

Primjena virtualne stvarnosti u arhitekturi i graditeljstvu

Veble, Genoveva

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:288555>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-16**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE SJEVER
SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**



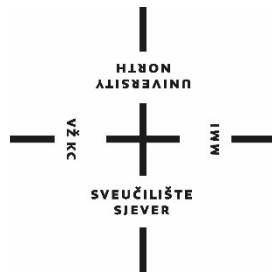
DIPLOMSKI RAD br. 112–MMD-2023

**PRIMJENA VIRTUALNE STVARNOSTI
U ARHITEKTURI I GRADITELJSTVU**

Genoveva Veble

Varaždin, rujan 2023.

SVEUČILIŠTE SJEVER
SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN
Studij: Multimedija



DIPLOMSKI RAD br. 112-MMD-2023

**PRIMJENA VIRTUALNE STVARNOSTI
U ARHITEKTURI I GRADITELJSTVU**

Student:
Genoveva Veble, 2402007562

Mentor:
doc. dr. sc. Andrija Bernik

Varaždin, rujan 2023.

Predgovor

Već više od jednog desetljeća posvećena sam izradi arhitektonskih vizualizacija, težeći prenijeti svoje ideje u digitalni svijet sa što većom vjernošću. Tijekom ovog vremena, stekla sam raznolika profesionalna iskustva koja su obogatala moj radni put. Međutim, postoji trenutak koji je za mene bio nezaboravan i revolucionaran. Bilo je to kada sam prvi put svoj 3D model obiteljske kuće prenijela u virtualni svijet, stavila Oculus Rift zaslon na glavu i „zakoračila“ u prostor kojeg sam osmislila. Osjećaj koji sam tada doživjela bio je neopisiv - "Wow". Virtualna stvarnost mi je omogućila da se osjetim kao stvarni stanovnik prostora kojeg sam osmislila, istražujući svaki kutak i doživljavajući njegovu atmosferu.

Istina je da iskustvo nije bilo potpuno savršeno, jer sam se u početku našla na neočekivanim mjestima, često i na krovu kuće, suočena s ograničenjima tehnologije koju sam koristila. Međutim, ti izazovi nisu umanjili moje oduševljenje i uvjerenje u potencijal koji virtualna stvarnost pruža za arhitektonsko izražavanje i prezentaciju. To je bio trenutak kada sam shvatila da ova tehnologija može značajno unaprijediti način na koji doživljavamo i razumijemo prostor. Postala sam svjesna kako ova tehnologija otvara vrata ka potpuno novom načinu prezentacije arhitektonskih ideja klijentima, investitorima i javnosti, omogućujući im da se približe projektima prije nego što su fizički izgrađeni.

Ovaj diplomski rad posvećujem istraživanju primjene virtualne stvarnosti u arhitekturi i graditeljstvu, s nadom da će doprinijeti širem razumijevanju i prihvaćanju ove tehnologije.

Također, želim iskoristiti ovu priliku da se zahvalim svojem mentoru, doc. dr. sc. Andriji Berniku, na zanimljivim predavanjima i smjernicama koje mi je pružio tijekom izrade ovog diplomskog rada. Izražavam zahvalnost i članovima povjerenstva što su mi pružili mogućnost da svoju osobnu zainteresiranost i znatiželju pretvorim u ovaj rad.

Sažetak

Cilj ovog diplomskog rada je dublje istražiti suvremene trendove primjene virtualne stvarnosti u arhitekturi i graditeljstvu temeljem analize relevantne znanstvene literature. Kroz sažetak niza znanstvenih radova, cilj je istaknuti kako pozitivne tako i negativne aspekte korištenja virtualne stvarnosti u ovim industrijskim sektorima.

U teorijskom dijelu rada, ključni pojmovi povezani s virtualnom stvarnošću bit će definirani, također bit će pružen opis evolucije te trenutnog stanja tehnologije virtualne stvarnosti. Fokus će biti stavljen i na opis primjene virtualne tehnologije unutar arhitekture i graditeljstva te kako ona transformira način na koji se projekti planiraju, razvijaju i izvode.

Samo istraživanje sastoji se od analize niza znanstvenih radova koji detaljno proučavaju i analiziraju praktičnu primjenu virtualne stvarnosti u domenama arhitekture i graditeljstva. Kroz ovu analizu, bit će osvijetljeni pozitivni aspekti kao što su unaprijeđeni dizajn, bolje razumijevanje prostornih odnosa te veća uključenost klijenata i dionika. Istovremeno, rad će naglasiti i negativne strane kao što su potencijal za zdravstvene tegobe kod korisnika, nedostatak hardverske i softverske podrške, nedostatak stručnog osoblja te druge izazove koji se mogu javiti.

Pregledom znanstvenih istraživanja jasno se očitavaju raznolike implikacije primjene virtualne stvarnosti u arhitekturi i graditeljstvu, koje su sustavno analizirane putem SWOT analize. Ova analiza identificira ključne snage, slabosti, prilike i prijetnje povezane s korištenjem VR tehnologije u ovim sektorima. U tablicama 6.1. i 6.2. prikazana je tabelarna reprezentacija SWOT analize. Time se omogućava dublje razumijevanje kako virtualna stvarnost može pozitivno i negativno utjecati na arhitekturu i graditeljstvo, te kako se ti aspekti mogu upravljati i optimizirati kako bi se postigao najbolji mogući rezultat.

U konačnici, ovaj diplomski rad pruža cjelovit pregled primjene virtualne stvarnosti u arhitekturi i graditeljstvu, istražujući prednosti i izazove tehnologije i pružajući dublje razumijevanje njezinog utjecaja na ove predmetne industrije.

Ključne riječi: Virtualna stvarnost, arhitektura, graditeljstvo, imerzija, VR sustav, arhitektonska vizualizacija

Abstract

The aim of this master's thesis is to delve deeper into the contemporary trends of applying virtual reality in architecture and construction through the analysis of relevant scientific literature. Through summarizing a series of scientific papers, the goal is to highlight both the positive and negative aspects of utilizing virtual reality in these industrial sectors.

In the theoretical part of the thesis, key concepts related to virtual reality will be defined, providing a description of the evolution and current state of virtual reality technology. The focus will also be directed towards describing the application of virtual technology within architecture and construction and how it transforms the way projects are planned, developed, and executed.

