti se može pronaći kod arhitekata i izrade građevinskih planova te dizajna interijera. Mogućnost vizualizacije prostora omogućava kreatorima da isprobaju veći broj scenarija u kraćem vremenu i puno brže rade izmjene sukladno željama korisnika, tako je na primjer moguće promijeniti veličinu ili boju zida, poziciju stola ili model namještaja i odmah doživjeti promjenu koja je nastupila u prostoru.

Percepcija prostora nakon promjene može utjecati na donošenje odluke o kupnji proizvoda, pomoći korisniku da jasnije definira svoje želje i lakše uoči loše izbore.

Takav način dizajniranja, tj. projektiranja naposljetku najveću korist pruža korisnicima jer eliminacija faktora nepoznanice u odabiru elemenata interijera znači dugotrajno zadovoljstvo nasuprot odabiru skupocjenog elementa koji u konačnici razočara (Ultravision, 2024). Prividna stvarnost pruža i mogućnost prijenosa postojećih 2D shema u realistične 3D reprezentacije koje se onda mogu koristiti sa svim uključenima, a ne samo onima koji znaju čitati 2D sheme.



Slika 8: primjerna VR-a kod projektiranja/dizajniranja interijera (Izvor: web stranica, Ultravision, bez dat. <https://www.ultra-vision.net/enhancing-design-visualization-with-vr-interior-design-by-ultra-vision/>)

Već niz godina postoje fizički simulatori letenja na kojima se budući piloti treniraju, ideja simuliranja u svrhu uštede i smanjenja rizika je posebno izražena u industrijama gdje je vrijednost opreme kojom se upravlja visoka, a rizik obrnuto proporcionalan iskustvu upravo kao što je avionska ili vojna industrija. Mogućnost korištenja prividne tehnologije za simulaciju borbenih simulacija znači mogućnost pripreme za operacije koje bi u stvarnosti bilo teško simulirati zbog financijskih ili logističkih razloga, razlika u konfiguraciji terena, dostupnosti opreme, oružja koje bi trebalo simulirati protivničku.

Američka vojska već godinama koristi VR tehnologiju za obuku i upravljanje dronovima, slika 9 prikazuje američke vojnike na prezentaciji korištenja VR-a za obuku. Naglasak ovakvih simulacija stoga je stavljan na realističnost i replikaciju iskustva što sličnijeg stvarnom (Media & Daigle, 2022).



Slika 9: upotreba VR tehnologije u obuci američke vojske (Izvor: web stranica, Military Embedded Systems, 17.4.2024. <https://militaryembedded.com/ai/machine-learning/arvr-will-drive-growth-in-military-simulation-training-market-report-finds>)

Od drugih industrija, virtualna tehnologija je našla primjenu u medicini gdje se može primijeniti za simuliranje kompleksnih zahvata čime priprema liječnike za stvarnu situaciju i smanjuje rizik kod stvarnih zahvata, kao što se može vidjeti na slici 10.

Iako ovakve realistične simulacije imaju sposobnost kreiranja okruženja i scenarija bez rizika, osjećaj stresa i atmosfere je teško umjetno kreirati pa se čak i uz najbolje obuke kroz simulacije ne bi trebalo zaboraviti da postoji faktor iznenađenja i nepredvidljivosti kad se osoba prvi puta suoči sa situacijom u stvarnosti iako je možda mnogo puta već prošla kroz takav scenarij (Pavlov, 2023).



Slika 10: primjena kod obuke u medicini (Izvor: web stranica, SmartTek Solutions, 17.4.2024. <https://smarttek.solutions/blog/vr-training-for-healthcare-why-your-hospital-needs-it/>)

Osim vizualizacije fiktivnih scenarija, upotreba prividne tehnologije je našla primjenu i kod slučajeva gdje se postojeći elementi ili lokacije prenose u prividnu stvarnost kako bi im korisnik mogao jednostavnije pristupiti.

U turizmu se korisniku omogućava da posjeti stvarne lokacije kroz njihovu simulaciju u prividnoj stvarnosti, s visokom kvalitetom takvog sadržaja moguće je simulirati zvukove, atmosferu, događanja stvarne lokacije i privući ga da posjeti lokaciju u stvarnosti.

Već je opisano kako korisnik može iskoristiti prividnu stvarnost za testiranje objekta kojeg planira kupiti (poput namještaja), isti princip se primjenjuje u kozmetičkoj industriji gdje korisnik može vidjeti i isprobati odjeću na reprezentativnom modelu u prividnoj stvarnosti.

Osim mogućnosti približavanja objektima ili lokacijama, prividna stvarnost može biti iskorištena i za komunikaciju te upoznavanje s drugim osobama kao društvena platforma poput Metaverse platforme ili VRChata. Naposlijetku, najveću primjenu i najveći broj korisnika dolazi iz industrije videoigara gdje se pruža inovativno iskustvo igranja i sposobnost simulacije fantastičnih svjetova iz popularnih knjiga, filmova ili starijih naslova videoigri.

### 3. Korisničko iskustvo u aplikacijama prividne stvarnosti

Virtualnom tehnologijom možemo kreirati beskonačan broj svjetova međutim osnovna ideja u dizajniranju za VR ispred tehničkih, narativnih, grafičkih aspekata treba biti korisničko iskustvo.

Mogućnost pretvaranja nekog scenarija u VR iskustvo nije garancija kvalitetnog VR iskustva za korisnika. Predlaže se razmatranje ideja koje mogu pružiti vrlo ugodno i pamtljivo iskustvo unatoč potencijalnim grafičkim ili tehničkim ograničenjima – baš zato što je fokus VR-a u korisničkom iskustvu, ostali aspekti nemaju toliku važnost (Doerner, Geiger, i ostali, 2022).

#### 3.1. Usidravanje korisnika u novi svijet

Smještanjem korisnika u virtualni prostor potrebno je osigurati objekte, lokacije ili indikatore koji imaju stalno značenje i mogu poslužiti za orijentaciju. To može biti jednostavno kao korištenje oblika X za reprezentaciju prekida ili izlaska iz aktivnosti ili korištenjem zelenog svjetla za indicaciju prelaska na sljedeću fazu (Sherman & Craig, 2018).

Detaljnija upotreba indikatora je opisana u poglavlju 4.2. gdje su obrađeni pojmovi skeumorfizma i navigacije. Dobre karakteristike aplikacije računalnog ili mobilnog sučelja ovdje mogu biti upotrijebljene, međutim dodatnu pozornost treba dati vremenskoj i prostornoj komponenti koje nisu toliko bitne kod mobilnih i web sučelja.

Indikatori koje koristimo trebaju biti vremenski dovoljno dugo dostupni i prostorno pristupačni da ih korisnik može s lakoćom prepoznati, asociirati sa poznatim i naposljetku im jednostavno pristupiti.

Iz aspekta dizajna sučelja, ono treba sadržavati kontinuirani stil i oblike, informacije koje prikazuje trebaju biti naglašene na prikladnoj poziciji i s dovoljnim trajanjem, a indikatori kroz oblike, boje, fontove isto kontinuirani kroz različite razine sučelja (Jerald, 2015).

#### 3.2. Upravljanje korisničkim iskustvom

Uzimajući u obzir prethodna poglavlja o percepciji korisnika u prividnom svijetu i važnost korisničkog iskustva, moguće je izdvojiti ključne faktore u dizajnu. Pa tako za izgradnju kvalitetnog korisničkog iskustva treba iskoristiti i povratne informacije korisnika, ali i nakon izdavanja aplikacije nastaviti uvažavati povratne informacije i nadograđivati iskustvo (Doerner, Broll, i ostali, 2022).

Već sam spomenuo frustraciju koja proizlazi iz loše dizajniranog iskustva, suprotnost tome je da zaključni čin u upotrebi aplikacije bude vrhunac iskustva korištenja, ovo je posebno izraženo kod aplikacija koje izazivaju snažnu reakciju i emocije.

Kao primjer ću dati aplikaciju mobilnog bankarstva, s obzirom da se izvršava radnja s velikom količinom novčanih sredstava postoji emocionalni ulog, pa uzmimo za primjer da je cilj prebacivanje sredstava sa žiro na tekući račun. Klikom na gumb „Izvrši transakciju“ postoji očekivanje da će u sljedećoj sekundi biti prikazan ekran s naglašenim (možda i zelenim) tekstom da je transakcija uspješno provedena.

Time je zaključni čin upotrebe aplikacije bio vrhunac korištenja, a iskustvo ostaje u dobrom sjećanja korisnika. Loš primjer navedenog bi bilo vraćanje korisnika na početni ekran bez povratne informacije o provedenom postupku, nakon čega slijedi monotono kliktanje do ekrana o provedenim transakcijama i traženje upravo provedene čime je vrhunac upotrebe narušen i izazvana kratkotrajna emocionalna kriza jer nemamo spoznaju što se dogodilo s našim novcima.

Ovaj princip se može direktno translirati u aplikacije prividne stvarnosti. Ako bi navedenu aplikaciju mobilnog bankarstva rekreirali kao aplikaciju prividne stvarnosti ona bi morala sadržavati iste opisane elemente kao i u svojoj mobilnoj verziji (Jerald, 2015).

Pitanje koje se time postavlja je što bismo ustvari postigli, jer je funkcionalnost ionako zadovoljena mobilnom verzijom aplikacije, a virtualna nema značajnu nadogradnju u pogledu korisničkog iskustva ili funkcionalnosti.

### **3.3. Upravljanje komunikacijom korisnika i aplikacije**

Kod korištenja aplikacije korisnik komunicira sa virtualnim svijetom i njegovim objektima što čini takvu vrstu komunikacije direktnom (Bailenson, 2018). Unutar takve direktne veze može se razlikovati više vrsta komunikacije, verbalna je najdirektnija i najjednostavnija za korisnika, kao primjer mogu poslužiti društvene VR aplikacije poput VRChata gdje se komunikacija odvija između korisnika međusobno.

Drugi tip komunikacije je strukturalni (Jerald, 2015) koji se dobiva temeljima ponašanja aplikacije, možemo to zamisliti kao aplikaciju čije sučelje reagira na odabir korisnika pritiskom na opciju ili unosom teksta.

Još jedan tip komunikacije koji se može vezati uz strukturalni (Doerner, Broll, i ostali, 2022) je osjetni gdje aplikacija komunicira s korisnikom kroz pozicioniranje korisnika u specifično okruženje.

Ako aplikacija stavi korisnika u okruženje koje imitira prirodu sa zelenim, plavim tonovima boja i umirujućom glazbom te se sučelje vizualno uklapa, korisniku se komunicira opuštajuća i prirodom povezana svrha aplikacije te izaziva pozitivno iskustvo korisnika. Postavljanjem korisnika u okruženje koje je dno oceana i sa mnoštvom morskih stvorenja koja plivaju okolo komunicira se drugačiji odnos aplikacije prema korisniku.

Logično je da onda i opcije koje aplikacija nudi budu u skladu s onim što se već komunicira prema korisniku (Doerner, Geiger, i ostali, 2022). Ako sučelje nudi opciju korisniku da nauči više o morskim životinjama onda se odabirom te opcije dolazi do novog izbornika gdje se nudi odabir mora ili odabira skupine morskih životinja ali i promjene u okruženju – prikladno novo okruženje bi i dalje bilo morske tematike, a ne hrastova šuma čime bi aplikacija komunicirala korisniku konfuziju i da ustvari nema potpunu kontrolu nad svojim odabirom (Pianzola i ostali, 2020).



Slika 11: Sučelje i virtualno okruženje aplikacije za čitanje (Izvor: *Figure 2*, Pianzola i ostali, 2020)

## 3.4. Koncepti kreiranja sadržaja

### 3.4.1. Doživljaj i očekivanja

Svaki korisnik će imati doživljaj korištenja aplikacije specifičan za sebe jer ga filtriraju prethodna iskustva, osobne vrijednosti i očekivanja pa su tako Linderman i Beckhaus formirali pojam „*Experiential fidelity*“ koji se može protumačiti kao stupanj u kojem se doživljaj korisnika poklapa s predviđenim iskustvom upotrebe aplikacije.

Prijedlog koji proizlazi iz presjeka iskustva i očekivanja je da se korisniku ne daju sve informacije i potpuno oblikovani (usmjereni) doživljaj nego se radije izvrši priprema korisnika kroz nagoviještanje iskustva i davanja smjernica (što me odmah podsjetilo na promo materijale klasičnih mobilnih aplikacija gdje se obećaje iskustvo praćeno izabranim slikama i atraktivnim situacijama). Korisniku se onda pruža prilika da samostalno istražuje i oblikuje doživljaj prema svojem filtru iskustva i vrijednosti.

Jerald je u svojoj knjizi spomenuo ovaj segment referencirajući se na eksperiment iz 1944. koji su proveli Heider i Simmel, u eksperimentu se koristio kratak videozapis gdje se nekoliko vrsta geometrijskih likova kretalo po plohi te su ispitanici formirali vlastita objašnjenja gdje su geometrijski likovi bili percipirani kao živi entiteti, a kretanje je imalo svrhu i priču (Jerald, 2015).

Ovakva ideja je prikladna za aplikacije koje daju korisniku puno slobode u istraživanju, a posebno ako se radi o narativnima ali i kod samog sučelja postoji faktor uzbuđenja kad mu korisnik prvi put pristupi, a posebno kad sučelje nudi mnoštvo opcija jer poziva korisnika da sve isproba i referencira obećanje koje aplikacija daje korisniku o očekivanjima.

Prepoznati faktori s najvećim utjecajem na doživljaj VR aplikacije (Lindeman & Beckhaus, 2009) se tako logički potpuno uklapaju u ono što je već poznato o prividnoj stvarnosti, a oni su sljedeći:

- Bijeg iz stvarnosti – doživljaj korištenja aplikacije je najizraženiji kad se korisnik može u potpunosti „isključiti“ iz stvarnog svijeta i posvetiti aplikaciji, pritom se „isključivanje“ odnosi primarno na to da nema stvari koji dekoncentriraju i podsjećaju korisnika na stvarni fizički svijet (poput zvukova, buke, osoba)
- Stimulacija višestrukih osjetila – zadovoljavanje većeg broja osjetila, audio-vizualne direktno, a ostala kroz dobar dizajn aplikacije i mogućnosti te atmosferu i okruženje



- Emocije – postupci u prividnoj stvarnosti mogu imati snažan emocionalan utjecaj bilo da se radi o nečem što je korisnik napravio ili programiranom događaju kao dijelu iskustva korištenja (na osnovnoj razini – već samo korištenje rudimentarnih sučelja može izazvati emocije ljutnje, frustracije ili zadovoljstva)
- Interakcija – davanje korisnicima dovoljno opcija i slobode da se fokusiraju na iskustvo i aplikaciju

### 3.4.2. Temeljno iskustvo

Kao i klasične web ili mobilne aplikacije, prividne aplikacije također imaju određenu svrhu odnosno primjenu unatoč tome što mogu ponuditi iskustvo puno većeg opsega.

Kreiranje prevelikog broja funkcionalnosti može zbuniti korisnike i smanjiti kvalitetu korištenja baš kao i kod klasičnih aplikacija. Za osiguravanje stalne razine kvalitetnog iskustva, temeljne funkcionalnosti aplikacije trebaju biti jasno definirane i aktivnosti koje se korisniku nude ih trebaju proširivati tj. obogaćivati, a ne mijenjati ili biti znatno drugačije.

Kao primjer možemo zamisliti aplikaciju koja omogućava igranje tenisa, zahvaljujući virtualnom okruženju možemo imati veliku kontrolu nad vremenskim uvjetima, izgledom terena, dvorane, modela reketa. Igru možemo učiniti atraktivnijom i ako mijenjamo elemente koje u stvarnosti nije moguće poput jačine gravitacije ili brzine putovanja lopte bez obzira na jačinu udarca čime zadržavamo osnovno iskustvo korištenja aplikacije ali ga obogaćujemo (Yu & Gao, 2020).

Upravljanje takvim mehanikama aplikacije može biti programirano ali i prepušteno na izbor korisniku u čijem slučaju treba biti dovoljno intuitivno i zadovoljavajućeg efekta. Ukoliko korisnik smanji gravitaciju, očekivanje je da će loptica imati drukčije ponašanje što će utjecati i na stil igre (Russo i ostali, 2017).

Zaključak je prema tome da aplikacije prividne stvarnosti trebaju imati jasno definirane temeljne aktivnosti za korisnika i maksimalno koristiti prednosti virtualnog okruženja da ga obogate te da mehanike upravljanja aplikacijom trebaju biti iskorištene u svrhu obogaćivanja temeljnog iskustva, a ne kao razlog za korištenje aplikacije (aplikacija treba ponuditi više od toga da je samo VR aplikacija).

Kao najbolji način implementacije mehanizama upravljanja su se pokazala vizualna sučelja u čiji dizajn je potrebno uključiti mnoštvo elemenata tipičnih za sučelja klasičnih web i mobilnih aplikacija što će biti detaljnije opisano u poglavlju 4.

## 4. Karakteristike sučelja u aplikacijama prividne stvarnosti

Elementi sučelja koji se nalaze univerzalno u svim sučeljima su:

- izbornici koji mogu biti izvedeni na različite vizualne načine ali u sebi sadrže gumbе popraćene tekstom i simbolima kojima se opisuje ponuđena opcija
- ekrani za prikaz informacija i upravljanje
- elementi zaduženi za provođenje interakcija između korisnika i prividne stvarnosti poput reprezentacije kontrolera, laserskih pokazivača (zraka), povratnih informacija na geste ili pokret korisnika
- samo okruženje u prividnoj stvarnosti je također element jer sadrži objekte s kojima se vrši interakcija te izgled i atmosfera okruženja ima utjecaj na korisnika

Ovisno o primjeni, elementi sučelja se prilagođavaju, pa tako ako se vratimo na primjer upotrebe kod dizajna interijera - elemente sučelja će činiti izbornici gdje se daje mogućnost odabira objekta kojeg se želi dizajnirati ili postaviti u prostor (šank, slika, namještaj, stol, stolica, ormarić, polica i sl.) te izbornici za uređivanje odabranog elementa (promjena pozicije stolice, boje zida, veličine stola).

Element za provođenje interakcije će biti vidljivi kontroleri dok je okruženje unutrašnjost stana. Kod primjene u medicini će izbornici nuditi odabir scenarija koji se želi vježbati, odabir suradnika, podešavanje vremena trajanja i drugih mogućnosti (npr. uključenost kritičnih problema u nasumičnom trenutku), element za interakciju će predstavljati medicinski pribor dok je okruženje operacijska sala sa stolom za operacijom i medicinskom opremom.

Kod videoigri bi elementi sučelja bili izbornici za odabir opcija i upravljanje postavkama, prikaz dostupnih akcija za korisnika, elementi interakcije mogu biti predstavljeni kroz čarobni štapić, pištolj, palicu, laser, a okruženje može varirati od simulacije stvarne lokacije do potpuno fiktivnih svjetova. Unatoč razlikama u izvedbi, opisani elementi su nužno prisutni za odvijanje aplikacije.

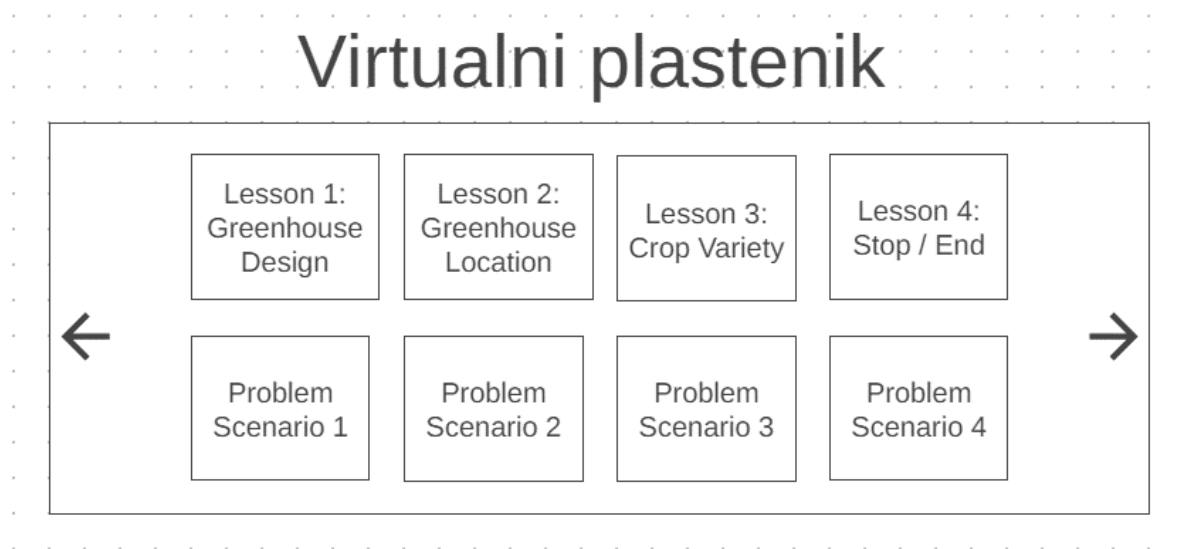
Kako bi se objasnile vrste sučelja korišteno je istraživanje u kojem je kombinirano više vrsta sučelja i jasno su odvojeni po svojoj ulozi u aplikaciji. U odabranom istraživanju je temeljno iskustvo aplikacije bila edukacija korisnika o održavanju i uzgoju kultura u plateniku, a što je bilo izvedeno kroz virtualnu simulaciju platenika za što vjernije uvjete treniranja korisnika za rad s različitim biljkama, uvjetima i zahtjevima (vremenski, financijski, resursni). U virtualnom plateniku su se pri tome koristili različiti tipovi sučelja i načina interakcija.

Fokus istraživanja je postavljen na pitanje prednosti i nedostataka različitih vrsta sučelja i načina na koji su implementirani, a u svrhu upravljanja sustavima održavanja plastenika i dobivanje informacija iz senzora (Carruth i ostali, 2020).

Virtualni platenik je vjerna kopija stvarnog plastenika sa alatima, izgledom, ventilatorima, sustavom za grijanje i navodnjavanje, zamagljivanjem i sličnim drugim dijelovima stvarnih plastenika te je svrha aplikacije bila edukacija potencijalnih klijenata za rad u stvarnom plateniku, sastavni dijelovi su bili virtualni platenik, LMS sustav i ECS sustav za upravljanje platenikom.

Kod LMS sustava se radi o aplikacijskom okviru (eng. *framework*) preko kojeg nastavnik zadaje zadatke, a korisnik (u tekstu student) ih pregledava i odabire koje će izvršiti, ovaj sustav je izveden kroz jednostavno panelno sučelje koje je odvojeno od ostatka aplikacije i služi kao početni izbornik.

Sustav za upravljanje virtualnim platenikom imitira stvarne sustave za upravljanje koji sadrži senzore po plateniku za mjerenje podataka o vlažnosti i tlaku zraka, temperaturi te upravljanje opisanim sustavima u plateniku.



Slika 12: LMS sučelje aplikacije prividnog plastenika (Izvor: prema Carruth i ostali, 2020)

Upravljanje samom aplikacijom je izvedeno kroz sučelja aplikacije poput prikazanog u slici 12, to su akcije poput započinjanja aplikacije i završetka te prikaza nekih informacija. Razlog iz kojeg je odabrana implementacija takvog sučelja je što se radi o akcijama korisnika koje nisu direktno povezane sa temeljnim aktivnostima aplikacije.

Iako se prekid aplikacije mogao implementirati kao izlazak iz plastenika, istraživanje je zaključilo da nije potrebno toliko detaljno simulirati stvarnost i korisničko iskustvo je kvalitetnije kad je upravljanje postavkama aplikacije dostupno direktno korisniku (Carruth i ostali, 2020).

U istraživanju su sučelja podijeljena na dvije vrste, prva je sustavno sučelje u koje pripada opisano LMS sučelje, a karakteristika je da se radi o prikazanim mogućnostima korisniku kroz virtualne panele, dok u drugu pripadaju fizička sučelja čija je karakteristika da su korištena kroz fizičku interakciju.

Fizička sučelja u tom smislu ne predstavljaju prikaz aktivnosti dostupnih korisniku nego intuitivnu interakciju sa objektima u virtualnom okruženju, primjer toga je podizanje, pomicanje, pregled objekata u virtualnom okruženju (u virtualnom plasteniku je to biljka ili prskalica), ako to povežemo sa primjerom kolodvora iz ranijeg poglavlja to može biti karta za vlak koju preuzimamo pri kupnju, držimo u ruci i prikazujemo kondukteru ili novčanik iz kojeg vadimo novac za kartu.

Fizičko sučelje je prema tome prava implementacija interakcije korisnika i aplikacije jer pruža korisniku kanal za direktnu komunikaciju sa programiranim dijelom aplikacije i tu je lako previdjeti razinu kompleksnosti i težinu implementacije takvog sučelja zato što može pružati više načina komunikacije (Weidig i ostali, 2014), neki od njih su pobrojani u nastavku.

Interakcije u kojima se koriste korisnička sučelja koja su intuitivna, odnosno koriste principe interakcije prirodne svakodnevnog ponašanja korisnika poput upotrebe glasa ili dodira se još nazivaju i „prirodna korisnička sučelja (eng. *NUI – natural user interface*) (Wigdor & Wixon, 2011).

## **4.1. Vrste upravljanja i interakcije sa sučeljima u aplikacijama prividne stvarnosti**

Korištenje virtualnih ruku za interakciju s predmetima je najkonkretniji primjer interakcije (Chapoulie i ostali, 2015):

- kod takve čiste fizičke interakcije je često potrebno maksimalno pojednostavniti interakciju što se može ostvariti prilagodbom ili ignoriranje jednog dijela fizike stvarnog svijeta
- primjer jačine stiska predmeta, u stvarnosti ako predmet u ruci ne držimo čvrsto - on će ispasti, ili ako držimo nezgrapan predmet sa neprikladne strane on bi u stvarnosti vjerojatno ispao ili predstavljao značajan fizički napor za takvo držanje


- važan dio fizike interakcije s predmetima u stvarnosti je i težina predmeta, kod virtualnih aplikacija je ogromnim objektima moguće upravljati sustavnim sučeljima, a kod manjih težinu potpuno ignorirati
- nastavno na težinu je gravitacija, pretpostavka je da je gravitacija jednaka u virtualnom okruženju pa je i brzina kretanja simuliranih ruku i predmeta ista stvarnoj, ali ako bi simulirali vodena ili planetarna okruženja moguće je prilagoditi gravitaciju i dobiti vjerniju simulaciju za kvalitetnije korisničko iskustvo i imerziju
- ako u aplikaciji postoje objekti koji mogu i međusobno imati interakciju izazvanu korisnikovom, potrebno je i takav indirektan način isto implementirati (ako korisnik udari veću loptu u manju loptu, očekivanje je da će se sila iz udarene lopte prenijeti na manju, ako korisnik baci predmet u zid – predmet će se korektno odbiti ili ako korisnik baci loptu u koš, ona će proći kroz obroč i aplikacija će registrirati pogodak)
- dobra praksa virtualnih aplikacija je skraćivanje interakcije odnosno preskakanje logičnih i repetitivnih dijelova, iz aspekta dizajna je to stalna konfiguracija sučelja i promjena postavki što se može ostvariti automatskom prilagodbom ili davanjem već definiranih postavki na izbor korisniku dok iz perspektive interakcije s predmetima možemo relativizirati postupke (jednostavan primjer bi bio da ako korisnik zalijeva travu, nije potrebno da mlazom vode temeljito mora proći po svakom dijelu virtualne površine jer je logično da se ta površina može smatrati zalivena iako bi u stvarnosti bilo potrebno temeljito proći svaki dio površine)
- još jedan primjer prilagodbe fizike je rotacija šake i kretanje ruku što može dovesti do vizualno neugodnih prikaza (zamislite izvrnute šake) te fizički nemoguće situacije, na primjer ako bi kontrolore koji predstavljaju virtualne ruke počeli vrtjeti, senzori možda ne bi mogli odrediti što se događa jer se radi o nepredviđenom načinu korištenja ili ako mogu prepoznati onda bi u virtualnom okruženju vidjeli pokrete koji su u stvarnosti fizički nemogući
- ako se aplikacija u velikoj količini oslanja na fizičko sučelje može dovesti do zamora korisnika pa i odbijanja dijela potencijalnih kupaca, ali također može biti i privlačni atribut ako je temeljna aktivnost aplikacije fizička (poput aplikacije za fitness)

Fitness experiences

## Break a sweat with inspiring fitness

Turn your home into a virtual gym, meditate in inspiring settings, or compete against friends. Have so much fun, you'll forget it's a workout.