The research itself consists of analyzing a series of scientific papers that thoroughly investigate and analyze the practical application of virtual reality in the domains of architecture and construction. Through this analysis, positive aspects such as enhanced design, improved spatial understanding, and increased involvement of clients and stakeholders will be illuminated. At the same time, the study will emphasize the negative aspects such as the potential for user health issues, lack of hardware and software support, shortage of skilled personnel, and other challenges that may arise.

By reviewing scientific research, diverse implications of virtual reality application in architecture and construction become evident, systematically analyzed through SWOT analysis. This analysis identifies key strengths, weaknesses, opportunities, and threats associated with the utilization of VR technology in these sectors. Tables 6.1 and 6.2 present a tabular representation of the SWOT analysis. This enables a deeper understanding of how virtual reality can positively and negatively impact architecture and construction, and how these aspects can be managed and optimized to achieve the best possible outcomes.

Ultimately, this master's thesis provides a comprehensive overview of the application of virtual reality in architecture and construction, exploring the benefits and challenges of the technology and offering a deeper understanding of its influence on these subject industries.

Keywords: Virtual reality, architecture, construction, immersion, VR system, architectural visualization

Prijava diplomskog rada

Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

| | | |
|-----------------------------|---|---|
| ODJEL | Odjel za multimediju | |
| STUDIJ | diplomski sveučilišni studij Multimedija | |
| PRISTUPNIK | Genoveva Veble | MATIČNI BROJ 2402007562 |
| DATUM | | KOLEGIJ Virtualna i proširena stvarnost |
| NASLOV RADA | Primjena virtualne stvarnosti u arhitekturi i graditeljstvu | |
| NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU | Application of virtual reality in architecture and construction | |
| MENTOR | Andrija Bernik | ZVANJE Docent |
| ČLANOVI POVJERENSTVA | 1. izv.prof.dr.sc. Dean Valdec - predsjednik | |
| | 2. izv.prof.dr.sc. Emil Dumić - član | |
| | 3. doc. dr. sc. Andrija Bernik - mentor | |
| | 4. doc. art. dr. sc. Robert Geček - zamjenski član | |
| | 5. | |

Zadatak diplomskog rada

| | |
|----------------|---|
| BROJ | 112-MMD-2023 |
| OPIS | <p>Cilj ovog diplomskog rada je istražiti najsuvremenije trendove korištenja virtualne stvarnosti u arhitekturi i graditeljstvu na temelju znanstvene literature, te kroz sažetak znanstvenih radova naglasiti pozitivne i negativne aspekte primjene istoga.</p> <p>Teorijski dio diplomskog rada usmjeren je na definiranje osnovnih pojmova vezanih uz virtualnu stvarnost, opis evolucije i trenutnog stanja VR tehnologije te opis primjene virtualne tehnologije u arhitekturi i graditeljstvu.</p> <p>Istraživanje se sastoji od nekoliko znanstvenih radova koji istražuju i analiziraju primjenu virtualne stvarnosti na području arhitekture i graditeljstva.</p> <p>U radu je potrebno:</p> <ul style="list-style-type: none">- objasniti osnovne pojmove vezane uz virtualnu stvarnost- opisati evoluciju i trenutno stanje VR tehnologije- istražiti uz pomoć znanstvenih radova primjenu virtualne tehnologije u arhitekturi i graditeljstvu- kroz sažetak znanstvenih radova naglasiti pozitivne i negativne aspekte primjene |
| ZADATAK URUČEN | 19.09.2023 |
| | POTPIS MENTORA |



Popis korištenih kratica

| | |
|------------|---|
| AR | Proširena stvarnost |
| VR | Virtualna stvarnost |
| BIM | Virtualna stvarnost |
| IVR | Imerzivna virtualna stvarnost |
| AEC | Arhitektura, inženjering i graditeljstvo |
| HMD | Head-Mounted Display |
| MEP | Strojarski, električni i vodoinstalaterski |
| CEM | Konstruktivski inženjering i Management |
| HCI | Multimodalna interakcija čovjeka i računala |

Sadržaj

| | | |
|---------|---|----|
| 1. | Uvod | 1 |
| 2. | Pojam i definicija virtualne stvarnosti | 2 |
| 2.1. | Karakteristike virtualne stvarnosti | 2 |
| 2.2. | Klasifikacija sustava virtualne stvarnosti..... | 3 |
| 2.3. | Uređaji virtualne stvarnosti..... | 5 |
| 2.4. | Evolucija VR tehnologije..... | 9 |
| 2.5. | Trenutno stanje VR tehnologije | 12 |
| 3. | Primjena VR tehnologije u arhitekturi i graditeljstvu | 17 |
| 3.1. | Angažiranje dionika | 17 |
| 3.2. | Podrška pri projektiranju..... | 19 |
| 3.3. | Pregled dizajna..... | 20 |
| 3.4. | Podrška pri izgradnji | 21 |
| 3.4.1. | Planiranje gradnje | 21 |
| 3.4.2. | Praćenje gradnje | 22 |
| 3.4.3. | Sigurnost u izgradnji..... | 23 |
| 3.4.4. | Operativna podrška..... | 24 |
| 3.5. | Upravljanje i marketing | 26 |
| 3.6. | Osposobljavanje i edukacija..... | 27 |
| 3.7. | Razine usvajanja VR tehnologije u arhitekturi i graditeljstvu | 29 |
| 3.8. | Program istraživanja | 30 |
| 3.9. | Primjeri primjene VR-a u arhitekturi i graditeljstvu..... | 31 |
| 3.9.1. | Vizualizacija koncepta..... | 32 |
| 3.9.2. | Uređenje interijera | 32 |
| 3.9.3. | Virtualni vodiči..... | 33 |
| 3.9.4. | Planiranje i sigurnost gradnje | 34 |
| 3.9.5. | Urbanističko planiranje i krajobrazno uređenje..... | 35 |
| 3.9.6. | Sudjelovanje i angažman javnosti | 36 |
| 3.9.7. | Arhitektonsko obrazovanje i osposobljavanje | 37 |
| 3.9.8. | Marketing nekretnina..... | 38 |
| 3.9.9. | Energetska analiza zgrade..... | 39 |
| 3.9.10. | Testiranje otpornosti na potres | 39 |
| 3.9.11. | Testiranje akustike | 40 |
| 3.9.12. | Očuvanje kulturne baštine | 40 |
| 3.9.13. | Pregled dizajna i angažman dionika | 41 |
| 3.9.14. | Suradnja i komunikacija | 42 |
| 4. | Istraživanje..... | 44 |
| 4.1. | Znanstveni rad br. 1 | 44 |
| 4.2. | Znanstveni rad br. 2 | 49 |
| 4.3. | Znanstveni rad br. 3 | 54 |
| 4.4. | Znanstveni rad br. 4 | 60 |
| 4.5. | Znanstveni rad br. 5 | 62 |
| 4.6. | Znanstveni rad br. 6 | 67 |
| 4.7. | Sažetak znanstvenih radova | 69 |
| 5. | SWOT analiza..... | 71 |
| 5.1. | Pojam i definicija SWOT analize..... | 71 |

| | | |
|------|---|----|
| 5.2. | Snage primjene virtualne stvarnosti u arhitekturi i graditeljstvu | 72 |
| 5.3. | Slabosti primjene virtualne stvarnosti u arhitekturi i graditeljstvu | 74 |
| 5.4. | Prilike primjene virtualne stvarnosti u arhitekturi i graditeljstvu | 76 |
| 5.5. | Prijetnje primjene virtualne stvarnosti u arhitekturi i graditeljstvu | 78 |
| 6. | Zaključak | 80 |
| 7. | Literatura | 85 |

Slika:

| | |
|---|----|
| Slika 2.1 _Primjer neimerzivnog sustava virtualne stvarnosti – videoigra na računalu | 4 |
| Slika 2.2 _Primjer poluimerzivnog sustava virtualne stvarnosti – vožnja automobila pomoću simulatora..... | 4 |
| Slika 2.3 _Primjer potpuno imerzivnog sustava virtualne stvarnosti – igranje VR videoigre | 5 |
| Slika 2.4 _Primjer HMD zaslona – Oculus Rift | 6 |
| Slika 2.5 _Primjer CAVE– virtualna soba | 7 |
| Slika 2.6 _Primjer senzorske rukavice – Quantun Precision XR..... | 8 |
| Slika 2.7 _ Sensorama..... | 9 |
| Slika 2.8 _ Telesferna maska | 10 |
| Slika 3.1 _Razine usvajanja VR tehnologije po pojedinim kategorijama uporabe..... | 29 |
| Slika 3.2 _Istraživački program | 30 |
| Slika 3.3 _ Prikaz scene virtualne stvarnosti zgrade „520 West 28th Street“ u New Yorku | 32 |
| Slika 3.4 _2D i 3D prikazi ICEreality softvera za VR..... | 33 |
| Slika 4.1 _3D model stambene zgrade i karakteristična tlocrt..... | 45 |
| Slika 4.2 _Prikaz scena virtualne stvarnosti (VR) | 45 |
| Slika 4.3 _Eksperimentalni testiranje. (a) Opći navigacijski sustav; (b) VR navigacijski sustav..... | 48 |
| Slika 4.4 _Treća faza: shematski dizajn pomoću IVR-a od strane 12 stdenata, na platformi Sketchfab. (https://sketchfab.com/johnbel/collections/rv4 | 52 |
| Slika 4.5 _Dva sudionika surađuju u istoj VR sceni..... | 57 |
| Slika 4.6 _MEP sustav s dimenzijama, korisnik postavlja dimenziju pomoću HTC Vive joysticka | 57 |
| Slika 4.7 _Pogled na dijelove zgrade vizualizirani u VR-u | 58 |
| Slika 4.8 _3D model scenarija 1 plana gradilišta Slika 4.9_3D model scenarija 2 plana gradilišta..... | 61 |
| Slika 4.10 _Scenariji požara i njihove točke paljenja (prvi kat, zgrada učionica)..... | 63 |
| Slika 4.11 _Scenarij hitne evakuacije u slučaju požara u modelu virtualne stvarnosti (gore), scenarij stvarnog svijeta (dolje). | 65 |
| Slika 4.12 _KAT VR platforma: scenarij virtualne stvarnosti (lijevo), postavke igrača (desno)..... | 66 |

Tablica:

| | |
|--|----|
| Tablica 2.1_ Meta Quest 2 - specifikacije..... | 13 |
| Tablica 2.2_ Valve Index - specifikacije..... | 14 |
| Tablica 2.3_ Play Station 2- specifikacije..... | 14 |
| Tablica 2.4_ HTC Vive Pro 2- specifikacije..... | 15 |
| Tablica 2.5_ Meta Quest Pro - specifikacije..... | 15 |
| Tablica 2.6_ HTC ReverbG2 - specifikacije..... | 16 |
| Tablica 3.1_ Angažiranje dionika..... | 19 |
| Tablica 3.2_ Podrška pri projektiranju..... | 20 |
| Tablica 3.3_ Pregled dizajna..... | 21 |
| Tablica 3.4_ Planiranje gradnje..... | 21 |
| Tablica 3.5_ Praćenje gradnje..... | 23 |
| Tablica 3.6_ Sigurnost u izgradnji..... | 24 |
| Tablica 3.7_ Operativna podrška..... | 25 |
| Tablica 3.8_ Upravljanje i marketing..... | 27 |
| Tablica 3.9_ Osposobljavanje i edukacija..... | 29 |
| Tablica 6.1_ SWOT analiza – Snage i slabosti..... | 81 |
| Tablica 6.2_ SWOT analiza – Prilike i prijetnje..... | 82 |

1. Uvod

Virtualna stvarnost (VR) predstavlja tehnologiju koja je doživjela značajan napredak kroz povećanje procesorske snage, smanjenje troškova te poboljšanje oblika, što je rezultiralo širim interesom i istraživanjima izvan tradicionalne gaming industrije. Različite domene poput obrazovanja, digitalnog marketinga, aktivizma, inženjerstva, robotike, likovne umjetnosti, zdravstva i kliničkih terapija, kulturne baštine, zaštite na radu, društvenih znanosti i psihologije sve više koriste VR tehnologiju u svojim područjima djelovanja.

U arhitekturi i graditeljstvu, VR tehnologija postaje sve više prepoznata i primjenjivana tijekom proteklih desetljeća. Njena sposobnost stvaranja simuliranih trodimenzionalnih okruženja značajno olakšava projektiranje, gradnju i upravljanje izgrađenim građevinama. Virtualna stvarnost otvara nove mogućnosti za suradnju među članovima projektnih timova, bez obzira na njihovu geografsku lokaciju, što smanjuje putne troškove i poboljšava komunikaciju.