[Buy Meta Quest 3](#) [Shop all apps](#)





---

### Top fitness collections

Discover collections of inspiring fitness apps and fun-filled games, curated by experts to help you reach your goals.

[Shop all](#)


---



**Find the perfect workout**

Get your sweat on with these hot fitness apps.


[Explore more](#)



**Work out with friends**

Burn calories with your bestie with fun apps and games.

[Explore more](#)



**Top 5 sports games**

Start moving to our collection of elite sports games.

[Explore more](#)

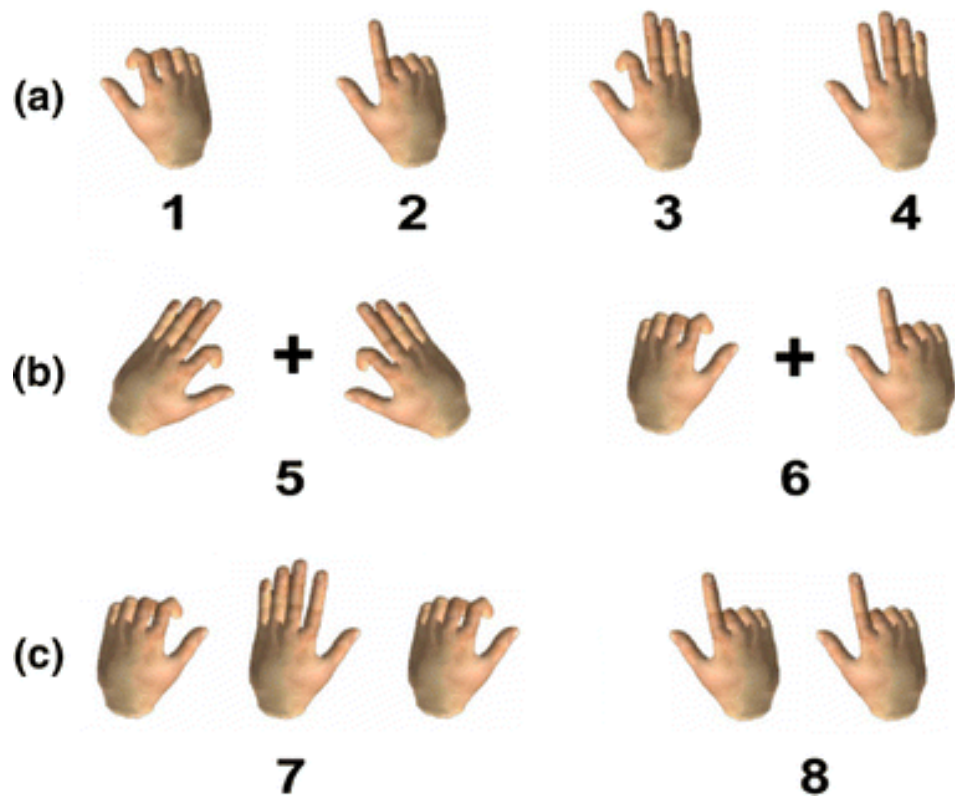
Slika 13: Meta Quest privlači kupce obećanjem o fitness iskustvu (Izvor: web stranica Meta Questa, <https://www.meta.com/quest/fitness/>)

Korištenje glasa za upravljanje ili jednostavnu komunikaciju s virtualnim okruženjem (izuzetak je komunikacija s drugim osobama) pretpostavlja postojanje naprednog sustava za prepoznavanje naredbi i bogatu bazu naredbi i odgovora:

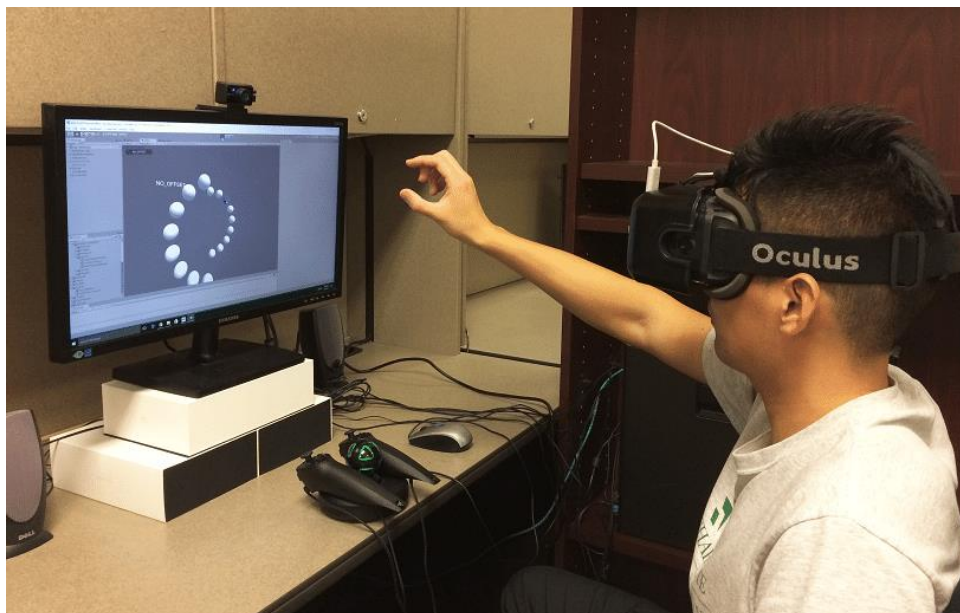
- ovakav način komunikacije postaje još teži za implementaciju ako je aplikacija višejezična
- govor je najprirodniji način komunikacije ali ako osoba ima izražen naglasak ili govori dijalektom onda aplikacija traži od korisnika prilagodbu što nikad nije svojstvo kvalitetne aplikacije, a i isto vrijedi i za bilo koju mobilnu ili web aplikaciju

Korištenje gesti kao tipa upravljanja gdje aplikacija prepoznaje određene pokrete koji se rade prstima, glavom ili rukama tijela (De Marsico i ostali, 2014):

- iako je ovakav način izuzetno intuitivan i blizak ljudima jer se stalno koristi u međuljudskoj komunikaciji, on kod virtualnih okruženja ima jasne nedostatke, od čega je najveći preciznost jer se od korisnika traži da izvede vrlo precizno definirane geste koje u suprotnom ne mogu biti prepoznate ili još gore po iskustvo korisnika – budu pogrešno prepoznate
- geste su već dugi niz godina standardni način interakcije sa određenim sustavima, primjer čine starije generacije igraćih konzola (i igraćih palica) koji su se držali u ruci dok bi kamera pratila pokrete (poput Playstation Move ili Nintendo Wii), dok je Xbox imao Kinect koji je pratio pokrete isključivo preko kamere
- vrsta gesti je prisutna i kod mobilnih aplikacija, kada se koristi dodirni ekran (eng. *touchscreen*) - pomicanje prsta na određeni način može aktivirati neku značajku ili pokrenuti aplikaciju (kao naprimjer crtanje kruga za rezanje dijela slike zaslona, pružanje šake kao znak za pokretanje tajmera pri slikanju i povlačenje prsta od ruba ekrana) ali za razliku od senzora kojima se implementiraju geste u virtualnim aplikacijama, dodirni ekran pruža visoku razinu preciznosti (Doerner, Geiger, i ostali, 2022)
- potreba za sensorima je veliki nedostatak kod aplikacija i uređaja kojima je on potreban jer takvi senzori moraju biti dovoljno precizni da iskustvo korištenja bude ugodno, a što onda predstavlja značajan dio cijene jer kvaliteta i broj senzora imaju direktnu korelaciju sa cijenom
- na slici 14 su prikazane uobičajene geste pri korištenju dodirnih ekrana koje uključuju pomicanje, zumiranje, skaliranje, rotaciju, dok se na slici 15 vidi primjer korištenja takvih gesta u aplikaciji virtualne stvarnosti gdje korisnik odabire „lopticu“



Slika 14: Geste za korištenje sučelja (Izvor: Fig. 3, De Marsico i ostali, 2014)



Slika 15: Korisnik gestom bira "kuglicu" (Izvor: Figure 2, (Li i ostali, 2018)



Još jedan način upravljanja u aplikaciji može biti izveden kroz korištenje prstiju ruke (ili kontrolera) kao svojevrsnog pokazivača, naime poziciju ruke/kontrolera transliramo u virtualni prostor i sa velikom razinom preciznosti možemo u stvarnom vremenu odrediti točnu poziciju i usmjerenje prsta pa ga koristiti kao pokazivač kojim onda vršimo interakciju.

Ovakav pristup u kombinaciji sa virtualnim rukama je ponudio još jednu novu vrstu upravljanja što je prepoznato još u devedesetima kroz tehniku zvanu HOMER (skraćeno od eng. „*Hand-centered Object Manipulation Extending Ray*“) (Poupyrev, 2000) (Doerner, Broll, i ostali, 2022).

HOMER tehnika rješava problem zamora tako što pomiče virtualnu ruku u prostoru neovisno o poziciji korisnika te koristi tehnike skaliranja virtualnog okruženja. Umjesto „pucanja“ pokazivačke (laserske) zrake prstom pa klikom za odabir, ovdje se na kraju zrake projicira virtualna ruka pa zraka ustvari služi samo kao produžetak ruke.

Pokreti virtualne ruke su istoznačni stvarnosti i na taj način korisnik može imati interakciju s objektima koji su udaljeni od njega bez da im fizički pristupa. Problem koji može nastati je vidljivost, ako je virtualna ruka pod manje vidljivim kutom ili na velikoj udaljenosti korisniku može biti teško vidjeti pa samim time i imati interakciju s objektom.

Rješenje problema udaljenosti može biti pozicioniranje točke gledišta bliže objektu, to jest manipulacije točke iz koje korisnik promatra prostor bliže objektu ili praktičnije rješenje koje ne utječe na lokaciju korisnika - skaliranje cijelog virtualnog prostora tako da ga korisnik vidi „umanjenog“.

- prednost ovakvog načina interakcije je što ne zahtjeva dodatna ulaganja jer može u potpunosti iskoristiti već ugrađene senzore ili kontrolere
- za razliku od prvog pristupa sa virtualnim rukama i fizičke akcije u interakciji, ovaj pristup nije fizički zamoran jer je usmjeravanje i „klik“ zanemariv napor
- preciznost pozicije prstiju i ruke kroz senzor ili kontroler je moguće odrediti puno preciznije i lakše je za implementirati nego što je to slučaj kod gesta
- za razliku od gesta nije potrebno učiti pokrete i vježbati njihovo izvođenje, usmjeravanje prsta na predmet kojim se želi vršiti interakcija je instinktivno i koncept koji ne treba objašnjavati korisnicima kad se prvi put susreću sa virtualnom stvarnošću



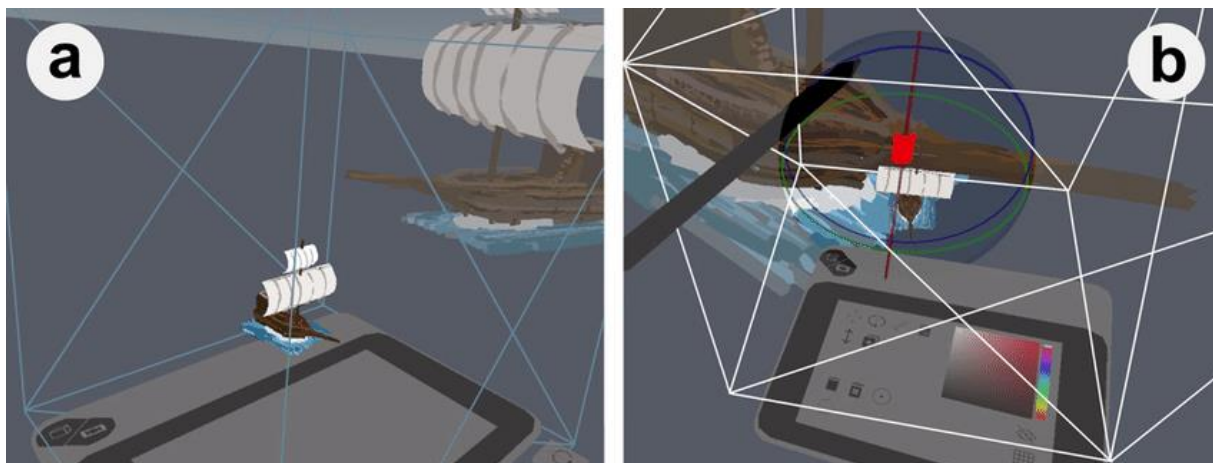
Slika 16: Interakcija kombinacijom prsta kao pokazivača i skaliranja virtualnog okruženja  
(Izvor: Fig. 6.2, Doerner, Broll, i ostali, 2022)

Na slici 16 je prikazan primjer kombinacije prstiju kao pokazivača, uperi i pritiski (eng. *point and click*) načina upravljanja i skaliranja virtualnog prostora. Ovdje treba primijetiti da je objekt s kojim se vrši interakcija posebno grafički posebno naglašen kako bi korisnik sa sigurnošću mogao odrediti s kojim objektom vrši interakciju.

Stavljanje umanjenog prikaza virtualnog prostora jedan je od mnogih primjera prednosti korištenja virtualnih stvarnosti u odnosu na stvarni ekvivalent jer se mogu preskočiti fizička ograničenja i implementirati pojednostavljena i prečice kojima je korisniku upravljanje: fizički manje zahtjevno, brže, preglednije i intuitivno.

Uz primjer umanjenog prostora, virtualne aplikacije često korisniku u ruku na isti način daju alate svojstvene za upravljanje u dedikiranoj aplikaciji.

Skaliranje virtualnog prostora za lakši pregled korisniku se naziva „*World-in-miniature*“ ili skraćeno WIM, dovodi do ideje skaliranja cijelog virtualnog okruženja aplikacije po potrebi korisnika, po tome je moguće virtualni svijet i uvećati pa korisniku približiti određene objekte što je velika prednost za upotrebu u aplikacijama čiji je fokus na prostornom aspektu poput dizajna prostora, arhitekture, slikanja ili modeliranja (Drey i ostali, 2020).



Slika 17: WIM primjer modela jedrilice (Izvor: *Figure 8*, Drey i ostali, 2020)

Na slici 17 je prikazan još jedan primjer korištenja WIM-a gdje se u aplikaciji za modeliranje i crtanje korisniku skalira objekt i omogućava da ga slobodno pregledava i odabere točku na kojoj želi postaviti gledište, a također se pruža i tablet koji na sebi sadrži alate za upravljanje objektom (u primjeru su to alati za crtanje, bojanje, brisanje, kopiranje, rotiranje, skaliranje, prikaz rešetki, promjene dimenzije, zaobljivanja ili drugog kompleksnog oblikovanja).

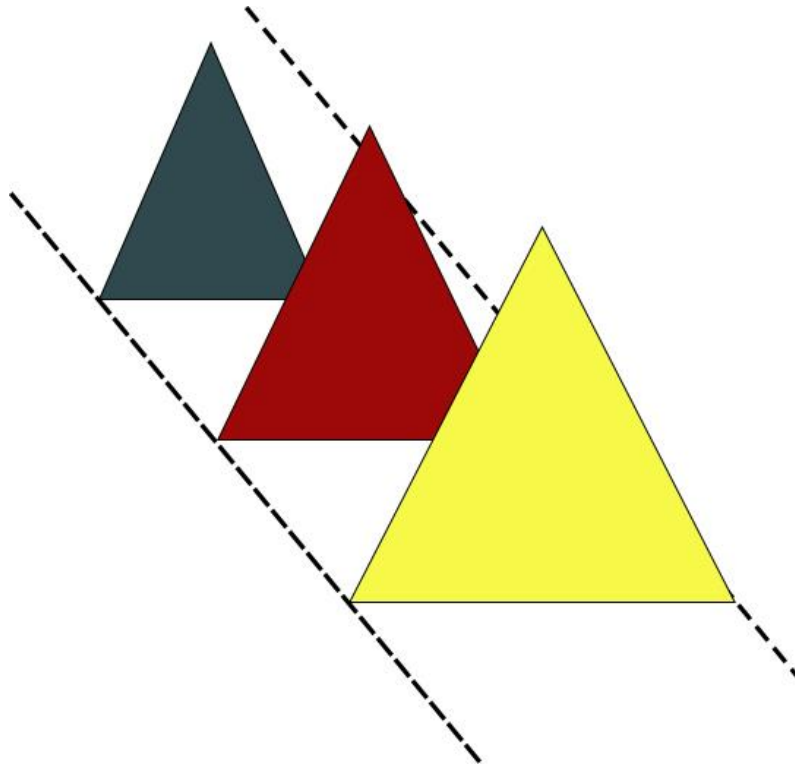
Modeliranje u 3D prostoru zahtjeva proces učenja korištenja svih alata koje je iz stvarnosti potrebno prenijeti u virtualnu, a što se može vidjeti ikonama na tabletu koje predstavljaju mogućnosti oblikovanja.

Velika prednost je intuitivnost i brzina zbog postojanja dimenzije dubine što je kod 2D modeliranja potrebno nadomještati kompliciranim upravljanjem pozicije točke perspektive tj. kamere i tu vidimo direktnu translaciju takvog tradicionalnog 2D sustava upravljanja kamerom u virtualni svijet.

Klasični načini demonstracije dubine u 2D prostoru uglavnom uključuje metode sjenčanja i sjena, relativne veličine objekta u odnosu na udaljenost što kod virtualne stvarnosti nije potrebno dodatno naglašavati jer je objekt zaista fizički u točki koja je više udaljena od točke promatranja korisnika.

Kod virtualne stvarnosti dodatnu pozornost ipak treba posvetiti tome da korisnik već ima intrinzično predznanje o pravoj veličini poznatih objekata iz stvarnosti što je onda potrebno vjerno prenesti u virtualni svijet pri čemu relativni odnosi objekata nisu dovoljni.

Na primjer, ako bi u virtualnom svijetu imali nogometne lopte veličine od 2 do 5, onda bi lopta veličine 4 (za futsal) trebala uistinu biti ne samo veća od 3 i manja od 5 već i naizgled odgovarati stvarnim dimenzijama u suprotnom bi mogli sve lopte povećati za 5 centimetara i njihov relativni odnos bi i dalje bio isti, ali bi korisnik mogao primijetiti/osjetiti razliku od stvarne veličine.



Slika 18: Jednostavan primjer reprezentacije dubine skaliranjem veličine objekta (Izvor: autorski)

Posljednji način upravljanja u aplikaciji može biti izveden pomoću praćenja pokreta očiju, takav pristup se naizgled može činiti praktičnim, korisnik u interakciji s bilo kakvim objektom uvijek promatra upravo taj objekt, ako želi odabrati alat ili neki drugi objekt – dovoljno ga je pogledati.

Sa strane tehnologije potrebne za praćenje pokreta zjenice oka, prvi uređaj za praćenje zjenice oka je izrađen još 1908. godine, a 1980-ih je napravljen prvi računalno potpomognut sustav praćenja zjenice u stvarnom vremenu, dok su za praćenje pokreta zjenice korištene posebne leće (Yasui i ostali, 2019) što je bilo neugodno za korisnike.

Napredak u tehnologiji i sposobnosti već ugrađenih senzora u sustave virtualne stvarnosti omogućavaju praćenje zjenice na neupadljiv način, kalkulacijom reflektirane svjetlosti za dobivanje smjera u kojem je zjenica okrenuta odnosno izračunom vektora smjera i referenciranja sa objektima u prostoru koji leže na tom vektoru smjera da bi se zaključilo u koju točku u prostoru ispred sebe korisnik promatra (Joo & Jeong, 2020).

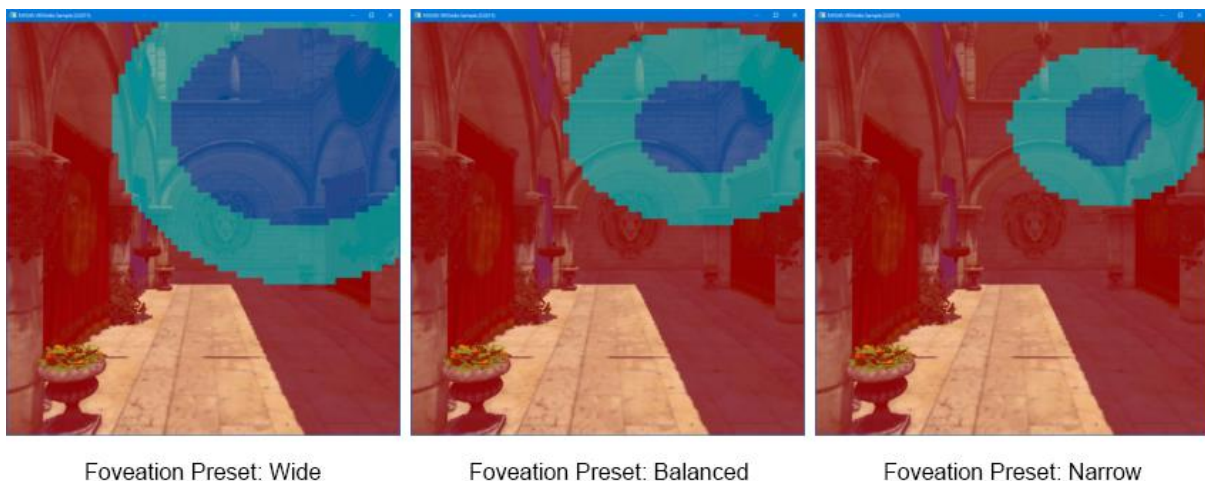
U istraživanju o korištenju praćenja zjenice u interakciji sa virtualnom stvarnosti (Adhanom i ostali, 2023) su pobrojane mnoge poteškoće i primjene za takvu interakciju. Ono

što je izdvojeno je dio o tehničkoj izvedbi, naime za stvaranje totalno imerzivne virtualne stvarnosti, razina vizualne kvalitete mora biti približna stvarnoj kvaliteti ljudskog oka.

Autori istraživanja su predvidjeli da bi za to bilo potrebno prenositi preko 100 Gb podataka po sekundi u uređaj virtualne stvarnosti što je masivna količina podataka i tehnički teško izvediva jer čak i danas najbolja komercijalno dostupna sučelja poput DisplayPort 2.1 nude propusnost maksimalno do 80 Gb/sekundi.

Kao rješenje su se pojavili sustavi sa dinamičkim prikazom ovisno o pogledu korisnika, predstavljen je GCD (eng. *Gaze-contingent*), ponegdje je još nazvan i „*foveated rendering*“ (Biebl i ostali, 2022).

Uzimajući u obzir da ljudsko oko ima veliku oštrinu u tek centralnih 5.2° što pokriva samo 4% ukupnog vidnog polja, nema potrebe da preostalih 96% bude prikazano u visokoj rezoluciji čime se znatno smanjuje količina podataka potrebna za prijenos u virtualni uređaj, a omogućuju veće brzine osvježavanja i ukupne rezolucije što je rezultiralo 50-70% efikasnijom obradom prikaza.



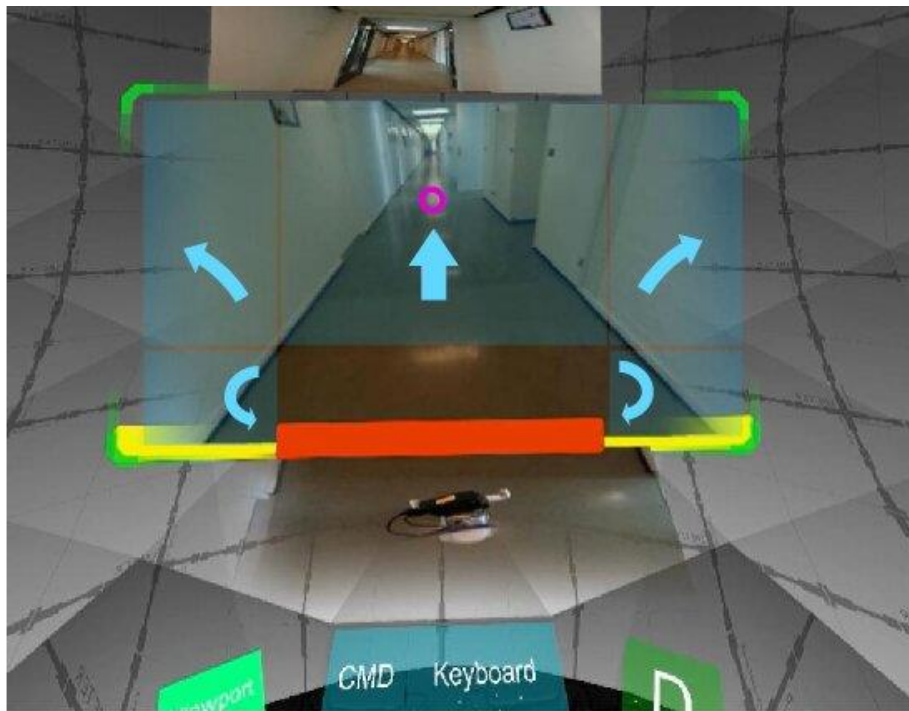
Slika 19 – Integracija Nvidia SDK alata i GCD sustava sa uređajima virtualne stvarnosti (Izvor: Bhonde, 2019.)

Na slici 19 je primjer korištenja GCD principa, dio na koji je korisnik fokusiran, odnosno promatra označen tamno plavom elipsom ima najveću razinu kvalitete svjetlosti (eng. *shading*), svjetlo plava elipse već pada u krug manje razine oštrote retine oka pa sadrži manje detalja, a ostatak virtualnog prostora označen crvenom bojom sadrži najnižu razinu detalja.