Jedna od glavnih prednosti VR tehnologije u arhitekturi i graditeljstvu leži u njenom sposobnosti da klijentima pruži osjećaj stvarnog boravka unutar zgrade, čime postaje izuzetno moćnim alatom za komuniciranje namjere dizajna. Ova mogućnost je od iznimne važnosti jer klijenti često nemaju sposobnost razumijevanja prostornih odnosa i razmjera samo na temelju 2D nacрта ili 3D modela, dok uranjanje u virtualni svijet omogućuje bolje razumijevanje prostora.

Unatoč brojnim prednostima, primjena VR tehnologije u građevinskoj industriji suočava se s određenim izazovima. Tehnička ograničenja predstavljaju jedan od glavnih faktora koji ograničavaju potpunu integraciju VR tehnologije u dinamičnim i grubim okruženjima tipičnim za građevinski sektor. Iako tehnologija napreduje, još uvijek postoje izazovi koji zahtijevaju pažljivo istraživanje i razmatranje kako bi se optimizirala primjena VR-a u arhitekturi i graditeljstvu. [1]

Cilj ovog diplomskog rada je detaljno istražiti prednosti i izazove primjene virtualne stvarnosti na području arhitekture i graditeljstva kroz tipične slučajeve upotrebe: angažman dionika, podrška pri projektiranju, pregled dizajna, podrška pri izgradnji, upravljanje i marketing, te edukacija i osposobljavanje.

Kroz temeljitu analizu ovih slučajeva upotrebe, istražila sam kako se VR tehnologija može maksimalno iskoristiti u arhitekturi i graditeljstvu te kako prevladati izazove kako bi njena primjena postala što uspješnija i sveprisutnija u ovim industrijskim sektorima.

2. Pojam i definicija virtualne stvarnosti

Virtualna stvarnost (VR) predstavlja računalno simulirano okruženje koje omogućuje korisniku potpunu interakciju i promjenu percepcije kroz osjetilne informacije koje se šalju ljudskom mozgu. Kombinirajući hardver i softver, VR stvara imerzivna iskustva koja korisnika "varaju" i omogućuju mu da se osjeća prisutnim u virtualnom prostoru. Hardver podržava senzornu stimulaciju kao što su zvuk, dodir, miris i osjet topline, dok softver generira renderirano virtualno okruženje [2].

Primjena VR-a je izrazito raznovrsna. Korisnici mogu uživati u potpunom uranjanju u videoigre, gdje postaju likovi u igri. Medicinsko osoblje može koristiti VR za simulacije operacija i obuku, što poboljšava kvalitetu zdravstvene skrbi. Također, VR se koristi u sportskom treningu kako bi se maksimizirale sportske performanse.

Ključna komponenta VR-a su slušalice i oprema, koje zamjenjuju stvarno okruženje s umjetnim ili virtualnim svijetom koji je stvoren pomoću softvera. Uređaji poput žiroskopskih senzora, akceleratora i magnetometara omogućuju praćenje fizičkog kretanja korisnika te prilagodbe pokreta u stvarnom vremenu u virtualnom okruženju. To daje korisniku osjećaj fizičke prisutnosti na određenom mjestu.

Ukratko, virtualna stvarnost pruža širok spektar mogućnosti i primjena u različitim područjima, od zabave do medicinske obuke i sportskog treninga. Ova tehnologija neprestano napreduje i može imati značajan utjecaj na način na koji interagiramo s okolinom i svijetom oko nas.

2.1. Karakteristike virtualne stvarnosti

Karakteristike virtualne stvarnosti obuhvaćaju tri temeljne značajke: uranjanje, prisutnost i interaktivnost.

Uranjanje ili imerzija je ključna karakteristika virtualne stvarnosti koja odvaja korisnika od stvarnog svijeta i daje mu osjećaj postojanja ili prisutnosti u virtualnom okruženju. To znači da korisnik ima dojam da se fizički nalazi u virtualnom svijetu i da je okruženje potpuno integrirano i uvjerljivo. Stupanj uranjanja određen je tehnološkim atributima VR sustava, kao što su brzina prikaza slika u sekundi i razlučivost zaslona, koji utječu na realističnost iskustva. [3,4]

Prisutnost je subjektivno iskustvo bivanja na određenom mjestu ili okruženju, unatoč fizičkom položaju u stvarnom svijetu. Kroz uranjanje, VR omogućuje korisnicima da dožive prisutnost u virtualnom prostoru, što znači da se emocionalno i psihološki osjećaju kao da su stvarno prisutni i sudjeluju u događajima unutar tog okruženja. [5].

Interaktivnost predstavlja mogućnost korisnika da modificira VR okruženje u stvarnom vremenu. Korisnici mogu aktivno sudjelovati u virtualnom svijetu kroz senzornu tehnologiju i interakciju s objektima i likovima u tom okruženju. Ova karakteristika omogućuje korisnicima da preuzmu kontrolu nad virtualnim iskustvom i donose odluke koje će utjecati na daljnji razvoj događaja. [6]

Ukratko, karakteristike virtualne stvarnosti uključuju uranjanje koje odvaja korisnika od stvarnog svijeta i stvara osjećaj prisutnosti u virtualnom okruženju. Interaktivnost omogućuje korisnicima aktivno sudjelovanje u virtualnom svijetu, što povećava angažman i autentičnost iskustva. Tehnološki atributi VR sustava ključni su u određivanju kvalitete i intenziteta ovih karakteristika.

2.2. Klasifikacija sustava virtualne stvarnosti

Klasifikacija sustava virtualne stvarnosti obuhvaća tri primarne kategorije simulacija: ne-imerzivne, polu-imerzivne i potpuno imerzivne.

Ne-imerzivni sustavi virtualne stvarnosti predstavljaju osnovnu razinu virtualnog iskustva. Oni se sastoje od računalno generiranog okruženja koje omogućuje korisniku da ostane svjestan i zadrži kontrolu nad svojim fizičkim okruženjem. Primjeri ovih sustava su desktop računala, konzole za videoigre, zaslone i uređaji za unos poput tipkovnica, miševa i kontrolora. Ne-imerzivni sustavi često se koriste u svakodnevnom životu i poznati su kao "prozor u svijet" virtualne stvarnosti.



Slika 2.1 Primjer ne-imerzivnog sustava virtualne stvarnosti – videoigra na računalu

Polu-imerzivni sustavi virtualne stvarnosti pružaju korisnicima djelomično virtualno okruženje i povećavaju osjećaj uranjanja. Oni koriste široko vidno polje i 3D grafiku kako bi postigli veću realističnost. Polu-imerzivni sustavi često se koriste u obrazovne svrhe ili svrhe obuke. Primjeri polu-imerzivnih sustava su simulatori vožnje automobila koji djelomično kopiraju dizajn i funkcionalnost stvarnog svijeta.



Slika 2.2 Primjer polu-imerzivnog sustava virtualne stvarnosti – vožnja automobila pomoću simulatora

Potpuno imerzivni sustavi virtualne stvarnosti pružaju korisnicima najrealističnije iskustvo simulacije. Oni omogućuju najvišu razinu uranjanja, prisutnosti i interakcije. Za iskustvo potpuno imerzivne virtualne stvarnosti koristi se VR naočale ili zaslon koji se montira na glavu (HMD) i pružaju sadržaj visoke razlučivosti sa širokim vidnim poljem. Ova kategorija VR-a

najviše se primjenjuje u zabavne svrhe, poput igranja videoigara, ali isto tako sve više se koristi i u drugim sektorima, kao što su obrazovanje, medicina i inženjerstvo. [7]



Slika 2.3 Primjer potpuno imerzivnog sustava virtualne stvarnosti – igranje VR videoigre

Ukratko, klasifikacija sustava virtualne stvarnosti obuhvaća različite razine iskustva, s ne-imerzivnim sustavima koji pružaju osnovnu razinu virtualne interakcije, polu-imerzivnim sustavima koji povećavaju realističnost, te potpuno imerzivnim sustavima koji omogućuju najdublju razinu uranjanja i interakcije s virtualnim svijetom.

2.3. Uređaji virtualne stvarnosti

Uređaji virtualne stvarnosti igraju ključnu ulogu u omogućavanju korisnicima da dožive uranjanje, prisutnost i interaktivnost u virtualnom okruženju. Neki od najčešćih uređaja koji se koriste u virtualnoj stvarnosti su:

HMD zasloni (Head-mounted display): specifični uređaji virtualne stvarnosti koji se montiraju na glavu korisnika, prekrivajući oči i omogućujući im da urone u virtualni svijet. Ovi uređaji čine ključnu komponentu VR tehnologije jer korisniku omogućuju da vidi i doživi virtualno okruženje

Glavna svrha HMD zaslona je stvaranje imerzivnog iskustva tako da korisnik osjeća kao da je fizički prisutan u virtualnom prostoru. Ova vrsta uređaja često koristi dvije posebne projekcije za svako oko korisnika kako bi stvorila 3D stereoskopsku sliku. To znači da svako oko vidi različitu sliku koja se kombinira kako bi se stvorio osjećaj dubine i trodimenzionalnosti.

HMD zasloni opremljeni su sensorima koji prate kretanje glave korisnika, što omogućuje da se slika na zaslonu dinamički prilagodi ovisno o položaju i orijentaciji glave.

Razlikujemo dvije osnovne vrste HMD zaslona:

1. Žičani HMD zasloni: Ovi uređaji su povezani s računalom putem kabela i koriste moćne računalne sustave kako bi prikazali složene 3D grafike.
2. Bežični HMD zasloni: Ovo su bežični uređaji koji sadrže vlastiti procesor, memoriju i bateriju, što omogućuje korisniku slobodnije kretanje bez ograničenja kabela.

HMD zasloni su ključni za pružanje bogatog i uključivog iskustva virtualne stvarnosti. Koriste se u različitim područjima, uključujući videoigre, zabavu, obrazovanje, medicinu, simulacije obuke, dizajn i inženjerstvo. Kako tehnologija napreduje, očekuje se da će HMD zasloni postati još napredniji i pružiti korisnicima još realističnije i uzbudljivije VR iskustvo. [8]



Slika 2.4 Primjer HMD zaslona – Oculus Rift

CAVE (Cave Automatic Virtual Environment): CAVE predstavlja okruženje virtualne stvarnosti koje se sastoji od VR sobe s projekcijskim ekranima na zidovima, podu i stropu. Korisnik može nositi VR slušalice ili heads-up zaslon i komunicirati putem ulaznih uređaja kao što su džojstik-ovi ili podatkovne rukavice. HMD zasloni za glavu sinkronizirani su s projektorima, omogućujući korisniku da se kreće po sobi i promatra VR okruženje iz svih kutova. CAVE tehnologija pruža korisniku osjećaj stvarne prisutnosti u virtualnom prostoru, omogućujući mu slobodno kretanje i interakciju s virtualnim objektima.

Ovaj sustav ima razne primjene u različitim područjima, uključujući znanstvena istraživanja, obrazovanje, medicinu, dizajn i inženjerstvo. U akademskom okruženju, CAVE se

često koristi za simulacije, vizualizaciju podataka i modeliranje. U medicinskom sektoru, koristi se za simulaciju kirurških zahvata i planiranje liječenja. U arhitektonskom dizajnu, CAVE omogućuje arhitektima da istraže svoje projekte u stvarnom vremenu i ocijene prostorne karakteristike. [8]



Slika 2.5 Primjer CAVE– virtualna soba

Rukavice za virtualnu stvarnost (senzorske rukavice): posebni uređaji dizajnirani kako bi omogućili korisnicima da interaktivno i prirodno komuniciraju s virtualnim okruženjem. Ove rukavice opremljene su sensorima i aktuatorima koji omogućuju praćenje pokreta ruku korisnika te stvaranje osjeta dodira s virtualnim objektima u simuliranom prostoru.

Glavni cilj senzorskih rukavica je poboljšati imerzivnost i interakciju u virtualnoj stvarnosti, omogućujući korisnicima da preuzmu kontrolu nad virtualnim objektima na način koji nalikuje prirodnoj gestikulaciji u stvarnom svijetu. Ovi uređaji koriste naprednu tehnologiju kako bi detektirali različite pokrete ruku, prstiju i dlana, a zatim prenose te podatke u virtualno okruženje, gdje se odvijaju odgovarajuće akcije.