Slika je iz Nvidia SDK alata koji omogućava kreatorima virtualnog sadržaja integraciju praćenja očiju sa tehnologijom balansiranja kvalitete prikaza i performansi (Bhonde, 2019) čime se znatno smanjuje hardversko opterećenje, a zadržava kvaliteta prikaza.

Prednost korištenja praćenja zjenice kao načina interakcije je to što isključuje upotrebu ruku pa je prikladnija za korisnike kojima je korištenje ruku otežano ili nemoguće kao i za izbjegavanje „sindroma gorilske ruke“ što se pokazalo da dovodi do negativnog iskustva korisnika i manjeg vremena korištenja (ime sindroma dolazi iz sličnosti pokreta ruku gorila u interakciji s objektom i ruku korisnika u interakciji s vertikalnim plutajućim zaslonima postavljenim u visini očiju (Jang i ostali, 2017).

Još jedna velika prednost je interakcija sa objektima koji su udaljeni, već sam pisao o potrebi pomicanja korisnika u virtualnom prostoru i skaliranju objekata/virtualnih prostora koristeći metode poput WIM-a, a što nije potrebno raditi kod interakcije očima. Ipak, osmišljeni su sustavi kretanja kojima se može upravljati samo očima, kao što se može vidjeti na slici 20 (Zhang & Hansen, 2019).






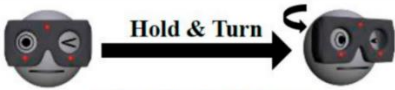








Slika 20: Pomicanje kroz prostor koristeći praćenje očiju (Izvor: (Zhang & Hansen, 2019)

Mogućnost „ciljanja“ udaljenih objekata znači i da je brža od interakcije prstima kao pokazivačima (Adhanom i ostali, 2023). S toliko opisanih prednosti, prikladno je postaviti pitanje: zašto to onda nije dominantan način interakcije u sustavima virtualne stvarnosti?

Odgovor se nalazi u pojmu poznatom kao Midin dodir (eng. *Midas touch*), koliko god sustav za praćenje očiju bio napredan ne može izuzeti prirodne pokrete, tj. trzaje zjenice i razlikovati ih od namjernih pokreta, a drugi problem je u činjenici što nije moguće samo gledati u neki objekt ili točku u virtualnom prostoru bez aktivacije nekakve interakcije, iz čega je nastalo prikladno ime za problem zbog sličnosti sa pričom o kralju Midi (Jacob & Stellmach, 2016).

Rješenje je pronađeno u implementaciji drugih načina interakcije u kombinaciji sa interakcijom očima, bilo da se radi o nekom od već opisanih interakcija (korištenje očiju za odabir objekta i gesti za daljnju interakciju) ili nekih koji su razvijeni kao rješenje problemu Midinog dodira poput uključivanja pokreta i gesta glavom kao načina izdavanja i potvrđivanja naredbi (Sidenmark & Gellersen, 2019).

Primjer seta naredbi za upravljanje korištenjem definiranim gestama očiju i pokreta glavom se može vidjeti na slici 21 gdje su reprezentirane tipične akcije koje se radi mišem računala, tj. pokazivačem, translaticirane u sustav upravljanja praćenjem očiju (Kim i ostali, 2020).

Commands	Facial Gestures
 Click	 Left wink OR Right wink
 Drag and drop	 Left wink – hold & turn
 Double click	 Wink twice
 Zoom in	 Left wink long after a short wink
 Zoom out	 Right wink long after a short wink
 Reset	 Winking two eyes

Slika 21: Geste očima i glavom kao suplement interakciji očima (Izvor: Kim i ostali, 2020)

## 4.2. Smjernice za dizajn sučelja prividne stvarnosti

Pri korištenju fizičkih sučelja intuicija i jednostavnost su bitni zbog koncepta skeumorfizma. Pri kreiranju prvih računalnih sučelja u 80-tima dizajneri su prepoznali da je bitno povezati elemente sučelja sa poznatim elementima iz stvarnosti iz čega je nastala ideja skeumorfizma (Spiliotopoulos i ostali, 2018).

Prateći ideju skeumorfizma izgled, svojstva i ponašanje objekata u virtualnom okruženju ima dvostruku ulogu, prva je uvjeravanje korisnika u virtualni svijet što je opisano u poglavlju 3.1.1, a druga uloga je olakšavanje korisniku snalaženje u novom i nepoznatom okruženju kao što je virtualni.

To se može postići na način da se objekti odnosno elementi sučelja u virtualnom svijetu poistovjete sa stvarnim i tako omoguće korisniku predvidljivost ponašanja u interakciji s navedenim elementima.

Koncept skeumorfizma možemo povezati sa primjerom virtualnog plastenika gdje bilo koji objekt iz plastenika možemo povezati sa stvarnim, a pri čemu se zadovoljavaju uvjeti doživljaja i očekivanja jer korisnik zna kako se objekt ponaša u stvarnom svijetu (kao što su prskalica ili ventilatori u plasteniku).

Primjer primjene skeumorfizma se može vidjeti i u dizajnu klasičnih mobilnih i web aplikacija kod na primjer ikona (Chu, 2023). Slika 22 prikazuje skeumorfiznu ikonu u usporedbi s „flat“ dizajnom gdje je dizajn znatno više apstraktan na primjeru aplikacije čija je temeljna aktivnost objavljivanje fotografija. Preporuča se upotreba skeumorfizma i kod dizajna sustavnih sučelja gdje se korisniku može dati naznaka čemu služi pojedina ponuđena funkcionalnost.

Jasni nedostatak dizajna korištenjem skeumorfizma dolazi u situacijama kad ne postoji prikladna reprezentacija iz stvarnog svijeta koja se može iskoristiti pri čemu je potrebno smisliti simbol koji će pokušati dočarati svrhu funkcionalnosti, a pri čemu se raspoznaju dvije opasnosti:

- prva je da se korištena simbolika pogrešno protumači i navede korisnika da pokrene aktivnost koju nije želio
- druga opasnost je izazivanje konfuzije kod korisnika većim brojem nepoznanica.
-



Ukoliko aplikacija sadrži veliki broj takvih funkcionalnosti koji se ne mogu iskazati na intuitivni način, možda je bolje primijeniti neke druge principe dizajna (Page, 2014).



Slika 22: Upotreba skeuomorfizma kod dizajna ikona (Izvor: Sirmakessis, Rigou, Spiliotopoulos, *Figure 5. Skeuomorphism and Flat design*)

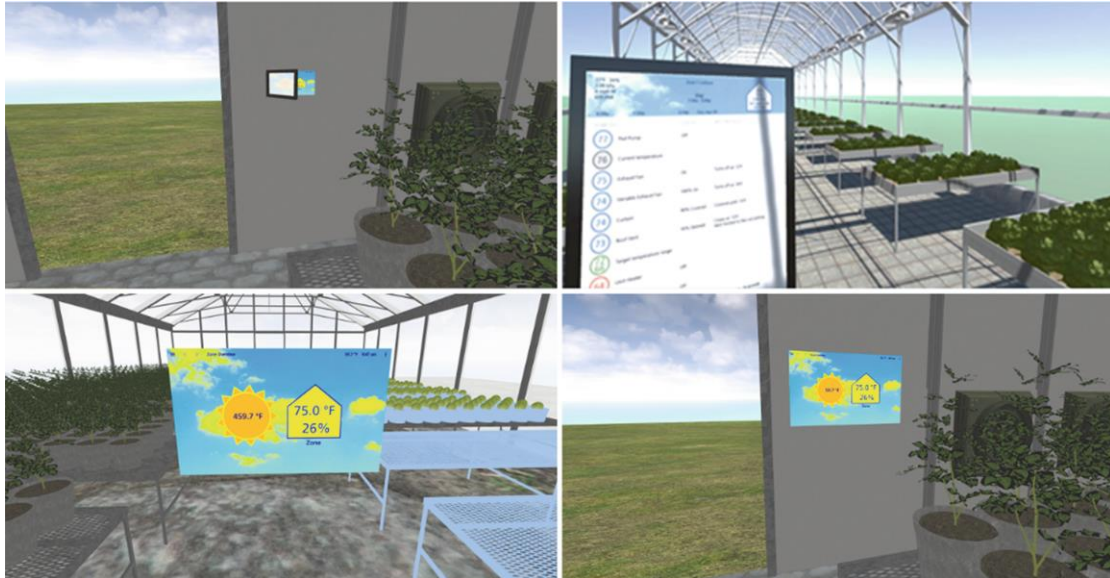
### 4.3. Implementacije sučelja

Treće sučelje u aplikaciji virtualnog plastenika je ECS (eng. *Electronic Control System Interface*), a radi se o sučelju koje ima elemente prethodno dva opisana – sustavnih i fizičkih.

Iz jedne perspektive nudi korisniku skoro trenutčan pregled informacija i mogućnost kontrole okruženja u plasteniku ali za razliku od LMS sustava kojim se upravlja aplikacijom, ECS služi za upravljanje elementima koji su dio temeljne aktivnosti aplikacije što je u ovom slučaju bio sustav kontrole i nadzora nad plastenikom. Ovakav sustav postoji u stvarnosti, dok je u prividnoj aplikaciji implementiran kroz više verzija (Carruth i ostali, 2020).

U prvoj verziji je u vjerno simuliran pa je implementiran kao relativno mali digitalni dodirni ekran pričvršćen na zid unutar plastenika na razini očiju korisnika te zahtjeva od korisnika da se fizički pozicionira do njega kako bi ga mogao koristiti. Ovakva implementacija vjerna stvarnosti je pozitivan atribut za realističnost ali ima nedostatke: korištenje malog zaslona znači da je teže čitati i precizno upravljati njime što pruža negativno korisničko iskustvo i lako odbije korisnike od korištenja iz frustracije.

U poglavlju 4.2. su opisane smjernice dizajna sučelja, pa se treba podsjetiti da virtualna tehnologija nije tradicionalno ograničena i moguće je pružiti ugodnije korisničko iskustvo ignoriranjem nekih ograničenja iz stvarnog svijeta (Doerner, Broll, i ostali, 2022).



Slika 23: Različite implementacije ECS sučelja (Izvor: Fig. 3, Carruth i ostali, 2020)

S obzirom da ECS sustav treba pružati ključne informacije u svakom trenutku ima smisla da ga se implementira na način da je uvijek dostupan, takvu vrstu implementaciju možemo nazvati plutajućim sučeljima koje korisnik može pozvati iz bilo koje lokacije i u bilo kojem trenutku te se pojavljuje ispred korisnika u obliku velikog ekrana, mogućnost univerzalnog pristupa je prednost u odnosu na fizički definiranu pristupnu točku u prostoru, a omogućava podesivu veličinu i svjetlinu što pruža ugodnije iskustvo korištenja.

Međutim zbog veličine ekrana više nije praktično koristiti dodirni ekran i geste kao način upravljanja već je bolja alternativa „*point-and-click*“ gdje korisnik kontrolerom usmjeri lasersku zraku na željeni element i pritisne tipku.

U ovom trenutku možemo primijetiti sličnosti u korištenju kao i sa LMS sučeljem pa želim podsjetiti na ključnu razliku između njih: iako način upravljanja (na dodir ili „*point-and-click*“, geste, očima i dr.) može biti primjenjiv na oba, razlika u je njihovim ulogama unutar aplikacije.

Sučelja poput LMS-a služe upravljanju aplikacijom poput pokretanja, postavljanja postavki, odabira upotrebe i gašenja dok su plutajući paneli orijentirani na asistenciju korisniku u temeljnim aktivnostima aplikacije.

Negativna strana takvih plutajućih sučelja je njihova nerealističnost, zbog toga što nisu fizički fiksirani i sveprisutni pripadaju u kategoriju apstraktnih i lošom implementacijom mogu odbiti korisnike ali i samom svojom prisutnošću narušavaju imerziju korisnika jer nisu dio virtualnog svijeta koji vjerno reprezentira stvarni, a u koji želimo da korisnik povjeruje kao što sam opisivao u poglavlju 3.4.1. Doživljaj i očekivanja (Bowman & McMahan, 2007).

Posljednja implementacija je u obliku tableta koji se manifestira u ruci korisnika, nudi iste opcije korisniku kao i kod drugih implementacija sučelja te se njime može upravljati gestama kroz dodirni ekran baš kao što bi to bio slučaj i u stvarnosti.

Prednosti ovakve implementacije su da preuzima karakteristiku univerzalne dostupnosti što je najvažniji element sustava koji se redovito koriste za upravljanje u aplikacijama, veličina ekrana i blizina očiju korisnika osigurava veliku razinu jasnoće prikaza i još bitnije od toga, korisniku olakšava upravljanje jer su elementi dovoljno veliki da ih je jednostavno pritisnuti.

Zbog toga što su elementi manjih dimenzija moguće je napuniti prikaz sa većim brojem korisnih informacija i upravljačkih elemenata, čime je korisniku potrebno manje koraka da pristupi određenoj opciji.

Kako su dimenzije u virtualnoj stvarnosti relativne, bilo je potrebno prilagoditi principe dizajna iz stvarnosti na virtualne ekrane pa su definirane najbolje prakse za dizajn istih što je detaljnije opisano u sljedećem poglavlju Fittov zakonu.

#### **4.3.1. Fittov zakon**

S obzirom da je korištenje dodirnog ekrana i gesti u virtualnim aplikacijama najjednostavniji i standardni način interakcije, za dizajn sučelja takvih panela je dobro je primijeniti prakse dobrog dizajna iz web i mobilnih aplikacija.

Jedno od dobrih praksi je poznata kao Fittov zakon koji definira kako dizajnirati elemente sučelja koji se koriste dodirrom (eng. *touch targets*) (Yablonski, 2020). Prema Fittovom zakonu elementi na sučelju koji se mogu dodirnuti trebaju biti pozicionirani na području ekrana koji je korisniku lako dohvatiti, međusobno dovoljno razmaknuti kako korisnik ne bi slučajno pritisnuo neki drugi element osim željenog te moraju biti dovoljno veliki da ih bude jednostavno pritisnuti.

Postoje smjernice koje preporučuje minimalnu veličinu pa je tako preporuka američke UX konzultantske tvrtke Nielsen Norman Group 1,6 x 2 centimetra sa svim interaktivnim elementima od najmanje 1 x 1 centimetar (Harley, 2019), kad bi to prebacili u digitalne mjere onda Google preporuča 48 x 48 dp (Google, bez dat.).

U tablici 1 su vidljive preporuke Applea (Apple, bez dat.) i WCAG smjernica (WCAG, 2023).

Tablica 1: Preporučene minimalne veličine elemenata za dodir

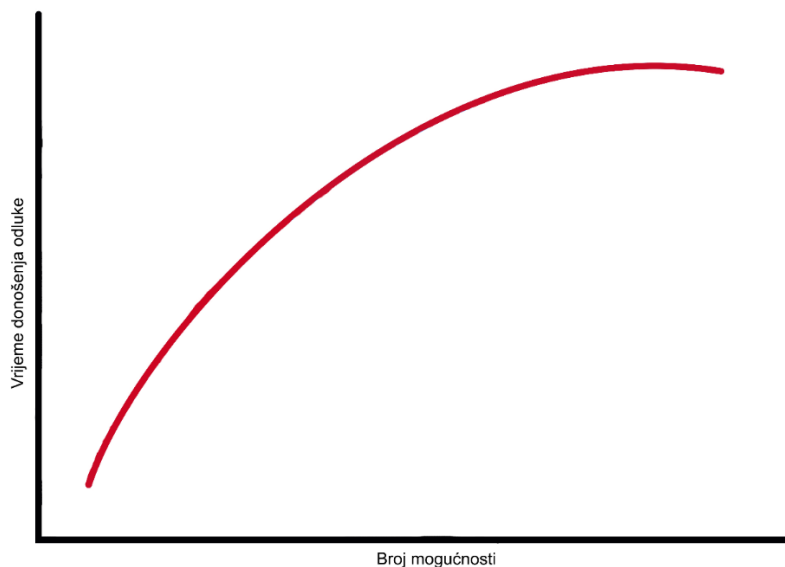
Dodirna sučelja (Touch Interfaces, Apple)	60 x 60 pt
Web Content Accessibility Guidelines (WCAG)	44 x 44 px
Prostorna sučelja (Spatial Interfaces, Apple)	60 x 60 pt

Ovdje treba istaknuti da se veličinu u aplikacijama namijenjenu za upotrebu na mobilnim ekranima i računalnim monitorima ne može direktno kopirati u virtualne aplikacije, međutim pri razvoju virtualne tehnologije su razvijene smjernice isto kao i za razvoj mobilnih aplikacija što se može vidjeti i u zadnjem redu tablice gdje Apple iznosi svoju preporuku.

### 4.3.2. Hickov zakon

Uz Fittov zakon, prikladan je i Hickov koji govori da osim dizajniranja sučelja koje je ugodno za korištenje i funkcionalno, treba voditi računa i o broju ponuđenih mogućnosti. Naime, proces donošenja odluke je vremenski zahtjevan, iako sučelje koje daje jasan pregled mogućnosti korisniku i pruža jednostavan odabir olakšava donošenje odluke, velikim izborom se vrijeme donošenja odluke može značajno povećati, a u nekim prilikama dovesti i do odustajanja zbog preopterećenja informacijama.

Mogućnosti koje se pružaju korisniku stoga trebaju biti jasno definirane po funkcionalnosti, pripadnosti grupi ili nekom drugom obilježju i svedene na optimalan broj. Na slici 24 je prikazan odnos vremena donošenja odluke sa brojem mogućnosti ponuđenih korisnik. Uočava se kako vrijeme u srednjem dijelu grafa raste puno brže od broja mogućnosti (Proctor & Schneider, 2018).



Slika 24: Graf odnosa vremena donošenja odluke i broja mogućnosti (Izvor: autorski)

## 4.4. Kretanje i navigacija

S obzirom da je kretanje jedno od ključnih iskustava u aplikacijama virtualne stvarnosti, tehnologije kretanja su se skupile u pojam lokomocije (eng. *locomotion*) koja dolazi iz latinskih riječi za mjesto („*locō*“) i kretanje („*mōtiō*“).

Jedna od implementacija kretanja u virtualnom svijetu može biti korištenjem upravljanja očima, nešto češći način je uz korištenje kontrolera, a mogu biti upotrijebljeni i senzori za korištenje gesta ili praćenja pokreta korisnika u stvarnosti.

Ovdje ću pobrojati još neke od implementacija lokomocije (Cherni i ostali, 2020):

- stvarno hodanje
- hodanje na mjestu
- klik na željenu lokaciju i teleportiranje
- zamahivanje rukama (primjer: imitacija akceleracije)
- nagib tijela (u sjedećem položaju ili stajaćem)
- odmahivanje glavom
- kombinacija neke od prethodnih implementacija uz korištenje kontrolera ili senzora
- virtualna sfera („*Virtusphere*“) (Nabiyouni i ostali, 2015)
- dodirna podloga (Linn, 2017)
- WIM metoda i geste rukama (Berger & Wolf, 2018)

Samo kretanje kroz virtualni svijet, neovisno o korištenoj tehnologiji za prepoznavanje naredbi korisnika može biti vrlo raznoliko, glavni pokretač novih vrsta kretanja su studiji videoigara koji žele ponuditi jedinstveno iskustvo u svojim proizvodima koji su često i tematski povezani sa atraktivnom vrstom kretanja.

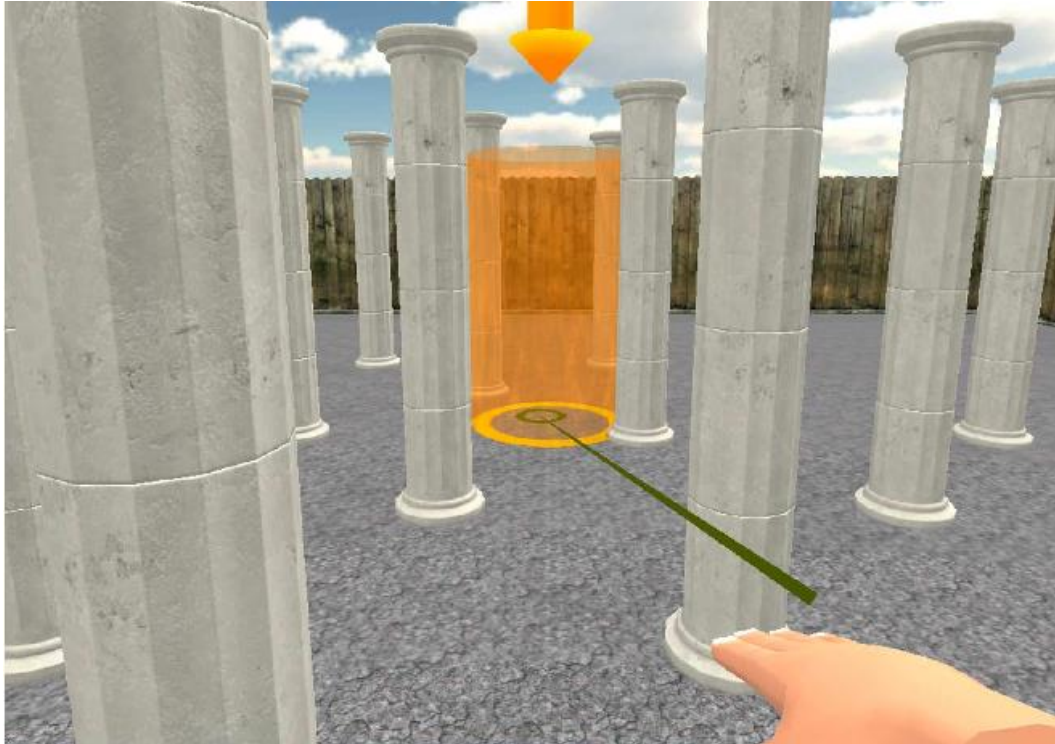
Za lakše objašnjenje, može se zamisliti videoigra za prividnu stvarnost u kojoj igramo kao Superman, pa bi mogućnost letenja bilo očekivana od strane korisnika tj. igrača. Isto tako možemo zamisliti plivanje, skijanje, klizanje kao još neke od načina kretanja iz stvarnog svijeta.

Na slici 25 je prikazana implementacija uz pomoć omnidirekcijskog postolja gdje korisnik nije ograničen stvarnim fizičkim prostorom pa ima veću slobodu kretanja.



Slika 25: Virtuix Omni (Izvor: stranica proizvođača, Omni by Virtuix | The leading and most popular VR treadmill)

Na slici 26 je prikazano korištenje „point-and-click“ interakcije za kretanje kroz virtualni svijet uz upotrebu teleportacije. Iako je takva vrsta implementacije manje invazivna od spomenutog omnidirekcijskog postolja i ne zahtjeva veći fizički prostor, može narušiti imerziju i korisničko iskustvo jer sa sobom često povlači zdravstvene tegobe izazvane naglom promjenom pozicije, ali kao i kod upravljanja očima, razvijena su razna rješenja za taj problem pa je tako jedno od njih korištenje animacija (Moghadam i ostali, 2018).



Slika 26: Korištenje „point-and-click“ za teleportiranje (Izvor: Bozgeyikli i ostali, 2016)

Još jedan primjer može biti trkaća videoigra, gdje je korisnik u sjedećem položaju jer se nalazi na vozačkom sjedalu, okretanje volana i promjena brzine se izvodi praćenjem ruku/kontrolera dok je dodavanje gasa ili kočenje izvedeno pritiskanjem gumba na kontroleru.

Za potrebe istraživanja ovog poglavlje prošao sam kroz kolekciju videoigri za VR na poznatoj distribucijskoj platformi Steam i proučio kako je u pojedinim popularnim naslovima implementirano kretanje, izdvojena su neka od inovativnih i rijetko korištenih rješenja:

- astralno tijelo – korisnik je u prvom licu kad vrši interakciju, a u trećem licu kada se kreće po virtualnom prostoru
- treptaj – korisnik dugim treptajem daje gestu da se želi teleportirati na odabranu točku
- *cloudstep* – pomicanje u željenom smjeru za fiksnu duljinu, možemo zamisliti kao teleportaciju sa niže stepenice na višu gdje je pomak fiksne duljine odnosno jedna stepenica
  - ovo je jedno od rješenja kod korištenja teleportacije kod kojeg nema zdravstvenih nuspojava
- prostorna redirekcija – iz videoigre *Unseen Diplomacy*, korisnik se fizički kreće kroz stvarni prostor dok je virtualni svijet dizajniran na način da se kretanjem u krug korisnika dovodi do novog virtualnog mjesta - a koje je uvijek u istom fizičkom prostoru
- gesta primanja i pomicanja – korisnik virtualnom rukom zgrabi „prostor“ i pomicanjem ruke se pomiče kroz prostor kao da se „privlači“ po žici

Sljedeći segment u kretanju virtualnim svijetom se odnosi na navigaciju, iako je korisnik upoznatom s načinom na koji upravlja kretanjem, potrebno je omogućiti efikasnu navigaciju što znači da se korisnik u svakom trenutku može orijentirati pa ne treba gubiti vrijeme kretanjem kroz virtualni svijet jer nije siguran gdje se nalazi ili gdje treba ići.

Ovdje možemo napraviti usporedbu sa navigacijom u web ili mobilnim aplikacijama, iako svaka aplikacija ima jedinstven dizajn – navigacija je skoro pa identične strukture (Doerner, Broll, i ostali, 2022).

Dobra navigacija podrazumijeva strukturu koja je na prikladnom, logičnom i očekivanom mjestu, kao što je to kod web aplikacija pozicija glavnog izbornika koji je na vrhu stranice u horizontalnom obliku ili ikona izbornika u gornjem lijevom kutu kod mobilnih aplikacija koja otvara vertikalni izbornik.

No za razliku od web i mobilnih aplikacija kod kojih već sad odstupanje od takvog dizajna navigacije izaziva blagu frustraciju kod korisnika jer su naviknuti na nju, kod aplikacija virtualne stvarnosti ne postoji takva skoro pa univerzalna struktura za navigaciju.

Umjesto toga, ona je specifična za svaku aplikaciju, a dodatno je obilježena i ograničenjima u vrsti sučelja i velikom broju načina interakcije što su kod web i mobilnih aplikacija računalni miš, dodirni ekran ili geste. Pitanje izgradnje navigacije u aplikacijama virtualne stvarnosti (Starrett i ostali, bez dat.) stoga glasi: što je očekivana struktura navigacije u aplikacijama prividne stvarnosti?

Istraživanja su zaključila da se navigacija treba izgraditi po istim principima na koji se osoba snalazi u stvarnom svijetu, nasuprot korištenju apstraktnog sustava navigacije kao što su to izbornici i kretanje između stranica linkovima kod web i mobilnih aplikacija.

Iz primjera snalaženja u stvarnom svijetu, možemo definirati dva temeljna procesa: orijentiranje i kretanje između lokacija. Za orijentaciju se čovjek koristi predmetima, objektima, drugim vidljivim i prepoznatljivim lokacijama pa na temelju njih može odrediti gdje se on trenutno nalazi odnosno takva obilježja služe kao orijentiri (Sharma i ostali, 2017).