Uz praćenje pokreta, neke senzorske rukavice također imaju mogućnost generiranja osjeta dodira. To se postiže pomoću aktuatora, koji stvaraju pritisak na određenim dijelovima rukavice

kako bi korisnici osjetili dodir virtualnih objekata. Na primjer, kada korisnik dodirne zid u virtualnom okruženju, rukavica će generirati blago stiskanje kako bi stvorila osjećaj dodira.

Senzorske rukavice omogućuju korisnicima prirodnu i realističnu interakciju s virtualnim objektima i površinama. Mikrofluidni pokretači unutar rukavica pomiču kožu kako bi simulirali dodirivanje virtualnih objekata, čime se povećava osjećaj stvarnosti.

Senzorske rukavice imaju širok spektar primjena. Osobito su važne u industriji videoigara i zabave, gdje omogućuju korisnicima da interaktivno sudjeluju u igrama i iskuse realniji doživljaj virtualnih svjetova. Osim toga, senzorske rukavice imaju primjenu u simulacijama obuke, medicinskim istraživanjima, robotici, virtualnom dizajnu i drugim područjima gdje se stvarna interakcija s virtualnim objektima i okolinom smatra ključnim za uspjeh. S razvojem tehnologije i napretkom u području virtualne stvarnosti, očekuje se da će senzorske rukavice postati sve sofisticiranije i pružiti korisnicima još realnije i uključivije iskustvo. [8]



Slika 2.6 Primjer senzorske rukavice – Quantun Precision XR

Osim ovih uređaja, postoje i mnogi drugi ulazni uređaji koji korisnicima omogućuju navigaciju i interakciju s virtualnim okruženjima. To uključuje uređaje za praćenje kretanja, džojstike, podloge za trčanje i odijela za cijelo tijelo. Kombinacija ovih uređaja pruža korisnicima bogato i uključivo iskustvo virtualne stvarnosti. [8]

2.4. Evolucija VR tehnologije

Povijest virtualne stvarnosti obilježena je razvojem raznih tehnologija i uređaja koji su omogućili korisnicima uranjanje u digitalni svijet i doživljavanje trodimenzionalnih iskustava. Evo pregleda ključnih događaja u povijesti virtualne stvarnosti: [56]

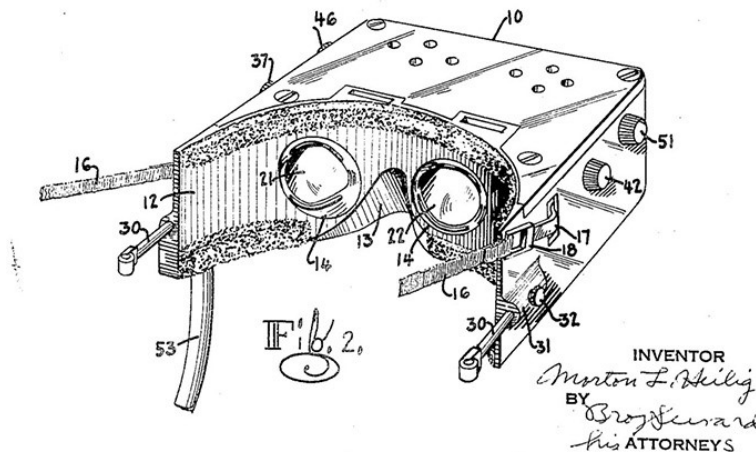
1838: Sir Charles Wheatstone prvi je izumio stereoskop, uređaj koji koristi dvije fotografije istog objekta snimljene iz različitih kutova kako bi se dobio osjećaj trodimenzionalnosti.

1956: Snimatelj Morton Heilig stvorio je multisenzorni simulator Sensorama, koji je omogućio uranjanje korisnika u svijet filma kroz stereoskopski 3D zaslon, vibrirajuću stolicu i stereo zvučnike. Ovo je nazvano "kino budućnosti".



Slika 2.7 Sensorama

1960: Heilig je patentirao telesfernu masku, prvi primjer zaslona na glavi (HMD), koja je omogućavala prikaz stereoskopskih 3D slika sa širokim zaslonom i stereo zvukom, ali bez mogućnosti praćenja pokreta.



Slika 2.8 Telesferna maska

1968: Ivan Sutherland sa svojim studentom Bobom Sproullom stvorio je prvi HMD zaslon s mogućnošću trodimenzionalnog praćenja nazvan Damoklov mač. HMD zaslon je bio spojen s računalom, a ne s kamerom i bio je prilično primitivan. Ovaj uređaj predstavljao je ranu verziju današnjih VR slušalica.

1977: MIT je stvorio „Aspen Movie Map“, sustav koji je omogućio virtualno istraživanje grada Aspen u Coloradu slično kao Google Street View. Generiran je i trodimenzionalni poligonalni model grada, što je omogućilo korisnicima da dožive prostor na nov i interaktivan način. Ovo je jedan od ranih primjera virtualne stvarnosti u edukaciji.

1982: Daniel J. Sandin i Thomas DeFanti stvorili su prvu žičanu podatkovnu rukavicu koja je omogućavala interakciju korisnika s virtualnim svijetom prepoznavanjem pokreta prstiju.

1985: Jaron Lanier i Thomas Zimmerman osnovali su VPL Research, prvu tvrtku koja je prodavala VR naočale i rukavice. Lanier je popularizirao pojam "virtualna stvarnost".

1986_Furness je razvio simulator leta između 1986.-1989. poznat kao Super kokpit. Kokpit je sadržavao računalno generirane 3D karte, napredne infracrvene i radarske slike, a pilot je mogao vidjeti i čuti u stvarnom vremenu. Sustav praćenja i senzori kacige omogućili su pilotu da upravlja zrakoplovom pomoću gesta, govora i pokreta očiju.

1991: Virtuality Group pokrenula je Virtuality – prvi masovno proizvedeni VR sustav zabave. To su bili VR arkadni strojevi na kojima su igrači mogli igrati u 3D svijetu igara. Kapsula Virtuality sadržavala je VR slušalice i uranjajuće stereoskopske 3D slike u stvarnom vremenu. Napravljene VR verzije neke od vrlo popularnih arkadnih igara, poput Pac-Mana.