Na primjer:

- ako osoba vidi Empire State Building - može sa sigurnošću utvrditi da je lokacija New York
- ako se osoba nalazi na ulici i vidi mnoštvo kočija s konjima, prolaznike u zastarjeloj modi i zgrade u viktorijanskom stilu – može pretpostaviti da se nalazi u Londonu 19. stoljeća
- ako osoba vidi pećnicu, kuhinjski stol, tanjure - može utvrditi da se nalazi u kuhinji iako nikad prije nije bila u toj prostoriji

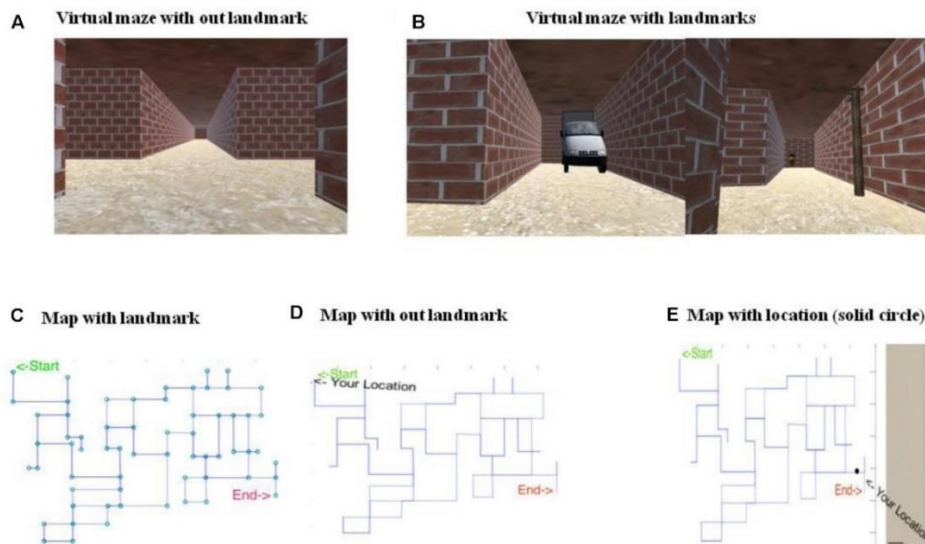
U prethodnim primjerima sam opisao kako osoba na temelju poznatog objekta (zgrade), okruženja (izgleda ulice, odjeće prolaznika, prijevoznog sredstva) te predmeta (kuhinjski elementi) može utvrditi gdje se nalazi s velikom dozom preciznošću.

U sljedećem koraku, osoba povezuje takve orijentire i gradi mentalnu sliku lokacije, pa kada osoba izađe iz kuhinje iz primjera, naći će se u novoj prostoriji ali sada ima spoznaju da se iza nje nalazi kuhinja i prolaskom kroz vrata dolazi u novi prostor koji može biti dnevni boravak.

Ovaj segment orijentiranja se naziva znanjem o ruti i podrazumijeva da korisnik ima znanje o tome koji postupak vodi prema kojoj lokaciji – u primjeru je to znanje da prolazak kroz smeđa drvena vrata iz kuhinje vodi u dnevni boravak, dok prolazak kroz druga, recimo bijela PVC vrata vodi u dvorište.

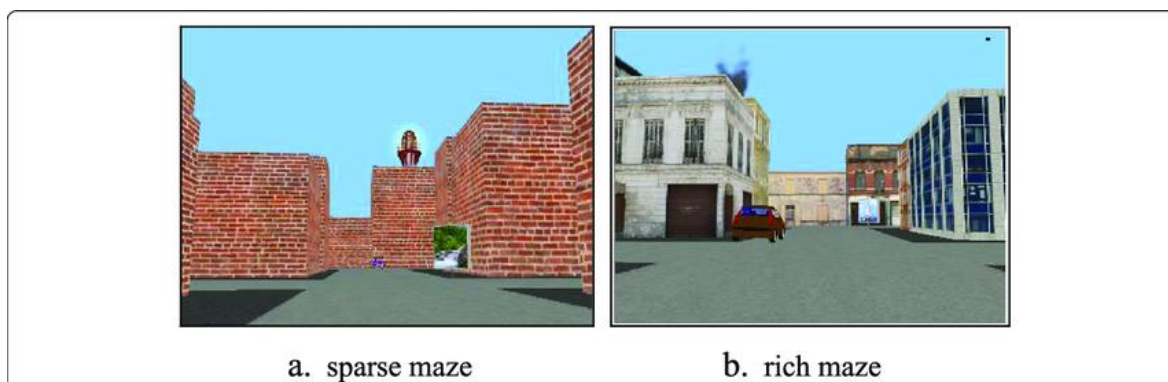
Na slici 27 je primjer iz istraživanja o orijentiranju u virtualnom labirintu gdje je postojala verzija labirinta bez orijentira i sa njima. Ako bi orijentire iz primjera labirinta prebacili u virtualni svijet, dobili bi odgovor na pitanje što su očekivanja korisnika kod navigacijske strukture – jasna obilježja u obliku objekata, predmeta ili drugih lokacija koja služe kao orijentiri i logičan slijed kretanja između lokacija.

Logičnost i očekivanja trebaju biti primjerena stvarnim ili barem tematski prikladna, recimo prolaskom kroz vrata iz spavaće sobe očekujemo da ćemo se naći u hodniku kuće, a ne pred akvarijem u muzeju, s druge strane ako prolazimo kroz portal u prividnom svijetu znanstveno-fantastične tematike očekujemo da ćemo se pojaviti na drugom planetu, svemirskoj postaji ili brodu, a ne u spavaćoj sobi.



Slika 27: Istraživanje o orijentaciji u labirintu sa i bez orijentira (Izvor: *Figure 1*, Sharma i ostali, 2017)

Slika 28 je iz istraživanja znanja o ruti gdje je konstruiran labirint s minimalnom količinom orijentira te njegova verzija sa bogatim brojem orijentira i puno sličniji stvarnoj lokaciji. Dodavanjem velikog broja orijentira i detalja, sama lokacije više ne izgleda kao labirint već stvarno mjesto i kod kretanja više dolazi do izražaja znanje o ruti nego snalaženje uz pomoć orijentira iako ih je više.



Slika 28: Iz istraživanja znanja o ruti (Izvor: Farran i ostali, 2015)

Kao osobni primjer mogu dati vožnju kroz Zagreb, iako ne poznajem grad detaljno, imam dovoljno znanja o rutama da mogu odrediti da ću skretanjem desno na određenom raskrižju kroz neki vremenski period sigurno doći do željene lokacije i na tom putu prepoznajem određene objekte (zgrade, parkove, ulice, raskrižja) koje su mi poznate odnosno koristim svoje orijentire ali ne za to da odredim kamo trebam ići nego samo kao potvrdu da se trenutno nalazim na pravoj ruti prema svom odredištu.

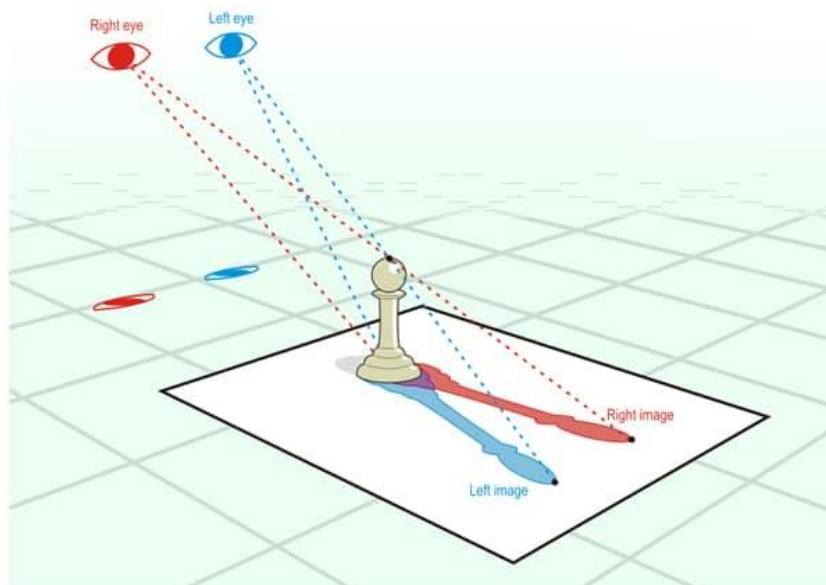
## 5. Tehnički izazovi

S modernim naočalama za prividnu stvarnost moguće je pogrešno zaključiti kolika je zapravo kompleksnost uređaja i da se radi samo o jednostavnom prikazu slike na digitalnim ekranima u naočalama.

Ljudsko oko već stvara zasebnu sliku sa svakog oka koja se zatim spaja pa gledanje u uniformni digitalni ekran poput mobilnog ili TV-a ne predstavlja problem ali kod uređaja prividne stvarnosti potrebno je generirati zasebnu sliku za svaku oko pri čemu onda treba uzeti u obzir udaljenosti i kut gledanja zjenica, kutove leća, poziciju slike i promjenu veličine slike prividnog prostora sukladno dubini (Herman i ostali, 2021).

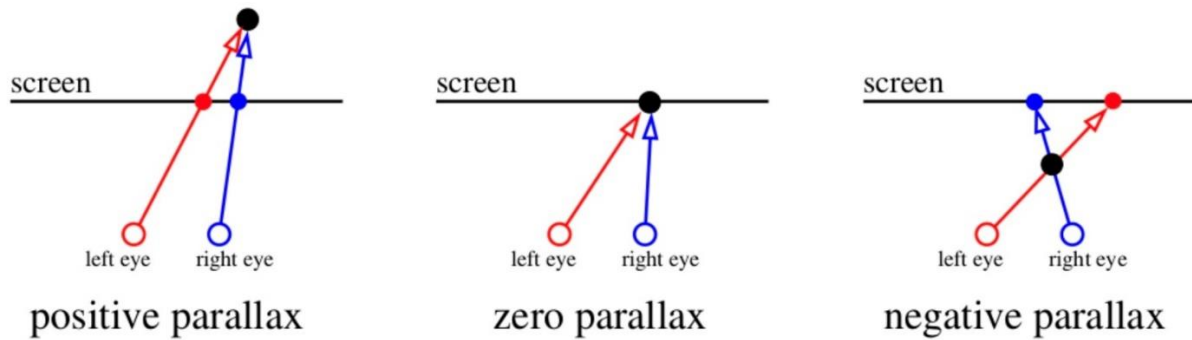
Ovdje se nailazi na pojmove poput monoskopskog i stereoskopskog prikaza slike gdje je monoskopski jednostavniji za upotrebu jer koristi jedan kut za oba oka dok stereoskopski generira sliku uz dva kuta prilagođenu za upotrebu u kombinaciji sa uređajima poput naočala za 3D.

Kao primjer se može uzeti slika filma na platnu kina koji se projicira u 3D-u, bez 3D naočala slika izgleda kao da se sastoji od dvije iste slike koje su malo pomaknute u svaku stranu pa je rezultat mutna slika dok naočale „ispravljaju“ taj pomak i daju efekt dubine. Ovakav princip je bitan kod naočala za prividnu stvarnost kako bi se izbjegli razni vizualni artefakti koji onda za posljedicu imaju zdravstvene tegobe i bitno smanjuju vrijeme korištenja aplikacije jer narušavaju upotrebljivost.



Slika 29: Stereoskopski prikaz za dobivanje dubine (Izvor: web stranica, Immersion VR, bez dat. <https://immersionvr.co.uk/blog/monoscopic-vs-stereoscopic-360-vr/>)

Još jedan bitan pojam je i paralaksa kod koje se udaljenosti i kutovi očiju te leća moraju točno poklopiti kako bi se slika ispravno projicirala na ekranu (nulta paralaksa), umjesto da je točka fokusa slike iza (pozitivna paralaksa) ili ispred (negativna paralaksa) ekrana zbog čega bi slika bila nejasna.



Slika 30: Moguće paralakse (Izvor: web stranica, VR / AR Fundamentals, 2021, [https://wp.nyu.edu/shanghai-vr\\_ar\\_fundamentals/2021/05/06/vr-ar-fundamentals-class-13-may-5-week-6-of-7-production-mode/](https://wp.nyu.edu/shanghai-vr_ar_fundamentals/2021/05/06/vr-ar-fundamentals-class-13-may-5-week-6-of-7-production-mode/))

## 6. Alati za razvoj aplikacija i njihova distribucija

Kod dizajniranja aplikacija za prividnu stvarnost može se koristiti kombinacija različitih alata. Moguće je koristiti klasični pristup razvoju aplikacija (kao kod mobilnih ili web aplikacija) u nekom od postojećih programskih okvira ali za što je potrebno imati iskustvo i predznanje.

Druga mogućnost je korištenje alata namijenjenih specifično razvoju projekata za prividno okruženje, njihov nedostatak je što je u postupku razvoja aplikacija nužno odmah vršiti testiranje za detekciju pogrešaka i nedostataka, za što je nužno posjedovati odgovarajuću opremu i infrastrukturu što predstavlja značajan trošak.

Manji trošak nudi treća mogućnost kod koje se mogu koristiti neki od besplatnih alata i simulatora mobilnih operacijskih sustava.

Kao najmoćniji alati se mogu izdvojiti oni u kategoriji za razvoj videoigri (eng. *game engines*) jer u sebi sadržavaju najviše funkcionalnosti, poput kreiranja vrlo detaljnih okruženja prividne stvarnosti, zvučnog i animacijskog aspekta, modeliranje, upotrebu tekstura, prilagodbu hardveru, podršku zajednice te korištenje već postojećih modova ili projekata.

Najpopularniji besplatni i javno dostupni alati u toj kategoriji su Unity VR Engine te puno kompleksniji i moćniji s velikom podrškom zajednice Unreal Engine 5. Mnogi popularni alati za rad s animacijama ili modeliranjem imaju vlastite ekstenzije kojima su omogućili korisnicima prijenos sadržaja kreiranog u takvim alatima u okruženje prividne stvarnosti.

Najpoznatiji takav besplatni alat je Blender koji ne zahtjeva veliko predznanje korisnika već se kompleksnost korištenja povećava sukladno ambicijama korisnika i omogućava naprednim korisnicima skoro neograničene mogućnosti.

Tu su još i Autodeskovi alati za modeliranje Maya i 3ds Max koji također podržavaju kreiranje za aplikacije prividne stvarnosti ali čije licence nisu besplatne.

Vrlo popularan alat za kreiranje prototipova korisničkih sučelja je Figma iz koje se također projekti mogu prebaciti u okruženje prividne stvarnosti pomoću dodatka o čemu je više napisano u poglavlju 7.6.1.

Od navedenih alata, za izradu praktičnog dijela rada korišteni su Figma, Blender i Unity.

Dodatna podrška korištenju već postojećih alata za razvoj, a čija primarna namjena nije bila orijentirana na VR aplikacije su razni softverski razvojni moduli (*SDK*) kojima se omogućava integracija hardvera za VR i programskih alata. Neki od popularnijih modula su:

- OpenVR razvijen od strane Valvea za upotrebu na njihovoj SteamVR platformi koja omogućava igranje VR videoigri
- GoogleVR za integraciju s projektima rađenima u Java programskom jeziku
- Oculus Interaction SDK
- PlayStation VR Dev Kit.



Slika 31: Izrada logotipa u alatu ShapesXR (Izvor: web stranica, PICO, bez dat.

<https://www.picoxr.com/global/games/shapes-xr>)

Ovdje se može napraviti distinkcija u alatima za razvoj aplikacija prividne stvarnosti prema načinu njihovog korištenja:

- prvi način upotrebe je na računalu
- drugi način upotrebe čine alati koji su dizajnirani za korištenje u prividnoj stvarnosti, a za kreiranje novih sadržaja i aplikacija baš za prividnu stvarnost.

Odabir prikladnog alata ovisi o namjeni i kompleksnosti projekta koji se radi pa tako postoje jednostavniji alati namijenjeni za izradu jednostavnijih aplikacija i sučelja poput ShapesXR alata koji je dostupan na Meta platformi te Trovi za izradu prototipova aplikacija i animiranih filmova, kompleksniji alati poput Shapelaba koji maksimalno iskorištava principe prividne stvarnosti i korisničkih sučelja za modeliranje unutar prividnog prostora.



Slika 32: Izrada prototipa u alatu Tvorii (Izvor: stranica Tvorii na platformi Steam, 2016.

<https://store.steampowered.com/app/517170/Tvorii/>)

S obzirom na specifičan način upotrebe aplikacija prividne stvarnosti, postoji i razlika u načinu na koji se aplikacije za prividnu stvarnost distribuiraju. Kod web aplikacija, iste se mogu koristiti direktno iz web preglednika te ih je potrebno samo postaviti na poslužitelj, a mobilne aplikacije je moguće distribuirati kroz mnoštvo postojećih digitalnih distribucijskih servisa.

Tako su na mobilnim uređajima dostupne trgovine aplikacija poput Google Playa za Android, kod iOS-a App Store ili AppGallery za Huawei uređaje.

Za distribuciju VR aplikacija mogu se koristiti navedeni servisi pa se VR uređaj može koristiti u kombinaciji s mobilnim (kao na primjer Google Cardboard gdje ekran mobilnog uređaja zamjenjuje ekran u VR naočalama), češće se ipak koriste distributivne platforme namijenjene aplikacijama i alatima za upotrebu na računalima. Uglavnom se radi o web ili specijaliziranim platformama za distribuciju videoigri/alata pa se tu mogu izdvojiti Steam ili Epic Games Store kao najveće i najpoznatije takve platforme.

Na slici 33 je primjer modeliranja u alatu Shapelab koji se distribuira kroz Steam platformu i moguće je prepoznati neke od elemenata opisanih u poglavlju 4.3. poput korištenja uvijek dostupnog digitalnog ekrana, kontrolera za usmjeravanje i odabir opcije („*point and click*“), upotrebe ikona za simboliziranje pojedinih akcija i oblikovanje sučelja veličinom, bojama i oblikom (primjer velikog pravokutnog izbornika i manjeg kružnog sa izdvojenim opcijama).



Slika 33: Modeliranje u prividnoj stvarnosti uz Shapelab (Izvor: stranica Shapelab na platformi Steam, 2023. <https://store.steampowered.com/app/571890/Shapelab/>)



## 7. Praktični rad

Za izradu praktičnog dijela rada korištene su naočale za virtualnu stvarnost Meta Quest 3 dok su za razvijanje aplikacije korišteni alati ShapesXR, Blender i Unity. Zbog brze potrošnje baterije, konfiguracija naočala je podešena na manje zahtjevnu sa brzinom osvježavanja od 72 Herza i rezolucija na 3616 x 1952 piksela.



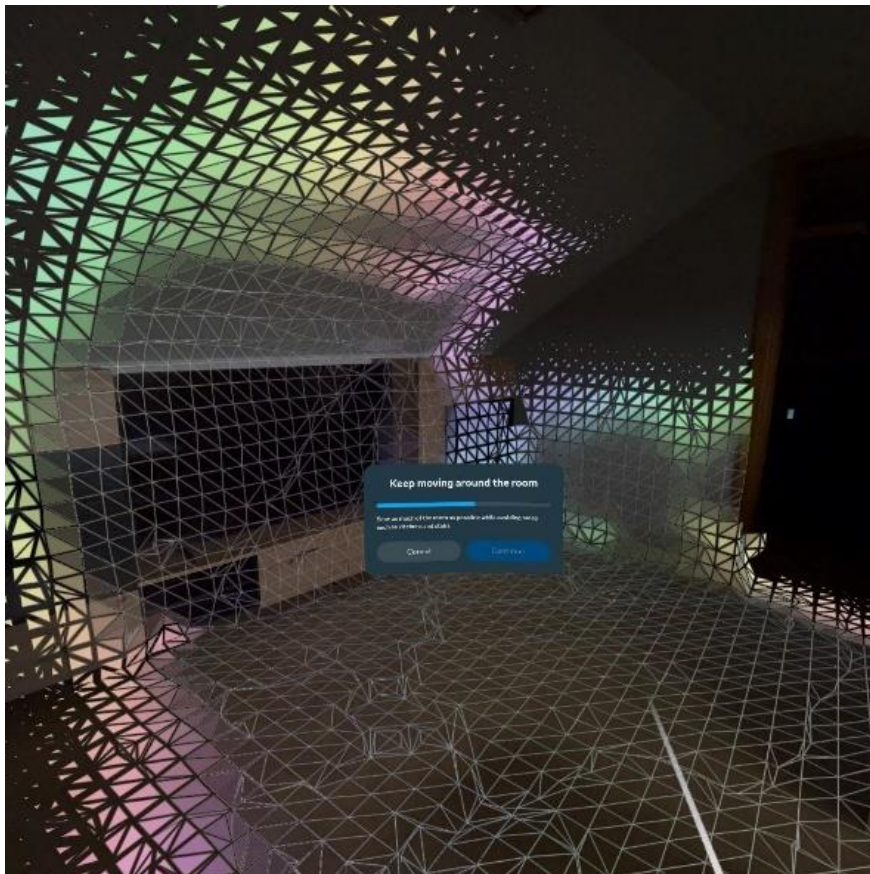
Slika 34: Meta Quest 3 sa kontrolerima (Izvor: autorski)

Ideja za praktični rad je bila stvaranje aplikacije koja bi djelovala kao platforma za pregledavanje prividnih verzija stvarnih prostora. U alatu ShapesXR bi bili testirani modeli i zamišljene interakcije, dorada modela se odvija u Blender alatu, dizajn sučelja u Figma, i u konačnici implementacija u prototip aplikacije koristeći Unity.

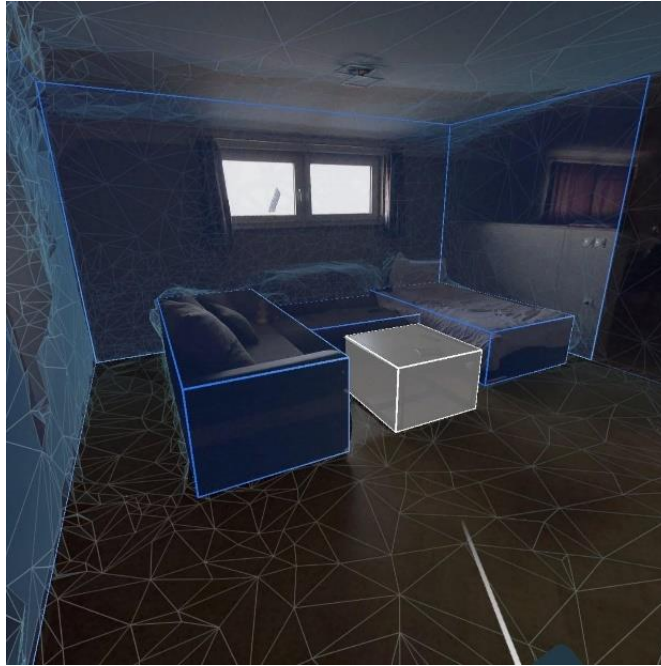
## 7.1. Kreiranje modela prostorije

Za stvaranje prividne verzije prostorije odnosno digitalnog blizanca je potrebno upotrijebiti tehniku fotogrametrije gdje se snimanjem fizičkih modela ili prostora sa više strana i kutova može dobiti dovoljno informacija za stvaranje njihovog reprezentativnog 3D modela.

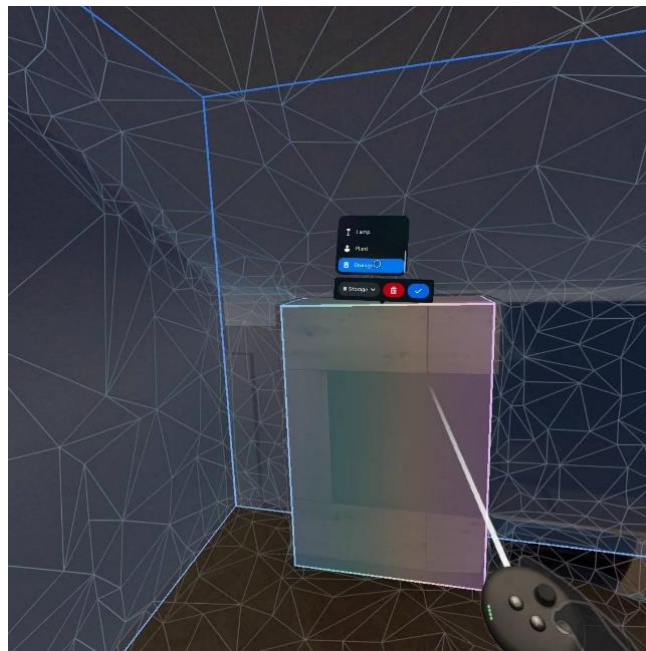
Jedna od mogućnosti definiranja prostora je koristeći ugrađene kamere na Meta Quest uređaju što se može vidjeti na slikama 35, 36 i 37 gdje je skeniran dnevni boravak, a što omogućava dobivanje granica prostorije odnosno „*mesh*“ prostorije što će kasnije poslužiti za preciznije namještanje modela.



Slika 35: Skeniranje prostora kamerama na Meta Quest uređaju (Izvor: autorski)



Slika 36: Definiranje zidova i objekata u skeniranom prostoru (Izvor: autorski)



Slika 37: Crtanje granica objekata (Izvor: autorski)

U praktičnom radu je korištena prostorija spavaće sobe jer sadrži više predmeta, za dobivanje cijelog prostora kao modela je korištena mobilna aplikacija Polycam. Noviji modeli iPhone mobitela imaju LiDAR kameru koja omogućava mjerenje udaljenosti odnosno dubine što olakšava generiranje 3D modela. Koristeći svoj mobitel koji (nema LiDAR kameru) bilo se potrebno osloniti na veliki broj slika odnosno videozapisa da bi se dobila dovoljno vjerna reprezentacija prostora.

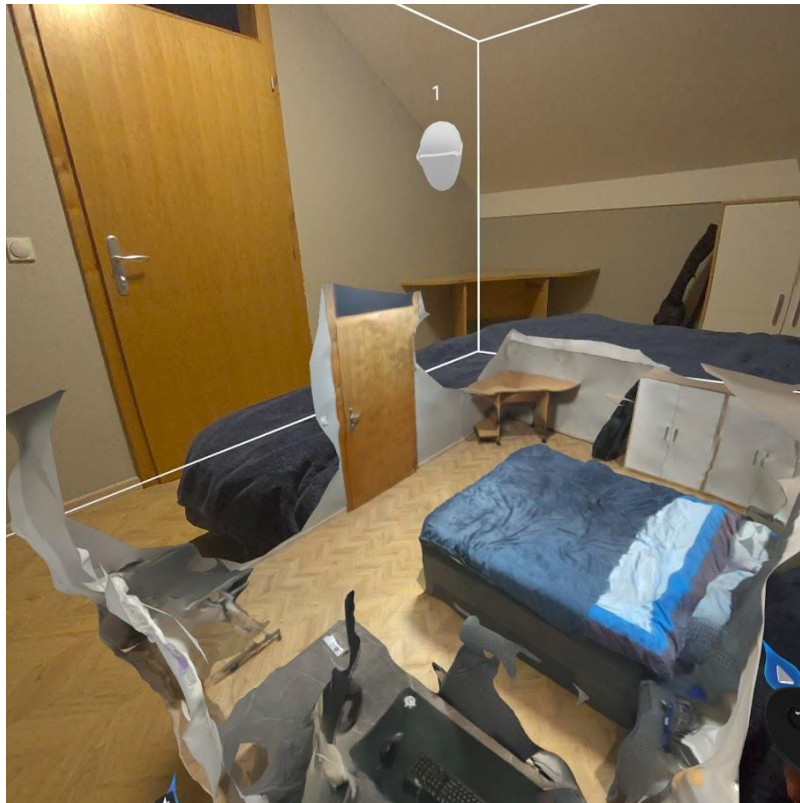


Slika 38: 3D model sobe dobiven skeniranjem s Polycam alatom (Izvor: autorski)

Na kraju je nakon niza pokušaja u kojima su bile verzije gdje bi pojedini objekt bio dupliciran, pogrešno pozicioniran ili nedovoljno jasan, iskorištena sesija skeniranja sa 384 slike iz koje je generiran 3D model sobe, a koji je zatim bio izvezen u .glb formatu i uvezen u cloud prostor ShapesXR alata.

Na slici 38 je prikazan dobiveni 3D model sobe, dok je u sljedećem koraku bilo potrebno pokrenuti ShapesXR alat, kreirati novu scenu i dohvatiti model sobe pohranjen u cloudu te ga postaviti ga u prividni radni prostor (scenu) u skali 1:1.

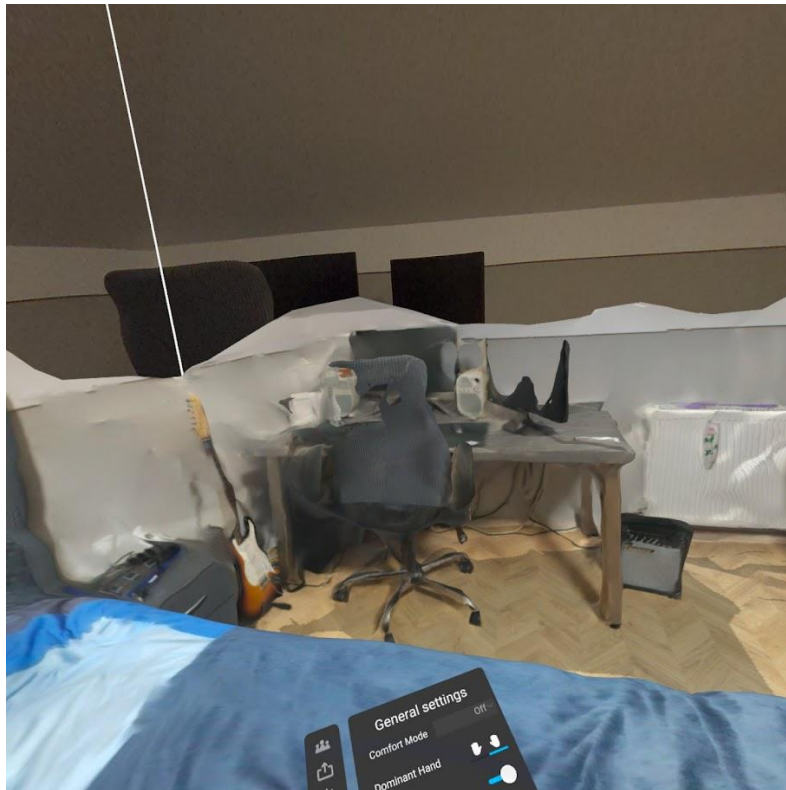
Nakon uvoženja modela potrebno ga je precizno namjestiti da se poklapa sa prostorom u stvarnosti, a s obzirom da se radi o skali gdje je model u stvarnoj veličini, prividni radni prostor je također stvarne veličine sobe i tu pomaže prethodno postavljen sken prostorije zbog definiranih granica (eng. *mesh*). Umanjeni model sobe u prividnoj stvarnosti je prikazan na slici 39, dok bijele crte prikazuje granice prostora.



Slika 39: Model sobe prije skaliranja (Izvor: autorski)

Kao najlakši način za pozicionirati model u stvarne dimenzije se pokazalo stajanje na fiksnoj točki u sredini modela (uz sredinu donjeg dijela kreveta) i pomicanjem rubova kreveta iz modela do ruba kreveta iz stvarnosti te prolaskom po sobi i detaljnijim pozicioniranjem manjih elemenata (prekidač svjetla, rubovi stola, vrat gitare).

Na slici 40 se vide granice prostorije dobivene skeniranjem prostora naočala i stvarni prostor (vidljiv zbog kamere na prednjoj strani VR uređaja) te umanjeni model nakon njegovog uvoza u radni prostor, a čime se dobiva svojevrsna mješovita stvarnost (eng. *mixed reality*) gdje istovremeno postoje elementi iz stvarnosti i prividni elementi.



Slika 40: Sinkronizacija pozicije modela (Izvor: autorski)

U nastalom 3D prostoru je zatim potrebno rekreirati pojedine predmete iz interijera i popraviti one koje u modelu sobe nisu dovoljno dobro generirani (na primjer: gornji dio stolice, desni monitor, dijelovi zida).

Tradicionalni način bi bio modeliranje u eksternom softveru (poput Blender, Maya ili spomenutih Unity, Unreal Engine) po uzoru na stvarni objekt što osim točnih dimenzija uključuje i kreiranje tj. korištenje odgovarajućih tekstura ili pronalaženje prikladnog modela iz neke od knjižnice modela poput PolyHaven ili Sketchfab i takav model uvesti u virtualni model sobe.

Primjer takvog modela je prikazan na slici 41, ako bi uvezao model u prividni radni prostor mogao bi vidjeti kako bi soba izgledala kad bi u nju dodao police ali i funkcionirala ako bi na te police postavio prividnu reprezentaciju stvarnih predmeta iz sobe. Takvom preciznom reprezentacijom u prividnoj stvarnosti, može se steći osjećaj ako je to dovoljan broj polica i koliko bi bile korisne što direktno utječe na odluku kupnje.



Slika 41: Model polica u PolyHaven knjižnici (Izvor: web stranica PolyHaven, autor Ulan Cabanilla, 26.4.2024. [https://polyhaven.com/a/steel\\_frame\\_shelves\\_03](https://polyhaven.com/a/steel_frame_shelves_03))

Ipak, ograničenja u takvoj vrsti dodavanja modela su licence, dostupnost modela, format datoteke, kvaliteta rezolucije i teksture. Meta Quest uređaj omogućava da se rubovi objekata interijera „nacrtaju“ u prividnom prostoru u stvarnoj skali i dodijeli im se oznaka predmeta kojeg predstavljaju pa se tako može prepoznati stol, ormarić, cvijet, televizor, vrata, prozor i dr.

Jedna od mogućnosti rada u ShapesXR alatu je i korištenje tekstura modela iz stvarnosti u prividnoj reprezentaciji pa tako umjesto bojanja ormarića uniformnom smeđom bojom moguće je teksturu modela učiniti transparentnom čime će prividna reprezentacija modela poprimiti stvarni izgled.

U ovom koraku se mogu dodavati objekti po želji na način da se oni oblikuju korištenjem palete primitivnih oblika u alatu ili uvozom modela iz knjižnica što se nakon nalaženja modela može napraviti uvozom u ShapesXR cloud knjižnicu na isti način kao što je uvezen model sobe, a kojoj korisnik može pristupiti direktno iz prividne stvarnosti.

Na slici 42 je vidljivo kako je sad na mjestu sekundarnog monitora koji je bio loše kvalitete u izvornom modelu nacrtan novi monitor iz skupa dostupnih predmeta alata ShapesXR, isto je napravljeno za crni stolić.



Slika 42: Primjer dodavanja monitora i stola u model (Izvor: autorski)

## 7.2. Mogućnosti ShapesXR alata

Pritiskom na gumb kontrolera pojavljuje digitalni panel centriran na šaci u kojem se prikazuje izbornik za kontrolu prostora u kojem korisnik radi:

- omogućeno je dijeljenje tog prostora s drugim korisnicima
- rad s više slojeva (eng. *layer*)
- uvoz i konfiguracija modela
- ponuđeni su alati za kreiranje, uređivanje, bojanje, rotaciju, dimenzioniranje objekata
- uređivanje scene, dodavanje „kamera“ i praćenje radnje
- dodavanje teksta, uređivanje interakcije i elemenata izbornika



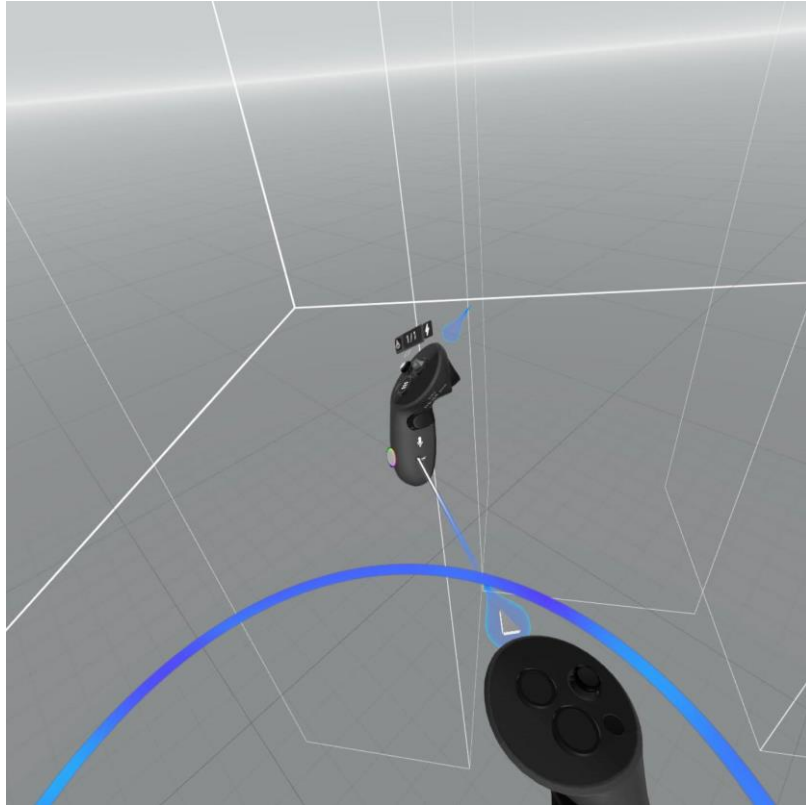


Slika 43: Izgled sučelja jednog od izbornika (Izvor: autorski)

Odabirom opcije se u nastavku panela otvara novi prozor s dostupnim opcijama što se može vidjeti na slici 43, dok se za kretanje između izbornika i selekciju koristi laserski pokazivač koji proizlazi iz kontrolera i gumbi „okidači“ smješteni na poleđini kontrolera.

U pojedinim situacijama uređivanja modela postoje opcije koje su smještene na bočnim stranama kontrolera i zahtijevaju koordinaciju objiju ruku za njihov odabir. Na slici 43 se može primijetiti kako desni kontroler ima ikonu prekriženog magneta (postavka alata za hvatanje).

Lijevi kontroler sadrži izbor boja, te se u gornjem desnom rubu lijevog kontrolera nalazi ime funkcionalnosti u kojoj je trenutno korisnik i aktualno vrijeme.

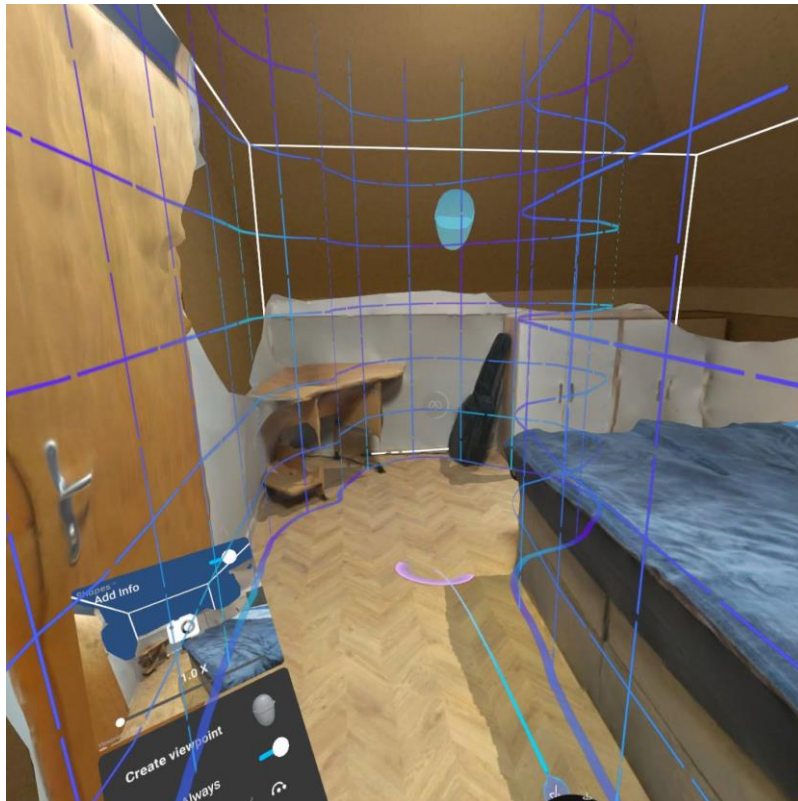


Slika 44: Bočne kontrole (Izvor: autorski)

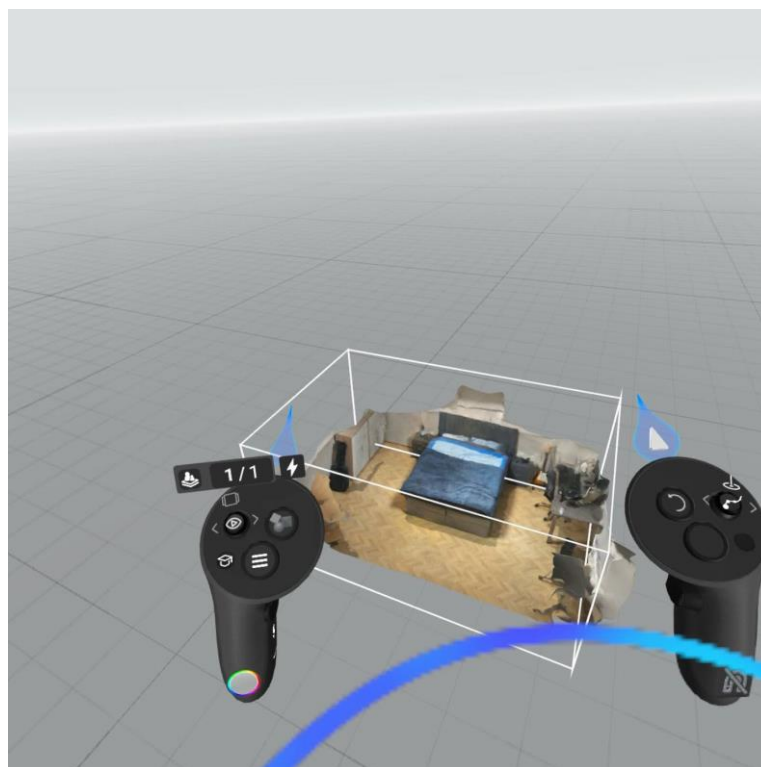
Iako je ponuđena ogromna količina mogućnosti, logično su kategorizirane i grupirane te predstavljene ikonama koje su poznate ili intuitivne čime se ispunjavaju dobri principi skeumorfizma i Hickovog zakona. Navigacija je izvedena na tri načina koji se mogu u bilo kojem trenutku koristiti.

Prva tehnika je klasično kretanje kroz prostor uz pomoć gljivica na kontrolerima. Druga tehnika je lokomocija gdje korisnik kontrolerom može usmjeriti na točku u koju se želi teleportirati. Treći način je da se korisnik aktivacijom odgovarajućih gumba na kontroleru može „privlačiti“ prema naprijed kroz prostor ili rotirati pri čemu se omogućava još jedna bitna funkcionalnost – skaliranje.

U poglavlju o upotrebi gesta i skaliranju prividnog okruženja je opisana metoda WIM, u alatu se pomicanjem kontrolera može upravljati odnosom skaliranja modela korisnika i prividnog okruženja čime se omogućava korisniku da jednim preciznim pokretom znatno uveća svoj model čime ustvari okruženje postaje minijaturno ili smanji svoj model čime dobiva daleko veću preciznost u kretanju i uređivanju objekta u prividnom okruženju.



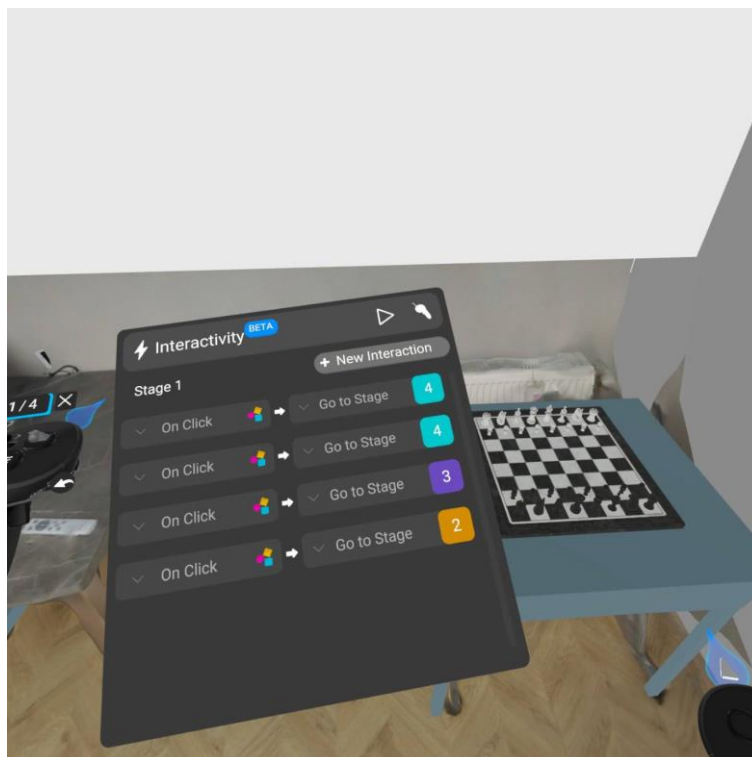
Slika 45: Korištenje lokomocije za kretanje prividnim okruženjem (Izvor: autorski)



Slika 46: Namještanje modela sobe u granice prostorije (Izvor: autorski)



Slika 47: Smanjena skala korisnika unutar prividnog prostora (Izvor: autorski)



Slika 48: Dio postavki interakcija i model šahovske ploče (Izvor: autorski)

U ShapesXR alatu je moguće snimiti kratak videozapis koristeći svoj avatar, a primarna svrha takvih videozapisa je upoznavanje korisnika s mogućnostima i mehanikama aplikacije. Na slici 49 je prikazan primjer Holonote videozapisa gdje moj avatar objašnjava mogućnosti izbornika.



Slika 49: Primjer Holonote bilješke (izvor: autorski)

Za vrijeme pisanja rada je izdana nova verzija (2.0, dostupna od lipnja 2024.) u kojoj su moguće interakcije značajno nadograđene pa su osim klika neki od mogućih okidača sada: lebdjenje prstom, na dodir, pritisak gumba.

Nadograđene su i mogućnosti podešavanja uvjeta kad će se okidač aktivirati poput početka scene ili vremenskog odmaka. Osim interakcija, nadograđena je još i knjižnica modela te izgled izbornika pri odabiru.

### 7.3. Prototipiranje aplikacije u ShapesXR alatu

Namještanjem proporcija i pozicije modela u odnosu na stvarnost unutar alata ShapesXR, mogao sam se vrlo pouzdano istovremeno kretati stvarnom i virtualnom sobom i rukom dirati rub monitora ili kreveta u obje stvarnosti sa skoro nepostojećim odstupanjem pozicije virtualnog modela od stvarnosti (po procjeni manjim od jednog centimetra).

Tako detaljno postavljen model mi je omogućio kretanje kroz cijelu sobu bez opasnosti da udarim u nešto ili palim vanjsku kameru da bih vidio gdje sam u prostoriji. To je bilo nužno da bi:

- mogao detaljnije vidjeti objekte poput monitora, stola, gitare, zidova u modelu i odlučim koje od njih je potrebno doraditi ili potpuno zamijeniti zbog visoke rezolucije VR uređaja gdje su takvi nedostaci očiti i narušavaju iskustvo aplikacije.
- isprobavati različite ideje o interakcijama i prototipirati inicijalne verzije
- definirati glavne aktivnosti aplikacije i prema njima skicirati potrebne izbornike

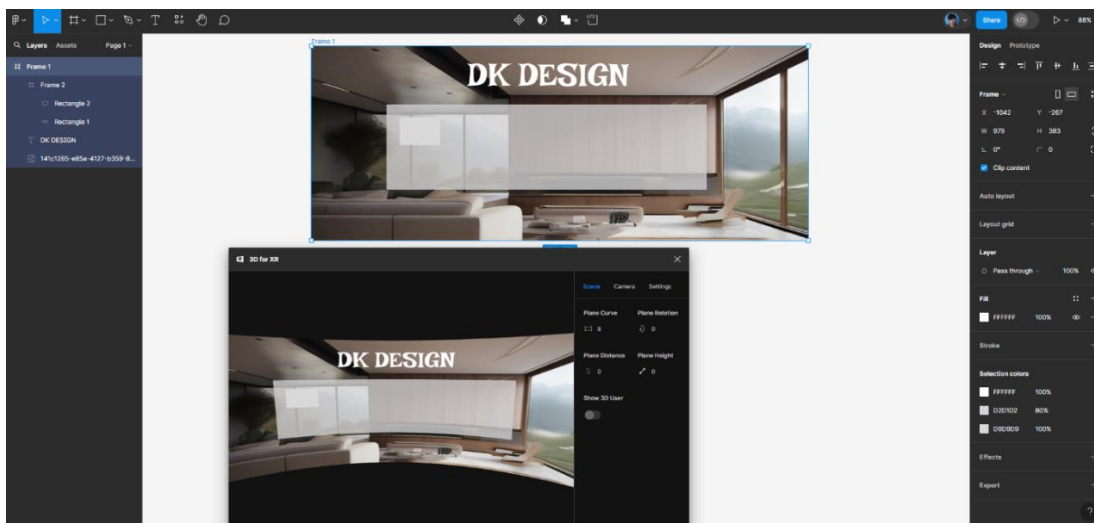


Slika 50: Interakcija s monitorom (Izvor: autorski)

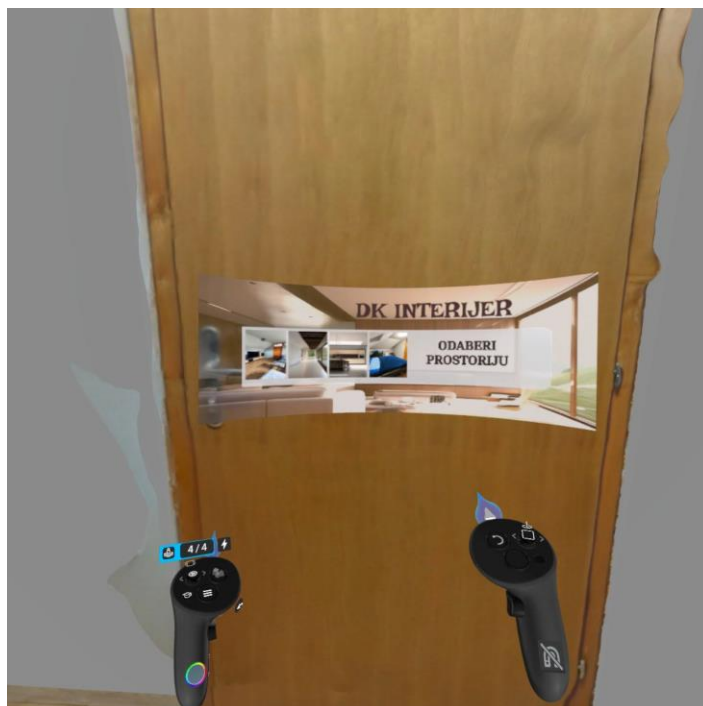


Slika 51: Pogled prema vratima (Izvor: autorski)

Inicijalna verzija ponuđenog izbornika je kreirana u alatu Figma, za pretpregled izbornika u VR okruženju je korišten dodatak „3D for XR“ autora Jeffrey Castellano, dok je pozadinska fotografija generirana u alatu DeepAI uputom „Interior Design Company for VR“. Na slici 52 je vidljiv korak iz dizajna izbornika sa opisanim dodatkom za pretpregled u 3D prostoru.



Slika 52: Izrada prve verzije izbornika (Izvor: autorski)



Slika 53: Implementiran izbornik u ShapesXR prototipu (Izvor: autorski)

U prostoru su aktivne sljedeće interakcije (prikazane na slikama ispod):

- Izlaz iz prostora klikom na vrata (prikazano na slici 51)
- paljenje i gašenje monitora računala klikom na monitor (slika 56)
- paljenje i gašenje svjetla u prostoriji
- pospremanje kutija u kutu sobe (slike 54 i 55)



Slika 54: Ugašen monitor

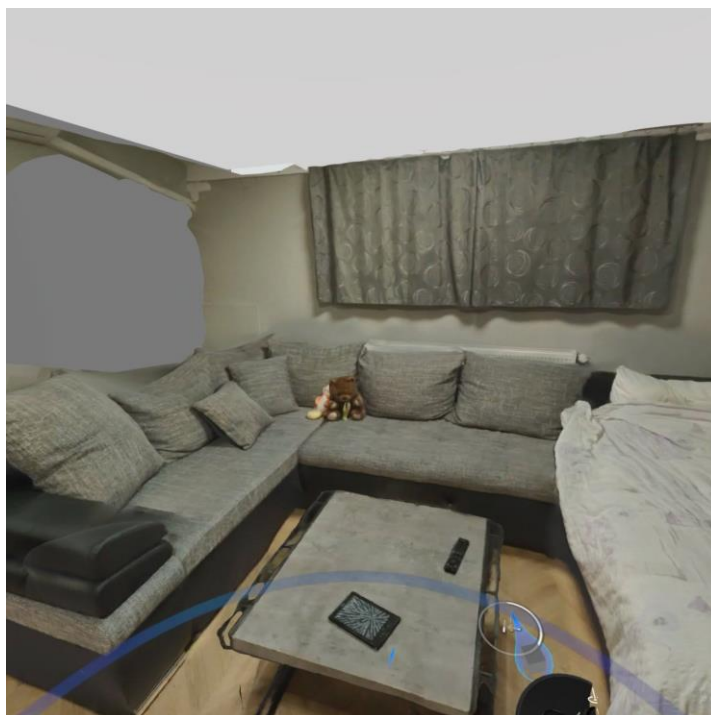




Slika 55: Interakcija s kutijama (Izvor: autorski)



Slika 56: Izgled nakon završene interakcije (Izvor: autorski)



Slika 57: Primjer lokacije korisnika za izbor dnevnog boravka (Izvor: autorski)

## 7.4. Izrada aplikacije u Unity alatu

U ShapesXR alatu su u prototip aplikacije dodani modeli poput drugog stola, monitora, izbornika i mogućnosti interakcije sa vratima, kutijama, promjenom boje zidova.