1995: Nintendo je lansirao konzolu Virtual Boy koja je bila prva prijenosna konzola koja je prikazivala 3D grafiku. Virtual Boy doživjela je komercijalni neuspjeh zbog nedostatka grafike u boji i neudobnosti pri korištenju, te je godinu dana kasnije ukinuta.

2007_ Google je predstavio aplikaciju „Street View“, koja prikazuje interaktivne panorame spojenih VR fotografija i postavila temelje za kasniji razvoj VR tehnologija.

2010: Palmer Luckey stvorio je prvi prototip Oculus Rift VR slušalice koje su pružale realistično iskustvo po pristupačnoj cijeni. Ovo je kasnije dovelo do osnivanja Oculus VR-a.

2010_ Google je predstavio stereoskopski 3D način rada za Street View. Palmer Luckey, 18-godišnji poduzetnik, stvorio je prvi prototip slušalice Oculus Rift. Slušalice su imale široko stereoskopsko vidno polje od 90 stupnjeva koje nikada prije nije viđeno, te za isporuku slika oslanjale su se na procesorsku snagu računala. Bile su to prve slušalice za virtualnu stvarnost koje su pružale realistično iskustvo po pristupačnoj cijeni.

2014_ Facebook je kupio tvrtku Oculus VR za 2 milijarde dolara. Ovo je bio odlučujući trenutak u povijesti VR-a jer je VR nakon toga brzo dobio zamah. Sony je objavio da rade na Project Morpheusu - VR slušalicama za PlayStation 4 (PS4). Google je izdao „Google Cardboard“ – jeftinu aplikaciju virtualne stvarnosti nazvana po svom rasklopivom kartonskom pregledniku u koji se umeće pametni telefon. Samsung je najavio „Samsung Gear VR“, slušalice koje koriste pametni telefon Samsung Galaxy.

2015_ HTC je službeno predstavio svoj uređaj „HTC Vive“ koji implementira virtualnu stvarnost "na razini sobe", što znači da se korisnik može slobodno kretati po prostoru predviđenom za igru, umjesto da bude ograničen na jednom mjestu. To su bile prve komercijalne slušalice s praćenjem temeljenim na sensorima koje korisnicima omogućuju slobodno kretanje po prostoriji.

2017_ Mnoge tvrtke razvijaju vlastite VR slušalice, uključujući HTC, Google, Apple, Amazon, Microsoft Sony, Samsung itd. Sony razvija sličnu tehnologiju praćenja lokacije kao HTC-ov VIVE za PlayStation 4.

2018_ Virtualna stvarnost značajno je napredovala i primjenjuje se na različite načine, od VR igara, pomoći u liječenju psiholoških poremećaja, do podučavanja novim vještinama, pa čak i vođenja smrtno bolesnih ljudi na virtualna putovanja. VR ima mnogo aplikacija, a s porastom tehnologije pametnih telefona VR postaje još dostupniji.

2019_ Forbes je opisuje kao godinu kada virtualna stvarnost postaje stvarna. Oculus Quest, Facebookove samostalne slušalice, stvorile su veliki interes, generirajući prodaju vrijednu 5 milijuna dolara. Prelazak s VR slušalica sa žičanog na bežični sustav je velika

prekretnica u VR industriji, s obzirom na to da su samostalno bežične slušalice mnogo jednostavnije za primjenu.

2020: Oculus Quest 2 predstavljen je kao nadogradnja na prethodni model Oculus Quest i nastavlja se prodavati u velikim količinama širom svijeta.

2.5. Trenutno stanje VR tehnologije

Trenutno stanje VR tehnologije u 2023. godini je obilježeno značajnim napretkom u usporedbi s prethodnim godinama. Postoji veći izbor proizvođača VR tehnologije nego ikad prije, što omogućuje korisnicima da biraju između različitih uređaja prema svojim potrebama i preferencijama. Među popularnim proizvođačima VR slušalica spadaju Meta Quest 2, Valve Index, HTC Vive, Oculus Rift i PlayStation VR (PSVR).

Pri procjeni VR slušalica, obično se uzimaju u obzir nekoliko ključnih kriterija:

Ergonomija: Važno je da su VR slušalice udobne za nošenje tijekom duljeg razdoblja. Visoka razina ergonomije osigurat će korisnicima ugodno iskustvo bez osjećaja nelagode nakon duljeg korištenja.

Uranjanje (engl. immersion): Uranjanje se odnosi na sposobnost VR tehnologije da uroni korisnika u virtualno okruženje i stvori osjećaj prisutnosti. Što je bolje uranjanje, to će korisnik doživjeti stvarnije iskustvo. Uranjanje ovisi o zaslonu visoke razlučivosti s brzim frekvencijama osvježavanja, tako da su vizuali oštri i glatki.

Kontrole: Kontrole VR slušalica mogu biti raznolike, poput ruku, kontrolera ili praćenja pokreta. Kvalitetne kontrole osiguravaju preciznost i intuitivnost korisničkog iskustva.

Važni tehnički aspekti VR slušalica uključuju:

Rezoluciju zaslona: Za oštar i jasan prikaz prilikom uranjanja, VR slušalice trebaju imati zaslone visoke rezolucije.

Brzinu osvježavanja: Visoka brzina osvježavanja osigurava glatko prikazivanje slika, što je od ključne važnosti za izbjegavanje nelagode ili mučnine tijekom korištenja VR tehnologije.

Vidno polje: Šire vidno polje omogućuje korisnicima osjećaj prostranosti i prisutnosti u virtualnom okruženju, što može značajno poboljšati iskustvo. [57]

Evo tablica s pojedinim specifikacijama, prednostima i nedostacima najpopularnijih VR slušalica u 2023. godini:

| 1. | Meta Quest 2 |
|--------------------------|---|
| POTREBNA DODATNA OPREMA? | NE, samostalan uređaj |
| CIJENA (dolar) | 299 (amazon) |
| REZOLUCIJA (po oku) | 1440 x 1600 |
| OŽIČENO? | NE |
| BRZINA OSVJEŽAVANJA | 90 Hz |
| VIDNO POLJE | 101 stupanj |
| PREDNOSTI | <ul style="list-style-type: none"> - mala težina - samostalan uređaj (nije potrebno povezivanje s računalom) - jednostavan za upotrebu - dobra ergonomija za ugodno nošenje tijekom duljeg vremena - nevjerojatna imerzivna iskustva |
| NEDOSTACI | <ul style="list-style-type: none"> - bolest kretanja - ograničeno vidno polje u usporedbi s nekim drugim modelima - potrebno povezati s Facebook računom - Srednja brzina osvježavanja u usporedbi s drugim modelima - Uređaj zahtjeva punjenje baterije za neometano korištenje |