Funkcionalnost prototipa na nižoj razini je bila važna da testiram korisničko iskustvo i tehničku izvedivost (prijenos korištenih modela i implementacija interakcija u Unity alatu).

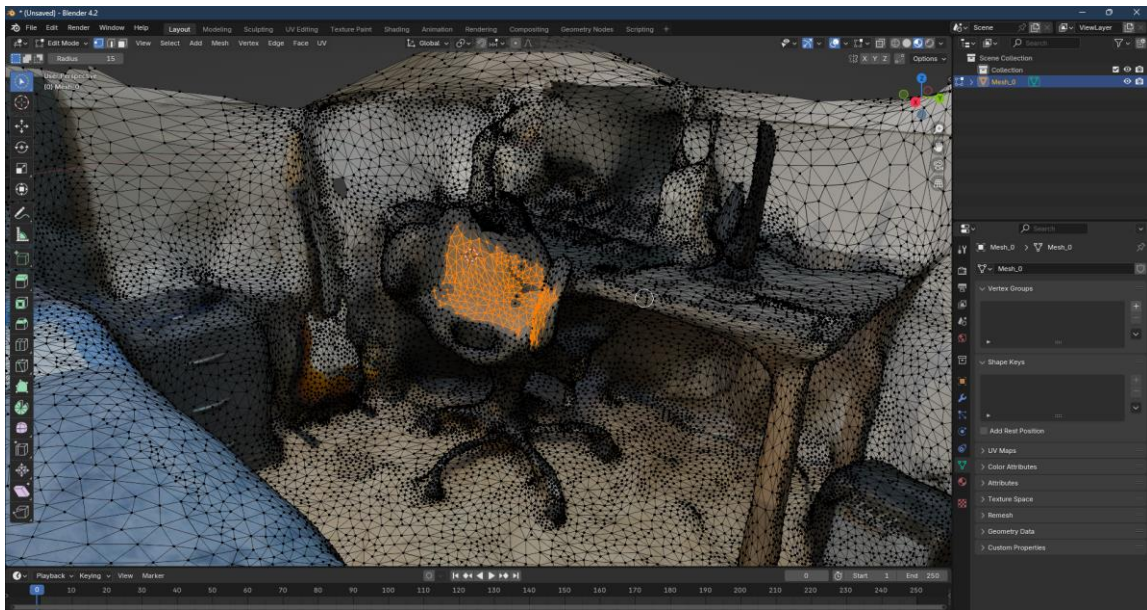
U slikama ispod je prikazan proces izrade aplikacije počevši s doradom modela u Blenderu (Slika 58), definiranje zidova i stvaranje scene u Unity alatu (Slika 59), a slika 60 prikazuje trenutak uvoza prvog modela (monitora) u scenu.

Kod konfiguriranja projekta u Unity alatu je bilo potrebno instalirati XR dodatak za razvijanje VR aplikacija da bi se omogućilo praćenje korisnika u svrhu kretanja (običnim hodanjem i teleportacijom). Također je bilo potrebno konfigurirati mjesta na kojem se korisnik pojavi pri ulasku u aplikaciju i promjeni prostora, fiziku objekata i mapiranje tipki kontrolera.

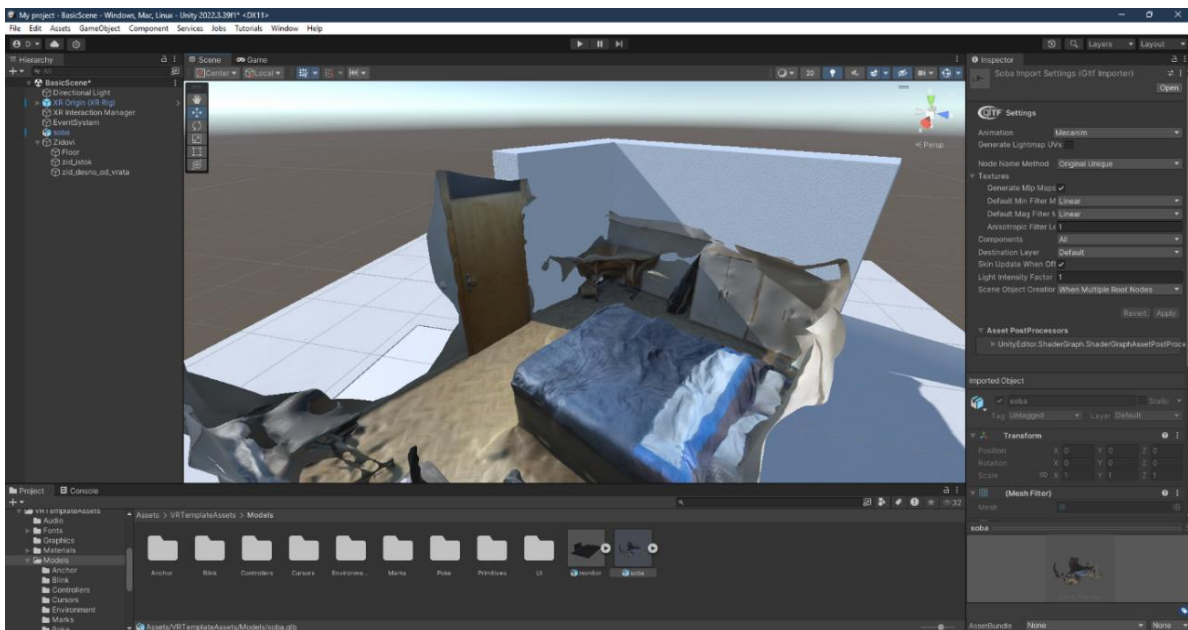
## 7.5. Dorada modela u Blender alatu

Svakom modelu je potrebno dodati „*mesh*“ komponentu koja generira fizička svojstva objekta i pritom osigurati da je počišćen od suvišnih poligona. Na primjer, stolici ispred računala je nedostajalo poligona pri vrhu zbog čega je izgledala uvijeno i prozirno na dijelovima.

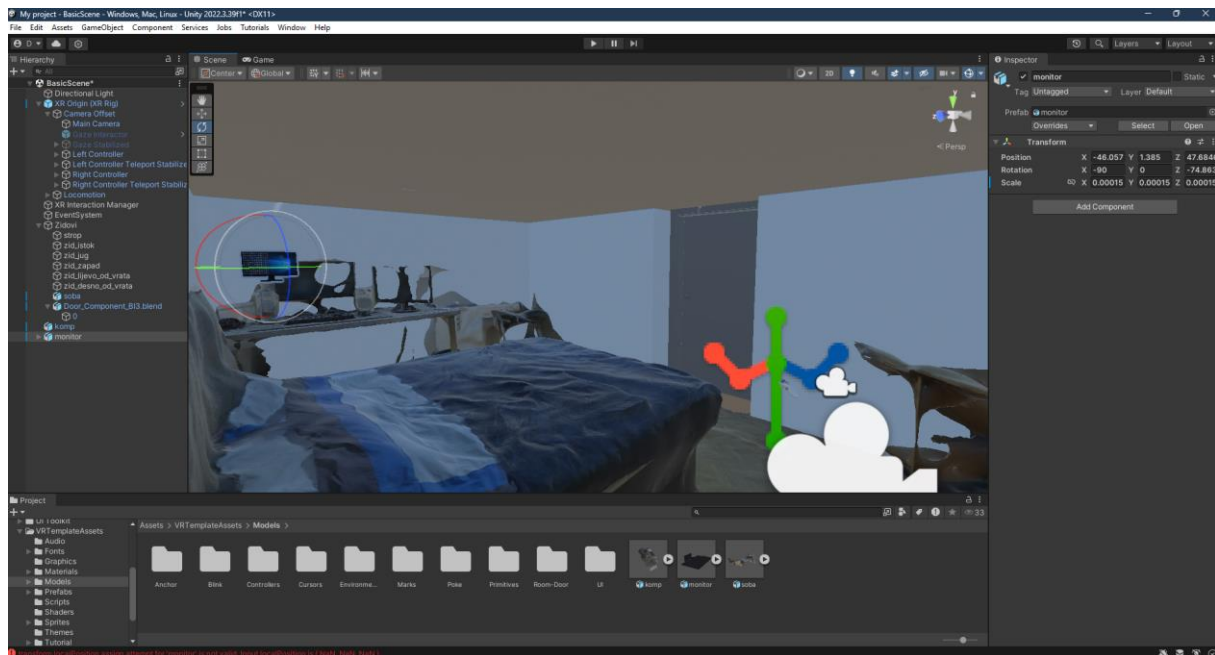
Kako bi se oslobodio prostor za kretanje između kreveta i stola te zamišljenu interakciju s monitorom, stolac je obrisan iz modela (Slika 58) dok je stol ponovno skeniran samostalno za kvalitetniji model koji je onda integriran u model sobe.



Slika 58: Uređivanje objekata u modelu loše kvalitete, alat Blender (autorski)



Slika 59: Konstrukcija prostora, alat Unity (autorski)



Slika 60: Uvoz prvog modela – monitor (autorski)

## 7.6. Ideja i dizajn sučelja

Razvojem kamera na mobilnim uređajima i aplikacijama za obradu modela iz fotografija poput opisane PolyCam, stvaranje modela prostorije je postalo brzo i jednostavno, a s pristupom VR uređaju te modele je moguće istraživati i dijeliti. Aplikacija je zamišljena sa mogućnošću uvoza modela prostora kreiranog PolyCam aplikacijom ili nekom drugom, istraživanjem tog prostora, dijeljenjem s drugim korisnicima, i istraživanje prostora skupa s njima.

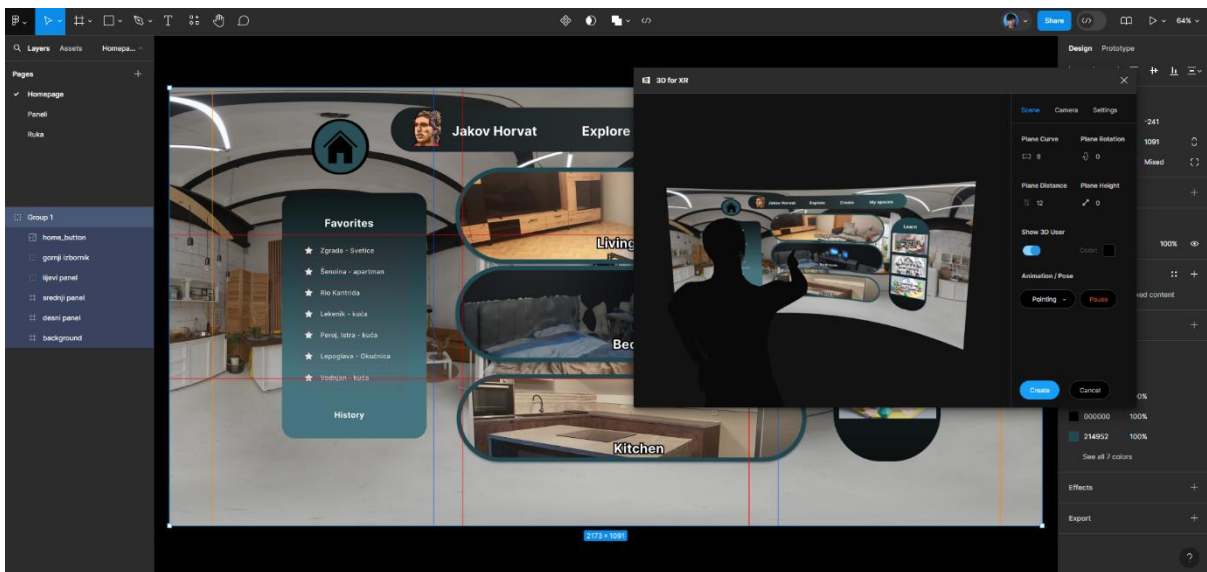
Prema toj ideji, glavni element sučelja aplikacije je izbornik gdje korisnik može odabrati aktivnosti vezane uz istraživanje, prilagodbu i dijeljenje prostora.

Neki primjeri upotrebe aplikacije su: posjet stanu ili kući koji se želi iznajmiti, dobivanje dojma o prostoru ako se promijene boje zidova, izgled novog namještaja, druženje s udaljenom obitelji u prividnom modelu dnevnog boravka.

Sučelje aplikacije je dizajnirano prema redoslijedu kojim su potrebna, ulaskom u aplikaciju korisnik je postavljen na početnu platformu gdje odmah ima pristup panelu s postavkama te klikom na tipku kontrolera otvara glavni izbornik iz kojeg može dalje nastaviti korištenje aplikacije ovisno o odabiru. Tu je još i nekoliko panela koji su pomoćni sa svrhom obogaćivanja iskustva (na primjer: prijedlog prostora za istraživanje, dodavanja favorita).

Videozapis sa demonstracijom implementiranog sučelja i svim interakcijama u prototipu aplikacije je dostupan na sljedećoj poveznici: <https://youtu.be/qEpE6nyTCjw>.

## 7.6.1. Dizajn glavnog izbornika



Slika 61: Izrada glavnog izbornika u alatu Figma (autorski)

Za razliku od prve verzije izbornika gdje je bio manji panel u na fiksnoj lokaciji u prostoriji, ovdje je zamišljen kao veliki panel postavljen direktno ispred korisnika, moguće ga je otvoriti u svakom trenutku klikom na gumb kontrolera nakon čega se pozicionira ravno ispred korisnika i prati kretanje glave čim je implementiran kao plutajuće sučelje.

Implementirano je još i zamrzavanje pozicije glavnog izbornika pritiskom na primarnu tipku kontrolera te zatvaranje pritiskom na sekundarnu tipku.

Grafički dizajn izbornika je moderniji i bogatiji mogućnostima od inicijalnog sa slike 52. Na vrhu izbornika je traka s glavnim funkcionalnostima aplikacije, te su u ovoj verziji napravljena značajna poboljšanja iz aspekta dobrog dizajna po pitanju:

- odabira boja
- dostupnosti izbornika
- optimiziran broj ponuđenih funkcionalnosti
- kategorizacija elemenata prema ulozi
- upotreba ikona i slika
- visina prilagođena korisniku.

U gornjoj traci su slika profila i ime korisnika, te linkovi za:

- povratak na početnu platformu
- profil korisnika klikom na ime
- pregled popularnih javno dostupnih prostora za istraživanje klikom na „*Explore*“
- kreiranje novog prostora klikom na „*Create*“
- pregled vlastitih prostora.

Klikom na link korisniku se otvara sljedeći predviđeni izbornik i daljnja selekcija, te se lijevo od trake nalazi ikona kućice koja korisnika vraća na početnu platformu. Ispod trake su tri panela.

Dizajnom je sučelje dosta drukčije od inicijalnog iz ShapesXR alata ali puno sličnije modernim sučeljima za aplikacije prividne stvarnosti po principima minimalizma, upotrebe velikih „pločica“ sa bogatim vizualnim sadržajem, simbola, vrlo malo teksta i jednostavnu navigaciju s minimalnom potrebom za korisničkim upisom (npr. korisniku se nudi filtriranje dostupnih prostora kao brža alternativa od upisivanja područja i tipa prostora).

Pozadinska slika („Brown Photostudio 02“) je fotografija minimalistički uređenog prostora u svijetloj boji zbog čega se dobro uklapa izbornik u tamnoj boji. Za boju sam odabrao gradijent tamnoplave-svijetloplave čime su paneli vizualno skladni i izbjegla se potpuna uniformnost, a dobilo na atraktivnosti.

Iako sam prvotno planirao simetričnost sa izgledom (oblikom) panela, odlučio sam svaki panel malo drugačije oblikovati da izbjegnem monotonost (zaobljenost, usmjerenje pozadinske boje), a dimenzije prilagoditi sadržaju koji prikazuje. Primjer je razlika u zaobljenosti rubova, lijevi panel je tako više pravokutan dok je desni u obliku kapsule.

Lijevi panel prikazuje sekciju omiljenih prostora i možemo uočiti da je korisnik označio nekretnine koje su mu zanimljive, dok je na dnu panela link na povijest svih pregledanih prostora. Ovaj panel prikazuje najviše linkova (teksta) pa treba biti dovoljno širok za slučaj da neki od omiljenih prostora ima dugačak naziv. Prikazan je samo tekst jer bi prikaz male slike prostora nepotrebno usporio učitavanje izbornika, a ne bi dao kvalitetnu predodžbu o prostoru iz slike tako male veličine.

Srednji panel je dobio najviše mjesta jer sadrži glavni sadržaj aplikacije koji čine prostori koji pripadaju korisniku, ovdje predstavljeni slikom i kratkim imenom koje im dodjeljuje korisnik. Čak i bez tekstova u srednjem i desnom panelu, korisnik bi se trebao moći snaći u izborniku intuitivno uz pomoć slika.

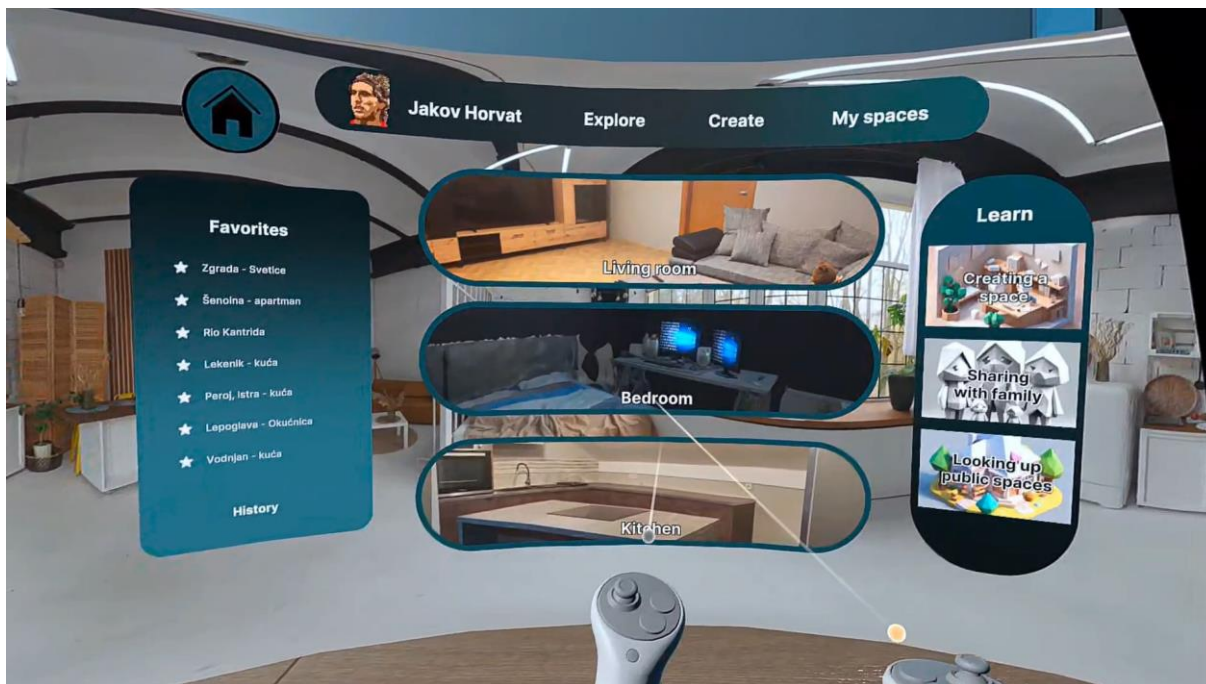
Tako središnji panel trenutno nudi mogućnost razgledavanja i tri prostora: dnevnim boravkom, spavaćom sobom i kuhinjom (kako se radi o prototipu aplikacije – dostupan je samo prostor spavaće sobe).

Desni panel sadržava manji broj elemenata s prikladnom ilustracijom aktivnosti koju element predstavlja, a sa ciljem da zainteresira korisnika na ponuđenu aktivnost. Uloga panela su upute za mogućnosti aplikacije: kreiranje prostora, dijeljenje i pretraživanje javno dostupnih. Fotografije za ova tri linka su generirane alatom DeepAI i postavkom stila „Origami“ dok su fotografije središnjih panela i ikona korisnika autorske.

Između panela je ostavljeno onoliko prostora koliko je potrebno da ne dolazi do preklapanja elemenata kada se izbornik presavije i da ih se jasno odvoji po ulogama. Bitno je i da lijevi i desni panel nisu previše daleko od središta izbornika gdje se nalazi glavni fokus korisnika, u suprotnom dolazi do naprezanja jer je potrebno okretati glavu da bi ih se kvalitetno vidjelo.

Na slici 61 je prikazana izrada izbornika u web alatu Figma te je otvoren prozor dodatka „3D for XR“ koji služi za pretpregled izbornika u prividnom okruženju i konfiguraciju zaobljenosti. Time nije potrebno iterativno testirati izgled izbornika u prividnom okruženju već konačnu verziju samo uvesti kao model.

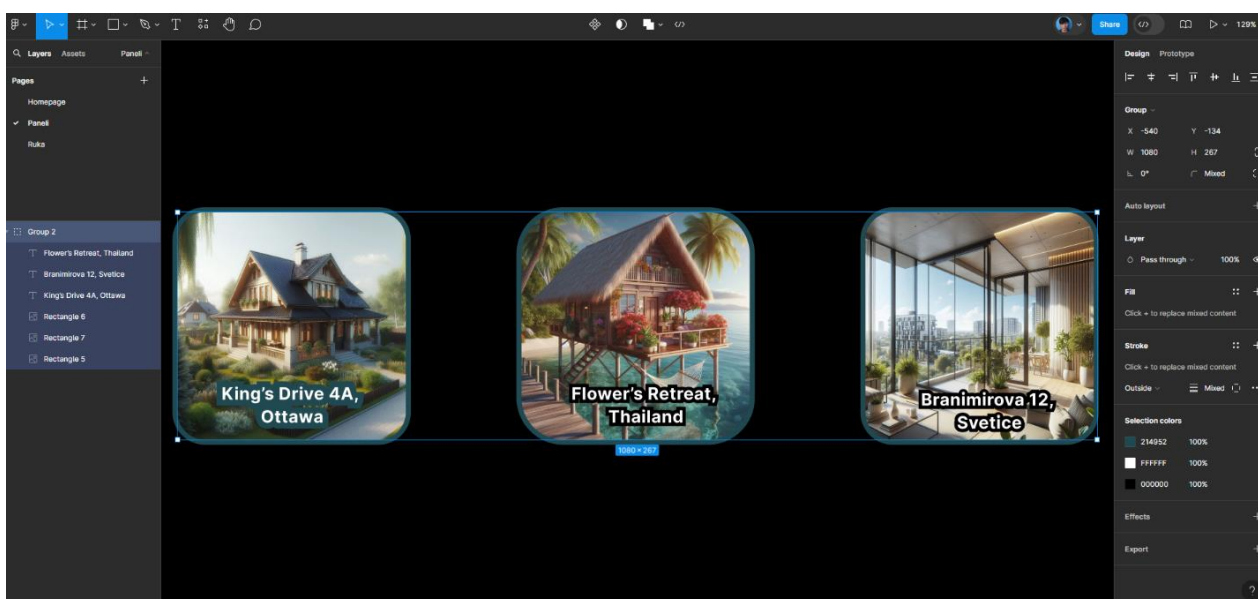
Nažalost, dodatak generira sliku koja je premale kvalitete za korištenje i pritom je potrebno svaki element na zaslonu rekreirati kao objekt u 3D prostoru pa je korišten dodatak Unity Figma Bridge. Ovaj dodatak za svaki element izbornika generira prikladan objekt u Unity alatu i dodjeljuje mu prikladne komponente (svojstva), na ovaj način je dobiven potpuno generiran model izbornika s kojim je lakše dalje programirati.



Slika 62: Glavni izbornik (autorski)

## 7.6.2. Dizajn sekundarnih izbornika i panela

Osim glavnog izbornika generirani su i paneli (slika 64) koji služe kao svojevrsni portali za brz odabir prostora koje korisnik može sam definirati za svaki panel ili javno dostupne prostore koji su popularni. Kao i kod glavnog izbornika, oblik, boje i stil teksta prate grafičku temu izbornika u aplikaciji.



Slika 63: Izrada portal panela u Figma (autorski)





Slika 64: Postavljeni portal paneli u aplikaciji (autorski)

Panel za korištenje tijekom pregledavanja prostora je zamišljen kao mali izbornik iznad lijevog kontrolera iz razloga što potreba za otvaranjem glavnog izbornika za vrijeme aktivnosti treba biti minimalna. Često otvaranje glavnog izbornika tako može ukazivati na lošu efikasnost i nedostatke u implementaciji sučelja. Dodatni razlozi za takvu odluku su:

- aktivnosti koje se nude na panelu su jednostavne i vremenski kratke
- otvaranje glavnog izbornika i dolazak do željene akcije zahtjeva više koraka
- glavni izbornik više nema prostora za još elemenata (potrebno je „sakrivati“ opcije iza drugih linkova)

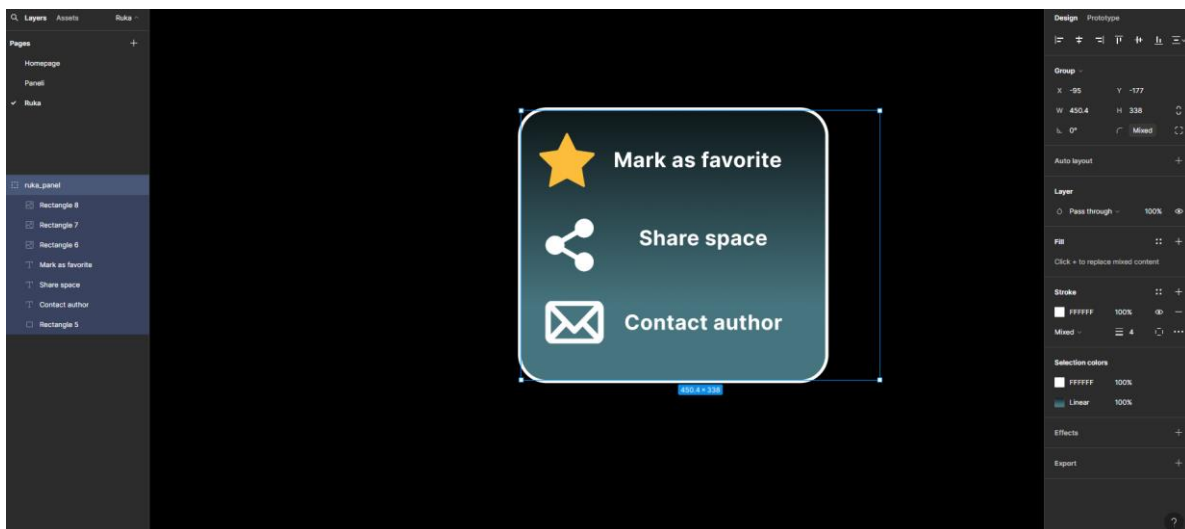
Panel za brze aktivnosti se pomiče skupa s lijevom rukom (lijevim kontrolerom) i sadrži akcije:

- označivanja prostora kao favorita
- dijeljenja prostora
- kontaktiranja autora

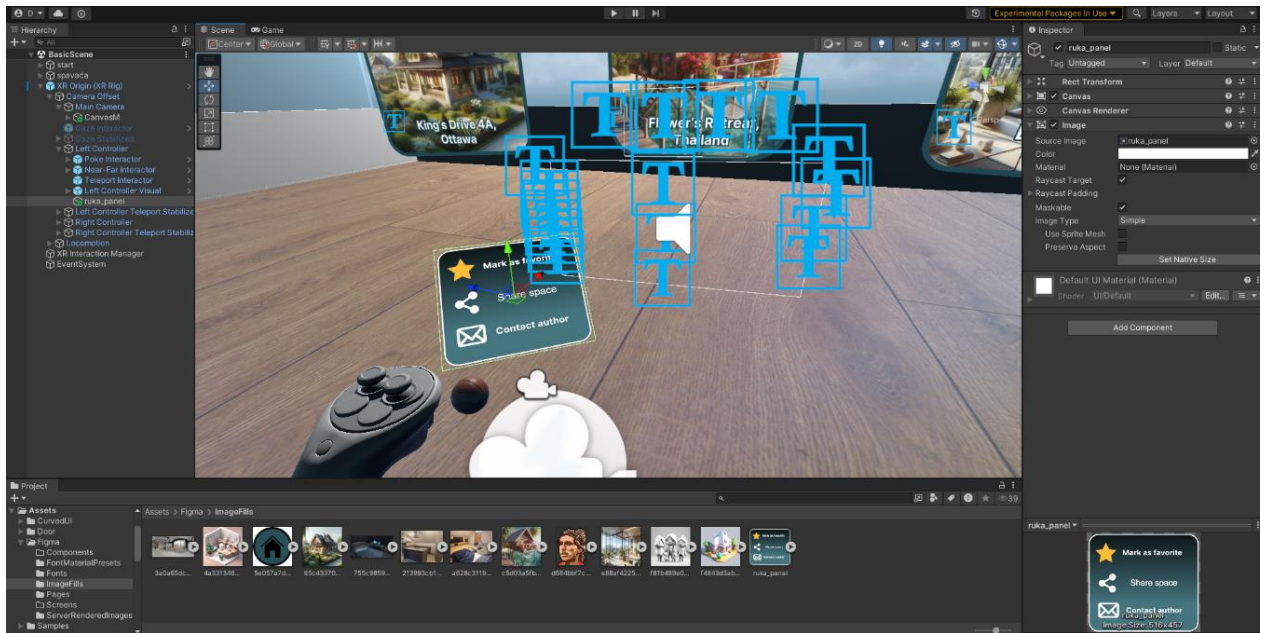
Na slikama 65, 66, 67 i 68 je prikazan moj proces planiranja i izrade izbornika na primjeru ovog panela: skiciranje, kreiranje u Figmi, implementacija u aplikaciji i programiranje interakcije, testiranje u aplikaciji. Otvaranje izbornika je pritiskom gljivice na kontroleru prema unutra, odabir aktivnosti se vrši laserskom zrakom i bočnom tipkom, dok je zatvaranje pritiskom na sekundarnu tipku kontrolera.



Slika 65: Skica panela za lijevi kontroler (autorski)



Slika 66: Kreiranje panela u Figma alatu (autorski)



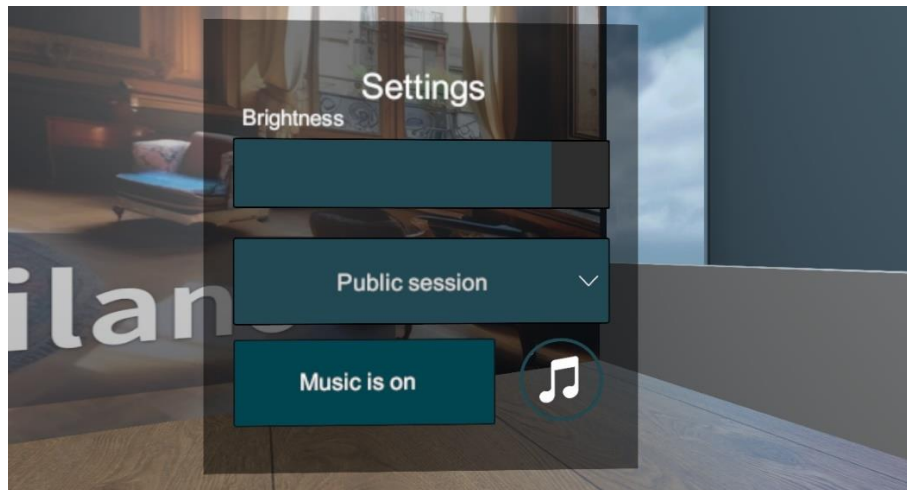
Slika 67: Namještanje položaja panela u aplikaciji (autorski)



Slika 68: Testiranje panela u aplikaciji (autorski)

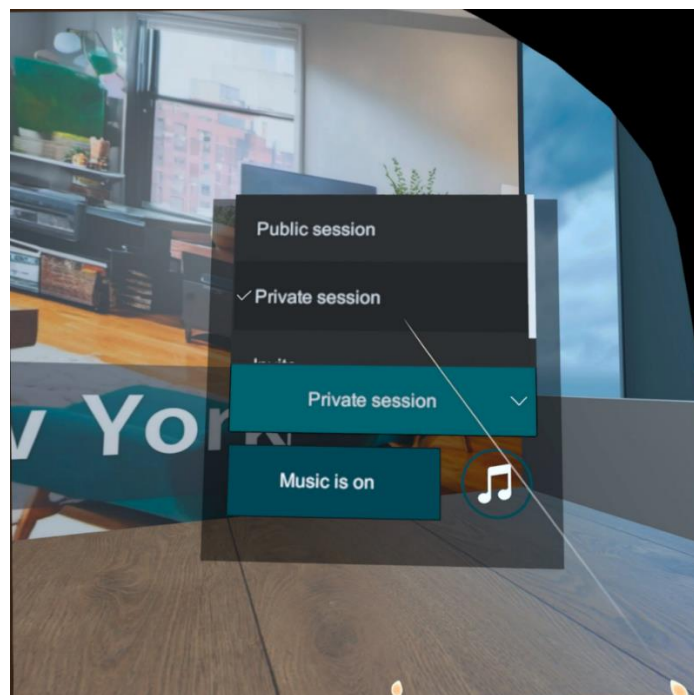
Za konfiguraciju postavki aplikacije je izrađen poseban panel (slike 69 i 70) koji nudi:

- promjenu svjetline implementiranu kao klizač, a osvijetljenje unutar aplikacije se dinamički mijenja s promjenom vrijednosti na klizaču
- postavljanje javne ili privatne sesiju i pozivanjem drugih korisnika u sesiju kao odabir vrijednosti u padajućem izborniku
- gašenje i paljenje pozadinske glazbe



Slika 69: Panel s postavkama (autorski)

Za promjenu vrijednosti klizača, odabir vrijednosti iz padajućeg izbornika i aktivaciju gumba koriste se bočna tipka ili okidač. Za vrijeme interakcije se boja gumba promijeni čime se naglašava trenutni odabir ili vrijednost.



Slika 70 - Odabir vrijednosti iz padajućeg izbornika (autorski)

### 7.6.3. Dizajn početne platforme i interakcija

Za kretanje je konfigurirana lijeva gljivica, dok desna gljivica služi za okretanje kamere i teleportiranje. Korisniku je omogućeno da se teleportira na bilo koji dio početne platforme ili prostora koji pregledava pod uvjetom da je odabrana površina podna.

Odabir elemenata na izbornicima je omogućen laserskom zrakom koja dolazi iz kontrolera te pritiskom na bočni gumb kontrolera ili okidača, a uspješni odabir signalizira i audio efekt. Kod interakcije s objektima koji imaju programiranu interakciju, u trenutku kad laserska zraka prijeđe preko takvog objekt, kontroler šalje vibraciju kao povratnu informaciju korisniku da objekt ima programiranu interakciju.

Ukoliko laserska zraka cilja objekt koji je moguće zgrabiti, pritiskom bočne tipke objekt se uhvati za zraku i ovisno o postavkama interakcije može biti privučen skroz do kontrolera ili ostati na istoj udaljenosti i pomicanje vršiti usmjerivanjem laserske zrake kontrolera.

Kad laserska zraka cilja ili prelazi preko bilo kojeg elementa sa ugrađenom interakcijom, kontroler šalje vibraciju kao povratnu informaciju da objekt ima programiranu interakciju.

Pri pokretanju aplikacije korisnik je postavljen na početnu platformu gdje ima pristup osnovnim informacijama o aplikaciji, panelu za podešavanje postavki, odabiru aktivnosti kroz glavni izbornik ili odabir portal panela za brzo istraživanje ponuđenog prostora. Također služi i kao socijalno središte jer bi se ovdje učitali drugi korisnici.

Na slici 71 je prikazan informativni panel gdje može pročitati o svrsi aplikacije i korištenim alatima, dok se za pomicanje kroz tekst koristi okidač ili gljivica.



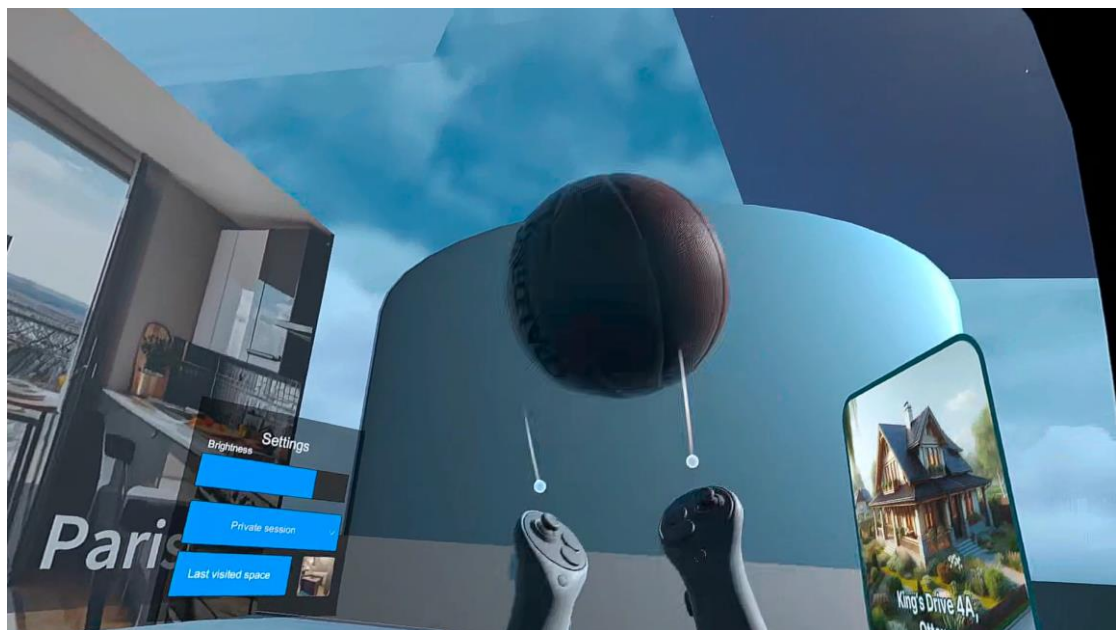
Slika 71: Informativni panel (autorski)

Pažnju korisnika privlači i videozid koji prikazuje najpopularnije prostore koje su pregledavali drugi korisnici. Korisnik bi klikom na njega mogao učitati prostor koji se trenutno prikazivao.



Slika 72: Početna platforma (autorski)

Na početnoj platformi je još i košarkaška lopta koju korisnik može zgrabiti, držati s oba kontrolera za bilo koju točku, nositi ili baciti, zamišljena je kao aktivnost za korisnika dok se vrši učitavanje prostora ili čekanje na druge korisnike. U budućnosti je moguće dodati i koš ili neku drugu jednostavnu igru.

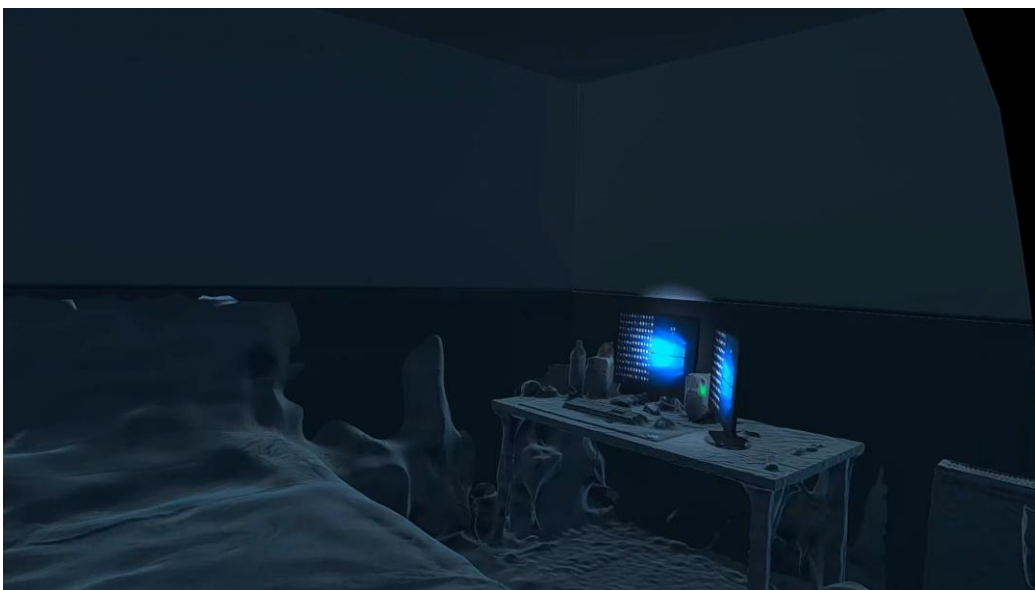


Slika 73: Bacanje lopte (autorski)

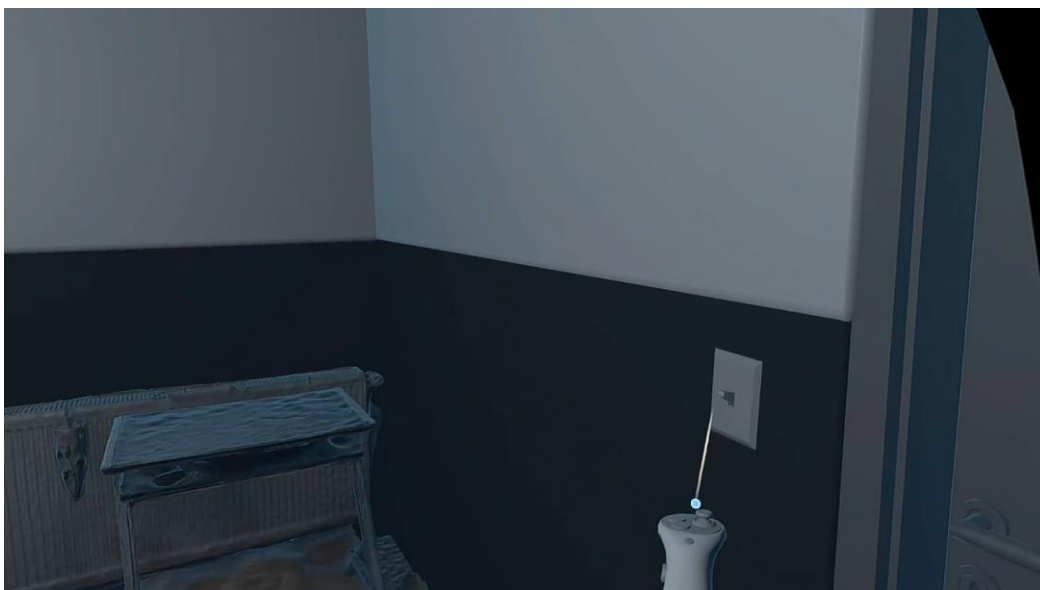
#### 7.6.4. Elementi sučelja u modelu sobe

Odabirom spavaće sobe kao prostora za pregledavanje u glavnom izborniku, korisnik je prebačen u model prostora kojim se može kretati da bi ga istražio te ima na raspolaganju interakcije sa objektima u prostoru. U primjeru spavaće sobe, kad se korisnik učita u prostor – on je u mraku jer nije upaljena stropna lampa što od korisnika traži da upali svjetlo odabirom prekidača na zidu.

Pri aktivaciji prekidača svira audio efekt klika, pali se svjetlo i prekidač se pomiče u poziciju prema gore, odnosno prema dolje ako se svjetlo gasi.



Slika 74: Spavaća soba u mraku (autorski)



Slika 75: Interakcija s prekidačem (autorski)

U lijevom dijelu prostora sam se umjesto interakcije sa kutijama odlučio za gitaru. Usmjerivanjem laserske zrake na gitaru i pritiskom bočne tipke, gitara se privuče korisniku nakon čega ju je moguće dinamički držati za bilo koji dio tijela, pomicati, a na aktivaciju svira nekoliko akorda.

S obzirom da modeli u prostoriji imaju definirana granice svojih tijela i vrijede pravila fizike, gitara se može odložiti na stol ili krevet, a ako se prestane držati pasti će na pod.



Slika 76: Gitara se pomiče prema korisniku (autorski)

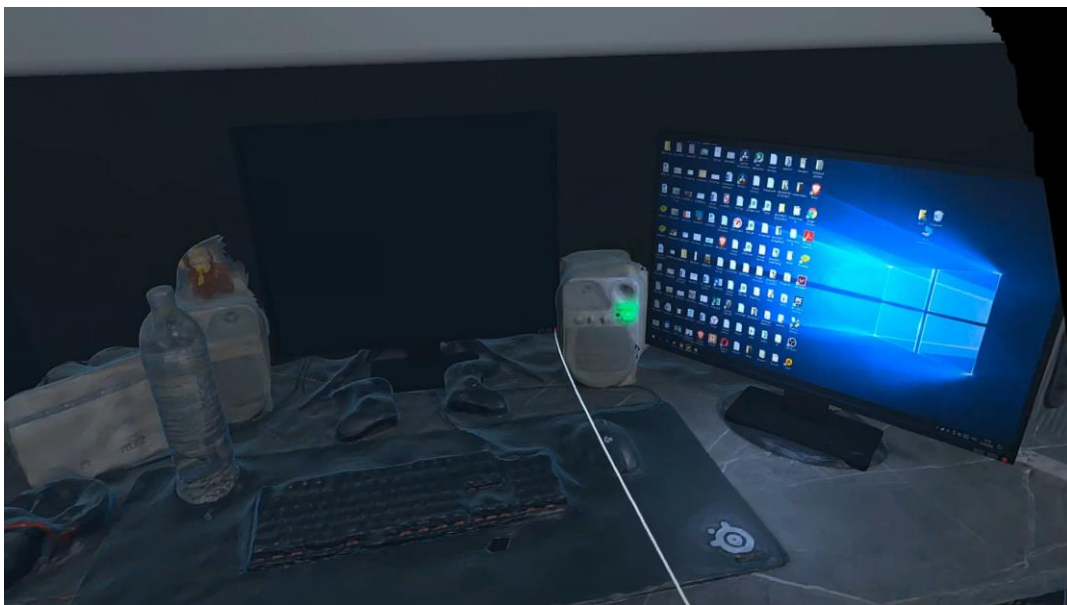
U desnom dijelu prostorije je računalo s dva monitora koji se mogu uključiti i isključiti usmjerivanjem laserske zrake na monitor. Automatski se prepoznaje interakcija programirana na crvenom gumbu i pritiskom bočne tipke – zraka se zaključava na gumb i omogućava isključivanje/uključivanje monitora.





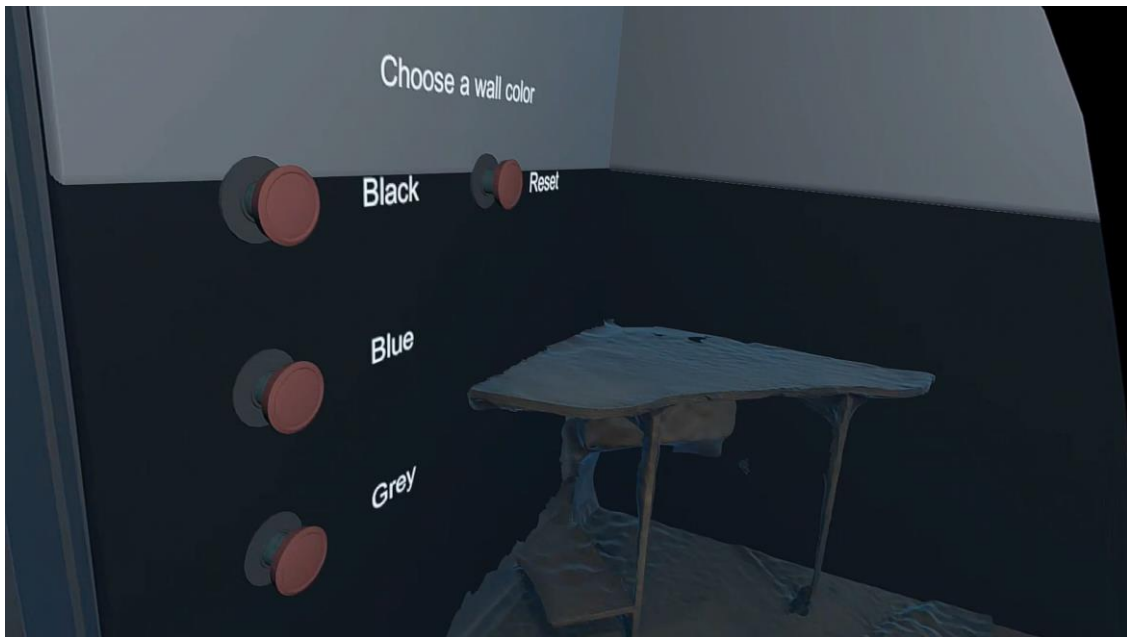
Slika 77: Interakcija s tipkovnicom (autorski)

Također je vođena pažnja da monitori isijavaju vlastito svjetlo ako je svjetlo u prostoriji isključeno, a monitori uključeni. Korisnik može pokrenuti i pauzirati reprodukciju videozapisa na monitoru kroz interakciju sa tipkovnicom. Isprogramiran je i slučaj interakcije sa tipkovnicom u trenutku kad je monitor isključen, pri čemu pali monitor i reprodukciju videozapisa.



Slika 78: Laserska zraka se zaključava na element s kojim vrši interakciju (autorski)

Posljednja interakcija koja se nudi korisniku je prilagodba prostorije promjenom boje zidova tako što se odabere jedan od ponuđenih gumbova na zidu prostorije. Ponuđene su varijante u crnoj, plavoj i sivoj boji te resetiranje boja zidova.



Slika 79: Odabir boje zidova (autorski)



Slika 80: Izgled prostorije s plavom bojom zidova (autorski)

Za izlazak iz prostora u kojem se korisnik nalazi može odabrati i kliknuti na vrata prostorije laserskom zrakom ili otvoriti glavni izbornik i kliknuti na ikonu kućice u gornjem lijevom kutu, obje opcije korisnika vraćaju natrag na početnu platformu.

## 8. Zaključak

Predmet rada je bila identifikacija i opis karakteristika aplikacija prividne stvarnosti i svojstava korisničkih sučelja u njima, korištene metode za izradu su bile istraživanje stručne literature, upotreba softverske dokumentacije i uređaja za prividnu stvarnost Meta Quest 3 te alata ShapesXR, Unity, Blender i Figma za razvoj prototipa aplikacije za prividnu stvarnost.

Kroz rad su obrađena pitanja nastanka i potrebe za prividnom tehnologijom te svrhom njezine upotrebe, posvećena je pažnja zdravstvenom aspektu i potvrđeno da postoje razne negativne posljedice upotrebe ali su i identificirani principi dizajna kojima se umanjuje utjecaj na zdravlje korisnika. U glavnim poglavljima rada je dan opsežan pregled različitih sučelja u aplikacijama iz čega su identificirane zajedničke karakteristike i obrađeni prepoznati koncepti dizajna. Napravljene su podjele prema svrhama korištenja sučelja, identificirana pojedina svojstva sučelja i opisani koncepti vizualnog dizajna, funkcionalne implementacije i načina interakcije sa korisnicima. Za opisane elemente su dani primjeri dobre prakse kod njihove implementacije te smjernice dizajna.

Obrađena je problematika kretanja i navigacije u prividnim okruženjima, tehnička pitanja konstrukcije naočala, pregled popularnih alata za izradu aplikacija prividne stvarnosti. U praktičnom dijelu radu je predstavljena ideja o aplikaciji koja korisnicima omogućava istraživanje prostora koji su virtualne reprezentacije stvarnih prostorija, prikazan je postupak izrade modela prostora i njegova dorada u alatu Blender, prilagodba i testiranje u alatu ShapesXR, dizajniranje izbornika u alatu Figma te konačna implementacija u aplikaciju s alatom Unity. Implementirana su sustavna sučelja u obliku plutajućih sučelja sa funkcijom izbornika i fizička u obliku interakcije sa predmetima u prostoru (gitara, prekidači, paneli).

Kod razvoja VR aplikacija posebna pozornost posvećena korisničkom iskustvu koje je specifično za svaku aplikaciju i može ali ne treba sadržavati tipične elemente sučelja kakva se nalaze u drugim VR, mobilnim ili web aplikacijama. Nalaženje literature, primjera i prakse koji su korisni konkretnoj situaciji, ovisi u velikoj mjeri o pojedinačnoj aktivnosti i aplikaciji.

To je posljedica novije tehnologije i manjeg tržišta te puno eksperimentiranja i velikim razlikama od aplikacije do aplikacije – teško je odrediti najbolje prakse pa su i smjernice manje precizne, a što ostavlja više prostora autoru/programeru pri odabiru vrsta sučelja i njihove implementacije.

Glavni motiv aplikacije (temeljna aktivnost) može značajno povećati kompleksnost dizajna sučelja iz potrebe prilagodbe elemenata specifičnostima pojedinačne aplikacije ili kreiranju novih rješenja u njihovoj implementaciji. Na primjer, promjena prostora u kojem se korisnik nalazi poput prelaska iz svijetle prostorije u mračnu može biti dovoljan razlog za redizajn ili promjenu vrste implementacije niza elemenata sučelja (posebno izbornika) zbog niske razine vidljivosti, jasnoće ili preciznosti koju promjena okruženja donosi.

Pri razvoju aplikacije nužno je stalno vršiti testiranje što uzima više vremena u odnosu na razvoj web ili mobilnih sučelja jer je potrebno više vremena za postavljanje testnih uvjeta, automatizaciju te iziskuje dodatan fizički napor sa postavljanjem/skidanjem naočala jer je puni doživljaj iskustva najpraktičniji način za identifikaciju nedostataka i potencijalnih unapređenja.

Iskustvo rada u alatima u kojima se mogu kreirati VR aplikacije nije od presudne važnosti jer ih većina sadrži vodiče i primjere za nove korisnike te službenu podršku za najpopularnije modele VR uređaja čime se ubrzava postupak učenja i olakšava razvoj aplikacije. Značajni nedostatak je nalaženje rješenja za nepredviđene razvojne poteškoće ili korištenje naprednih značajki zbog male količine dostupne literature i specifičnosti aplikacije koja ograničava upotrebu postojećih rješenja i primjera.

Način razvoja kojim se izbjegavaju mnogi od ovih problema je korištenjem VR aplikacija za dizajniranje pri čemu su najkvalitetnije od njih mogućnostima sve bliže najmoćnijim takvim alatima dostupnima na računalu, a zbog intuitivnosti i brzine rada su prikladnije za nove korisnike.

Iz perspektive razvoja VR tehnologije i aplikacija u budućnosti može se pretpostaviti kontinuirani rast tržišta i broja korisnika što će zahtijevati veća ulaganja i preuzimanja rizika kako bi se aplikacije istaknule inovativnošću i kvalitetom. Iz tehničkog aspekta, svaka sljedeća generacija VR uređaja donosi napredak i smanjuje ulaznu cjenovnu barijeru (padom cijene starijih modela uređaja) što pridonosi povećanju broja korisnika i potrebe za prebacivanjem postojećih web ili mobilnih aplikacija i servisa u način korištenja u prividnoj stvarnosti.

## 9. Prilog

1. Poveznica na video prezentaciju VR aplikacije: <https://youtu.be/gEpE6nyTCjw>
2. Prototip aplikacije u ShapesXR alatu: <https://shapes.app/space/view/2eda981c-6d87-499e-aafb-d47e8afe5d0b/x6zrwx7s>

## 10. Popis literature

- Adhanom, I. B., MacNeilage, P., & Folmer, E. (2023). Eye Tracking in Virtual Reality: a Broad Review of Applications and Challenges. *Virtual Reality*, 27(2), 1481–1505. <https://doi.org/10.1007/s10055-022-00738-z>
- Apple. (bez dat.). *Human Interface Guidelines | Apple Developer Documentation*. <https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines>
- Bailenson, J. (2018). Experience on Demand: What Virtual Reality Is, How It Works, and What It Can Do. U *National Defense*.
- Berger, L., & Wolf, K. (2018). WIM: Fast Locomotion in Virtual Reality with Spatial Orientation Gain & without Motion Sickness. *Proceedings of the 17th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, 19–24. <https://doi.org/10.1145/3282894.3282932>
- Bhonde, S. (bez dat.). *Easy VRS Integration with Eye Tracking | NVIDIA Technical Blog*. <https://developer.nvidia.com/blog/vrs-wrapper/>
- Biebl, B., Arcidiacono, E., Kacianka, S., Rieger, J. W., & Bengler, K. (2022). Opportunities and Limitations of a Gaze-Contingent Display to Simulate Visual Field Loss in Driving Simulator Studies. *Frontiers in Neuroergonomics*, 3. <https://doi.org/10.3389/fnrgo.2022.916169>
- Bowman, D. A., & McMahan, R. P. (2007). Virtual Reality: How Much Immersion Is Enough? *Computer*, 40(7), 36–43. <https://doi.org/10.1109/MC.2007.257>
- Bozgeyikli, E., Raij, A., Katkooori, S., & Dubey, R. (2016). Point & Teleport Locomotion Technique for Virtual Reality. *Proceedings of the 2016 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, 205–216. <https://doi.org/10.1145/2967934.2968105>
- Broll, W. (2022). Augmented reality. U *Virtual and Augmented Reality (VR/AR): Foundations and Methods of Extended Realities (XR)*. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-79062-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-79062-2_8)
- Carruth, D. W., Hudson, C., Fox, A. A. A., & Deb, S. (2020). User Interface for an Immersive Virtual Reality Greenhouse for Training Precision Agriculture. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 12191 LNCS. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-49698-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-49698-2_3)
- Chapoulie, E., Tsandilas, T., Oehlberg, L., Mackay, W., & Drettakis, G. (2015). Finger-based manipulation in immersive spaces and the real world. *2015 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, 109–116. <https://doi.org/10.1109/3DUI.2015.7131734>
- Cherni, H., Métayer, N., & Souliman, N. (2020). Literature review of locomotion techniques in virtual reality. *International Journal of Virtual Reality*, 20, 1–20. <https://doi.org/10.20870/IJVR.2020.20.1.3183>
- Chu, T. (2023). *Design with skeuomorphism or not: An Investigation of Immersive Experience Based on the Escape Room Game within the VR Framework*. <https://doi.org/10.1184/R1/23113175.v1>
- De Marsico, M., Levialdi, S., Nappi, M., & Ricciardi, S. (2014). FIGI: floating interface for gesture-based interaction. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 5(4), 511–524. <https://doi.org/10.1007/s12652-012-0160-9>
- Doerner, R., Broll, W., Grimm, P., & Jung, B. (2022). Virtual and augmented reality (VR/AR): Foundations and methods of extended realities (XR). U *Virtual and Augmented Reality (VR/AR): Foundations and Methods of Extended Realities (XR)*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-79062-2>
- Doerner, R., Geiger, C., Oppermann, L., Paelke, V., & Beckhaus, S. (2022). Interaction in virtual worlds. U *Virtual and Augmented Reality (VR/AR): Foundations and Methods of Extended Realities (XR)*. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-79062-2\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-79062-2_6)
- Drey, T., Gugenheimer, J., Karlbauer, J., Milo, M., & Rukzio, E. (2020). *VRSketchIn: Exploring the Design Space of Pen and Tablet Interaction for 3D Sketching in Virtual Reality*. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376628>
- Farran, E., Purser, H., Courbois, Y., Ballé, M., Sockeel, P., Mellier, D., & Blades, M. (2015). Route knowledge and configural knowledge in typical and atypical development: A comparison of sparse and rich environments. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, 7. <https://doi.org/10.1186/s11689-015-9133-6>

- Gigante, M. A. (1993a). 1 - Virtual Reality: Definitions, History and Applications. U R. A. Earnshaw, M. A. Gigante, & H. Jones (Ur.), *Virtual Reality Systems* (str. 3–14). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-227748-1.50009-3>
- Gigante, M. A. (1993b). Virtual Reality: Definitions, History and Applications. *Virtual Reality Systems*, 3–14. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-227748-1.50009-3>
- Google. (bez dat.). *Accessible design*. <https://m3.material.io/foundations/accessible-design/accessibility-basics>
- Han, T., Xiao, H., Shen, T., Xie, Y., & Zhu, Z. (2020). Virtual, Augmented and Mixed Reality. Industrial and Everyday Life Applications. U *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (Sv. 12191).
- Harley, A. (2019). *Touch targets on touchscreens*. <https://www.nngroup.com/articles/touch-target-size/>
- Harmon, L. D. (1973). The recognition of faces. *Scientific American*, 229(5). <https://doi.org/10.1038/scientificamerican1173-70>
- Herman, L., Juřík, V., Snopková, D., Chmelík, J., Ugwitz, P., Stachoň, Z., Šašíka, Č., & Řezník, T. (2021). A Comparison of Monoscopic and Stereoscopic 3D Visualizations: Effect on Spatial Planning in Digital Twins. *Remote Sensing*, 13(15). <https://doi.org/10.3390/rs13152976>
- Jacob, R., & Stellmach, S. (2016). What you look at is what you get: gaze-based user interfaces. *Interactions*, 23(5), 62–65. <https://doi.org/10.1145/2978577>
- Jang, S., Stuerzlinger, W., Ambike, S., & Ramani, K. (2017). Modeling Cumulative Arm Fatigue in Mid-Air Interaction based on Perceived Exertion and Kinetics of Arm Motion. *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 3328–3339. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025523>
- Jerald, J. (2015). *The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality*. Association for Computing Machinery and Morgan & Claypool.
- Joo, H.-J., & Jeong, H.-Y. (2020). A study on eye-tracking-based Interface for VR/AR education platform. *Multimedia Tools and Applications*, 79(23), 16719–16730. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08327-0>
- Kim, J., Cha, J., & Kim, S. (2020). Hands-Free User Interface for VR Headsets Based on In Situ Facial Gesture Sensing. *Sensors*, 20(24). <https://doi.org/10.3390/s20247206>
- Kishore, S., Navarro, X., Dominguez, E., De La Peña, N., & Slater, M. (2018). Beaming into the News: A System for and Case Study of Tele-Immersive Journalism. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 38(2). <https://doi.org/10.1109/MCG.2017.2801407>
- Laessoe, U., Abrahamsen, S., Zepernick, S., Raunsbaek, A., & Stensen, C. (2023). Motion sickness and cybersickness – Sensory mismatch. *Physiology and Behavior*, 258. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2022.114015>
- Lehar, S. (2012). The Constructive Aspect of Visual Perception: A Gestalt Field Theory Principle of Visual Reification Suggests a Phase Conjugate. ... *Com/the-Constructive-Aspect-Ofvisual-Perception*. ....
- Li, J., Cho, I., & Wartell, Z. (2018). Evaluation of cursor offset on 3D selection in VR. *SUI 2018 - Proceedings of the Symposium on Spatial User Interaction*. <https://doi.org/10.1145/3267782.3267797>
- Lindeman, R. W., & Beckhaus, S. (2009). Crafting memorable VR experiences using experiential fidelity. *Proceedings of the 16th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, 187–190. <https://doi.org/10.1145/1643928.1643970>
- Linn, A. (2017). *Gaze Teleportation in Virtual Reality*. KTH, School of Computer Science and Communication (CSC).
- Media, O., & Daigle, L. (2022). *AR/VR will drive growth in military simulation & training market, report finds - Military Embedded Systems*. <https://militaryembedded.com/ai/machine-learning/arvr-will-drive-growth-in-military-simulation-training-market-report-finds>
- Mn. (2021). *VR / AR Fundamentals – Class 13 – May 5 – Week 6 (of 7) Production mode*. [https://wp.nyu.edu/shanghai-vr\\_ar\\_fundamentals/2021/05/06/vr-ar-fundamentals-class-13-may-5-week-6-of-7-production-mode/](https://wp.nyu.edu/shanghai-vr_ar_fundamentals/2021/05/06/vr-ar-fundamentals-class-13-may-5-week-6-of-7-production-mode/)

- Moghadam, K., Banigan, C., & Ragan, E. (2018). Scene Transitions and Teleportation in Virtual Reality and the Implications for Spatial Awareness and Sickness. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, *PP*, 1. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2884468>
- Nabiyouni, M., Saktheeswaran, A., Bowman, D., & Karanth, A. (2015). Comparing the Performance of Natural, Semi-Natural, and Non-Natural Locomotion Techniques in Virtual Reality. U *2015 IEEE Symposium on 3D User Interfaces, 3DUI 2015 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/3DUI.2015.7131717>
- Novačić, I. (2022). *Izrada aplikacije u Virtualnoj Stvarnosti*. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:195:107899>
- Omni by Virtuix | The leading and most popular VR treadmill. (bez dat.). <https://www.virtuix.com/>
- Page, T. (2014). Skeuomorphism or flat design: Future directions in mobile device User Interface (UI) design education. *International Journal of Mobile Learning and Organisation*, *8*(2). <https://doi.org/10.1504/IJMLO.2014.062350>
- Pavlov, D. (2023). *Virtual Reality Training for Healthcare: The New Tool in Medical Education*. <https://smarttek.solutions/blog/vr-training-for-healthcare-why-your-hospital-needs-it/>
- Pianzola, F., Balint, K., & Weller, J. (2020). Virtual reality as a tool for promoting reading via enhanced narrative absorption and empathy. *Scientific Study of Literature*, *9*, 163–194. <https://doi.org/10.1075/ssol.19013.pia>
- Poupyrev, I. (2000). 3D Manipulation Techniques. *3D User Interface Design, Lecture Slides. SIGGRAPH*.
- Proctor, R. W., & Schneider, D. W. (2018). Hick's law for choice reaction time: A review. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *71*(6), 1281–1299. <https://doi.org/10.1080/17470218.2017.1322622>
- Rheingold, H. (1991). *Virtual reality*. Simon & Schuster, Inc.
- Riccio, G. E., & Stoffregen, T. A. (1991). An Ecological Theory of Motion Sickness and Postural Instability. *Ecological Psychology*, *3*(3). [https://doi.org/10.1207/s15326969eco0303\\_2](https://doi.org/10.1207/s15326969eco0303_2)
- Russo, M., Cesqui, B., La Scaleia, B., Ceccarelli, F., Maselli, A., Moscatelli, A., Zago, M., Lacquaniti, F., & D'Avella, A. (2017). Intercepting virtual balls approaching under different gravity conditions: Evidence for spatial prediction. *Journal of Neurophysiology*, *118*(4). <https://doi.org/10.1152/jn.00025.2017>
- Seinfeld, S., & Müller, J. (2020). Impact of visuomotor feedback on the embodiment of virtual hands detached from the body. *Scientific Reports*, *10*(1), 22427. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79255-5>
- Sharma, G., Kaushal, Y., Chandra, S., Singh, V., Mittal, A. P., & Dutt, V. (2017). Influence of landmarks on wayfinding and brain connectivity in immersive virtual reality environment. *Frontiers in Psychology*, *8*(JUL). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01220>
- Sherman, W. R., & Craig, A. B. (2018). Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design, Second Edition. U *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design, Second Edition*. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-18583-2>
- Sidenmark, L., & Gellersen, H. (2019). Eye&Head: Synergetic Eye and Head Movement for Gaze Pointing and Selection. *Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 1161–1174. <https://doi.org/10.1145/3332165.3347921>
- Spiliotopoulos, K., Rigou, M., & Sirmakessis, S. (2018). A Comparative Study of Skeuomorphic and Flat Design from a UX Perspective. *Multimodal Technologies and Interaction*, *2*(2). <https://doi.org/10.3390/mti2020031>
- Starrett, M. J., Mcavan, A. S., Huffman, D. J., Stokes, J. D., Kyle, C. T., Smuda, D. N., Kolarik, B. S., Laczko, J., & Ekstrom, A. D. (bez dat.). *Landmarks: A solution for spatial navigation and memory experiments in virtual reality*. <https://doi.org/10.3758/s13428-020-01481-6>
- Sun, H. M. (2020). The assessment of motion sickness induced by sensory conflict and posture instability. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, *1217 AISC*. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-51828-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-51828-8_7)
- Talbot, T. B., Thiry, K. E., & Jenkins, M. (2020). Storyboarding the virtuality: Methods and best practices to depict scenes and interactive stories in virtual and mixed reality. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, *1217 AISC*. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-51828-8\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-030-51828-8_17)



- Ultravision. (2024). *Enhancing Design Visualization with VR Interior Design by Ultra-Vision*. <https://www.ultra-vision.net/enhancing-design-visualization-with-vr-interior-design-by-ultra-vision/>
- VR, I. (2020). *Monoscopic vs Stereoscopic VR | Everything you need to know*. <https://immersionvr.co.uk/blog/monoscopic-vs-stereoscopic-360-vr/>
- Wade, N. J., & Hughes, P. (1999). Fooling the eyes: Trompe l'oeil and reverse perspective. *U Perception* (Sv. 28, Izdanje 9). <https://doi.org/10.1068/p281115>
- WCAG. (2023). *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1*. <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>
- Weidig, C., Mestre, D. R., Israel, J. H., Noël, F., Perrot, V., & Aurich, J. C. (2014). Classification of VR interaction techniques, based on user intention. *11th Conference and Exhibition of the European Association of Virtual Reality and Augmented Reality, EuroVR 2014*. <https://doi.org/10.2312/eurovr.20141339>
- Wigdor, D., & Wixon, D. (2011). Brave NUI world: Designing natural user interfaces for touch and gesture. *U Brave NUI World: Designing Natural User Interfaces for Touch and Gesture*. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-64091-5>
- Yablonski, J. (2020). *Laws Of UX*. O'Reilly Media, Inc.
- Yasui, Y., Tanaka, J., Kakudo, M., & Tanaka, M. (2019). Relationship between preference and gaze in modified food using eye tracker. *Journal of Prosthodontic Research*, 63(2), 210–215. <https://doi.org/10.1016/J.JPOR.2018.11.011>
- Yu, W., & Gao, J. (2020). Fine design of music application user experience based on first sense interactive node optimization: Example of splashscreen. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1217 AISC. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-51828-8\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-51828-8_6)
- Zhang, G., & Hansen, J. (2019). *A Virtual Reality Simulator for Training Gaze Control of Wheeled Tele-Robots*. <https://doi.org/10.1145/3359996.3364707>

## 11. Popis slika

Slika 1 - Hermannov efekt (Izvor: Kien, Maul... 2012) .....	3
Slika 2: „Lopta sa šiljcima“ (Izvor: S. Lehar, <i>Figure 1, 2012</i> ).....	3
Slika 3: The 'Forced Perspective' Gallery u Palazzo Spadi u Rimu (Izvor: K. Storm, “ <i>How to Visit Palazzo Spada’s Offbeat Optical Illusion in Rome</i> ”, Our Escape Clause) .....	4
Slika 4: Vrlo pikselizirana fotografija Abrahama Lincolna (Izvor: L. Harmon, 1973).....	5
Slika 5: Sensorama, prvi sustav prividne stvarnosti (Izvor: A. Basso, <i>Figure 2, 2017.</i> ) .....	5
Slika 6: Eksperiment percepcije tijela s odvojenim šakama (Izvor: Seinfeld, S., Müller, J. <i>Figure 2, 2020</i> ).....	7
Slika 7: <i>Eksperimentna situacija (Izvor: H. Sun, 2020)</i> .....	10
Slika 8: primjerna VR-a kod projektiranja/dizajniranja interijera (Izvor: web stranica, Ultravision, bez dat. <a href="https://www.ultra-vision.net/enhancing-design-visualization-with-vr-interior-design-by-ultra-vision/">https://www.ultra-vision.net/enhancing-design-visualization-with-vr-interior-design-by-ultra-vision/</a> ).....	12
Slika 9: upotreba VR tehnologije u obuci američke vojske (Izvor: web stranica, Military Embedded Systems, 17.4.2024. <a href="https://militaryembedded.com/ai/machine-learning/arvr-will-drive-growth-in-military-simulation-training-market-report-finds">https://militaryembedded.com/ai/machine-learning/arvr-will-drive-growth-in-military-simulation-training-market-report-finds</a> ) .....	13
Slika 10: primjena kod obuke u medicini (Izvor: web stranica, SmartTek Solutions, 17.4.2024. <a href="https://smarttek.solutions/blog/vr-training-for-healthcare-why-your-hospital-needs-it/">https://smarttek.solutions/blog/vr-training-for-healthcare-why-your-hospital-needs-it/</a> ) .....	14
Slika 11: Sučelje i virtualno okruženje aplikacije za čitanje (Izvor: <i>Figure 2, Pianzola i ostali, 2020</i> ).....	17
Slika 12: LMS sučelje aplikacije prividnog platenika (Izvor: prema Carruth i ostali, 2020) ...	21
Slika 13: Meta Quest privlači kupce obećanjem o fitness iskustvu (Izvor: web stranica Meta Questa, <a href="https://www.meta.com/quest/fitness/">https://www.meta.com/quest/fitness/</a> ) .....	24
Slika 14: Geste za korištenje sučelja (Izvor: Fig. 3, De Marsico i ostali, 2014) .....	26
Slika 15: Korisnik gestom bira "kuglicu" (Izvor: <i>Figure 2, (Li i ostali, 2018)</i> ) .....	26

Slika 16: Interakcija kombinacijom prsta kao pokazivača i skaliranja virtualnog okruženja (Izvor: Fig. 6.2, Doerner, Broll, i ostali, 2022).....	28
Slika 17: WIM primjer modela jedrilice (Izvor: Figure 8, Drey i ostali, 2020).....	29
Slika 18: Jednostavan primjer reprezentacije dubine skaliranjem veličine objekta (Izvor: autorski) .....	30
Slika 19 – Integracija Nvidia SDK alata i GCD sustava sa uređajima virtualne stvarnosti (Izvor: Bhonde, 2019.).....	31
Slika 20: Pomicanje kroz prostor koristeći praćenje očiju (Izvor: (Zhang & Hansen, 2019) ...	32
Slika 21: Geste očima i glavom kao suplement interakciji očima (Izvor: Kim i ostali, 2020)...	33
Slika 22: Upotreba skeuomorfizma kod dizajna ikona (Izvor: Sirmakessis, Rigou, Spiliotopoulos, Figure 5. Skeuomorphism and Flat design) .....	35
Slika 23: Različite implementacije ECS sučelja (Izvor: Fig. 3, Carruth i ostali, 2020) .....	36
Slika 24: Graf odnosa vremena donošenja odluke i broja mogućnosti (Izvor: autorski).....	39
Slika 25: Virtuix Omni (Izvor: stranica proizvođača, Omni by Virtuix   The leading and most popular VR treadmill).....	40
Slika 26: Korištenje „point-and-click“ za teleportiranje (Izvor: Bozgeyikli i ostali, 2016).....	41
Slika 27: Istraživanje o orijentaciji u labirintu sa i bez orijentira (Izvor: Figure 1, Sharma i ostali, 2017).....	44
Slika 28: Iz istraživanja znanja o ruti (Izvor: Farran i ostali, 2015).....	44
Slika 29: Stereoskopski prikaz za dobivanje dubine (Izvor: web stranica, Immersion VR, bez dat. <a href="https://immersionvr.co.uk/blog/monoscopic-vs-stereoscopic-360-vr/">https://immersionvr.co.uk/blog/monoscopic-vs-stereoscopic-360-vr/</a> ) .....	45
Slika 30: Moguće paralakse (Izvor: web stranica, VR / AR Fundamentals, 2021, <a href="https://wp.nyu.edu/shanghai-vr_ar_fundamentals/2021/05/06/vr-ar-fundamentals-class-13-may-5-week-6-of-7-production-mode/">https://wp.nyu.edu/shanghai-vr_ar_fundamentals/2021/05/06/vr-ar-fundamentals-class-13-may-5-week-6-of-7-production-mode/</a> ) .....	46
Slika 31: Izrada logotipa u alatu ShapesXR (Izvor: web stranica, PICO, bez dat. <a href="https://www.picoxr.com/global/games/shapes-xr">https://www.picoxr.com/global/games/shapes-xr</a> ) .....	48
Slika 32: Izrada prototipa u alatu Trovi (Izvor: stranica Trovi na platformi Steam, 2016. <a href="https://store.steampowered.com/app/517170/Tvori/">https://store.steampowered.com/app/517170/Tvori/</a> ) .....	49
Slika 33: Modeliranje u prividnoj stvarnosti uz Shapelab (Izvor: stranica Shapelab na platformi Steam, 2023. <a href="https://store.steampowered.com/app/571890/Shapelab/">https://store.steampowered.com/app/571890/Shapelab/</a> ) .....	50
Slika 34: Meta Quest 3 sa kontrolerima (Izvor: autorski).....	51
Slika 35: Skeniranje prostora kamerama na Meta Quest uređaju (Izvor: autorski) .....	52
Slika 36: Definiranje zidova i objekata u skeniranom prostoru (Izvor: autorski) .....	53
Slika 37: Crtanje granica objekata (Izvor: autorski).....	53
Slika 38: 3D model sobe dobiven skeniranjem s Polycam alatom (Izvor: autorski) .....	54
Slika 39: Model sobe prije skaliranja (Izvor: autorski) .....	55
Slika 40: Sinkronizacija pozicije modela (Izvor: autorski) .....	56
Slika 41: Model polica u PolyHaven knjižnici (Izvor: web stranica PolyHaven, autor Ulan Cabanilla, 26.4.2024. <a href="https://polyhaven.com/a/steel_frame_shelves_03">https://polyhaven.com/a/steel_frame_shelves_03</a> ) .....	57
Slika 42: Primjer dodavanja monitora i stola u model (Izvor: autorski) .....	58
Slika 43: Izgled sučelja jednog od izbornika (Izvor: autorski) .....	59
Slika 44: Bočne kontrole (Izvor: autorski).....	60
Slika 45: Korištenje lokomocije za kretanje prividnim okruženjem (Izvor: autorski) .....	61
Slika 46: Namještanje modela sobe u granice prostorije (Izvor: autorski) .....	61
Slika 47: Smanjena skala korisnika unutar prividnog prostora (Izvor: autorski) .....	62
Slika 48: Dio postavki interakcija i model šahovske ploče (Izvor: autorski) .....	62
Slika 49: Primjer Holonote bilješke (izvor: autorski) .....	63
Slika 50: Interakcija s monitorom (Izvor: autorski).....	64
Slika 51: Pogled prema vratima (Izvor: autorski).....	65
Slika 52: Izrada prve verzije izbornika (Izvor: autorski) .....	65
Slika 53: Implementiran izbornik u ShapesXR prototipu (Izvor: autorski) .....	66
Slika 54: Ugašen monitor .....	66
Slika 55: Interakcija s kutijama (Izvor: autorski) .....	67
Slika 56: Izgled nakon završene interakcije (Izvor: autorski).....	67
Slika 57: Primjer lokacije korisnika za izbor dnevnog boravka (Izvor: autorski).....	68

Slika 58: Uređivanje objekata u modelu loše kvalitete, alat Blender (autorski) .....	69
Slika 59: Konstrukcija prostora, alat Unity (autorski) .....	69
Slika 60: Uvoz prvog modela – monitor (autorski).....	70
Slika 61: Izrada glavnog izbornika u alatu Figma (autorski) .....	71
Slika 62: Glavni izbornik (autorski).....	74
Slika 63: Izrada portal panela u Figmi (autorski) .....	74
Slika 64: Postavljeni portal paneli u aplikaciji (autorski) .....	75
Slika 65: Skica panela za lijevi kontroler (autorski) .....	76
Slika 66: Kreiranje panela u Figma alatu (autorski).....	76
Slika 67: Namještanje položaja panela u aplikaciji (autorski) .....	77
Slika 68: Testiranje panela u aplikaciji (autorski) .....	77
Slika 69: Panel s postavkama (autorski) .....	78
Slika 70 - Odabir vrijednosti iz padajućeg izbornika (autorski) .....	78
Slika 71: Informativni panel (autorski).....	79
Slika 72: Početna platforma (autorski) .....	80
Slika 73: Bacanje lopte (autorski) .....	80
Slika 74: Spavaća soba u mraku (autorski).....	81
Slika 75: Interakcija s prekidačem (autorski).....	81
Slika 76: Gitara se pomiče prema korisniku (autorski) .....	82
Slika 77: Interakcija s tipkovnicom (autorski) .....	83
Slika 78: Laserska zraka se zaključava na element s kojim vrši interakciju (autorski).....	83
Slika 79: Odabir boje zidova (autorski) .....	84
Slika 80: Izgled prostorije s plavom bojom zidova (autorski) .....	84

## 12. Popis tablica

Tablica 1: Preporučene minimalne veličine elemenata za dodir .....	38
--	----