Tablica 2.1 Meta Quest 2 - specifikacije

| 2. | Valve Index |
|--------------------------|--------------------|
| POTREBNA DODATNA OPREMA? | DA, potreban je PC |
| CIJENA (dolar) | 999 (Steam) |
| REZOLUCIJA (po oku) | 1440 x 1600 |
| OŽIČENO? | DA |
| BRZINA OSVJEŽAVANJA | 120/140 Hz |

| | |
|-----------|--|
| PREDNOSTI | <ul style="list-style-type: none"> - Visoka brzina osvježavanja (glatko iskustvo u VR-u) - najšire vidno polje (povećana imerzija) - velika biblioteka igara - precizni i osjetljivi kontrolori |
| NEDOSTACI | <ul style="list-style-type: none"> - potreban vrhunski GPU - potrebno je priključivanje na PC - visoka cijena u usporedbi s drugim VR sustavima - Teška oprema koje može uzrokovati nelagodu pri duljem korištenju |

Tablica 2.2 Valve Index - specifikacije

| | |
|--------------------------|--|
| 3. | Play Station VR 2 |
| POTREBNA DODATNA OPREMA? | DA, Play Station 5 |
| CIJENA (dolar) | 549 (Sony) |
| REZOLUCIJA (po oku) | 2000 x 2040 |
| OŽIČENO? | DA |
| BRZINA OSVJEŽAVANJA | 120 Hz |
| VIDNO POLJE | 110 stupnjeva |
| PREDNOSTI | <ul style="list-style-type: none"> - vrhunska kvaliteta slike - jednostavan za upotrebu - oštar odaziv |
| NEDOSTACI | <ul style="list-style-type: none"> - slab vijek trajanja baterije kontrolora - visoka cijena u usporedbi s drugim VR sustavima |

Tablica 2.3 Play Station 2- specifikacije

| | |
|--------------------------|--|
| 4. | HTC Vive Pro 2 |
| POTREBNA DODATNA OPREMA? | DA, računalo visokih specifikacija, Steam VR bazne stanice, Steam VR kontroleri (opcionalno) |
| CIJENA (dolar) | 1399 (amazon) |
| REZOLUCIJA (po oku) | 2448 x 2448 |

| | |
|---------------------|---|
| OŽIČENO? | DA |
| BRZINA OSVJEŽAVANJA | 120 Hz |
| VIDNO POLJE | 120 stupnjeva |
| PREDNOSTI | <ul style="list-style-type: none"> - Vrlo visoka rezolucija slike - Visoka brzina osvježavanja - Široko vidno polje - pristup popularnim igrama |
| NEDOSTACI | <ul style="list-style-type: none"> - zaslone se može zagrijati nakon dulje uporabe - potreba za snažnim računalom - visoka cijena u usporedbi s drugim VR sustavima - puno kabela |

Tablica 2.4 HTC Vive Pro 2- specifikacije

| | |
|--------------------------|--|
| 5. | Meta Quest Pro |
| POTREBNA DODATNA OPREMA? | NE |
| CIJENA (dolar) | 999,99 (amazon) |
| REZOLUCIJA (po oku) | 1800 x 1920 |
| OŽIČENO? | NE |
| BRZINA OSVJEŽAVANJA | 90 Hz |
| VIDNO POLJE | 106 stupnjeva |
| PREDNOSTI | <ul style="list-style-type: none"> - udobne za duge sesije - elegantan dizajn kontrolora - impresivne performanse |
| NEDOSTACI | <ul style="list-style-type: none"> - kratko trajanje baterije - visoka cijena u usporedbi s drugim VR sustavima |

Tablica 2.5 Meta Quest Pro - specifikacije

| | |
|--------------------------|---------------------|
| 6. | HP Reverb G2 |
| POTREBNA DODATNA OPREMA? | DA, potreban PC |
| CIJENA (dolar) | 599 (amazon) |
| REZOLUCIJA | 2160 x 2160 |

| | |
|------------------------|---|
| (po oku) | |
| OŽIČENO? | DA |
| BRZINA OSVJEŽAVANJA | 90 Hz |
| VIDNO POLJE | 114 stupnjeva |
| PREDNOSTI | <ul style="list-style-type: none"> - jednostavno postavljanje - dobar dizajn i udobnost - visoka rezolucija po oku - precizno praćenje pokreta - kvalitetne leće |
| NEDOSTACI | <ul style="list-style-type: none"> - zahtjeva snažno računalo za najbolje performance - relativno visoka cijena - nema bežičnu opciju (kabelski povezano) |

Tablica 2.6 HTC ReverpG2 - specifikacije

Na temelju recenzija, mogu se izdvojiti različite prednosti i mane za svaku VR slušalicu.

Meta Quest 2 (Oculus Quest 2) ističe se kao najbolji izbor za većinu ljudi zbog samostalne funkcionalnosti, omogućavanja slobodnog kretanja bez ožičenja, te jednostavnog postavljanja i korištenja. No, ima nešto nižu kvalitetu izrade i neki korisnici primjećuju "screen-door" efekt.

Valve Index odlikuju oštar zaslon, široko vidno polje i visoka brzina osvježavanja, što ga čini idealnim za PC igre. Međutim, visoka cijena i zahtjevi za snažnim računalom mogu biti mana.

Play Station VR 2 je optimiziran za konzole te rješava nedostatke prethodne verzije. Unatoč tome, moguće je da nudi nešto ograničenije iskustvo u usporedbi s VR slušalicama za PC, a cijena dodatne opreme može biti visoka.

HTC Vive Pro se ističe visokom rezolucijom zaslona, širokim vidnim poljem i brzom osvježavanjem, što pruža vrhunsko iskustvo. No, vrlo visoka cijena i zahtjevi za snažnim računalom mogu biti prepreka za neke korisnike.

Meta Quest Pro, fokusira se na udobnost tijekom korištenja, što može biti privlačno za određene korisnike.

HP Reverb G2 se ističe kao jeftinija alternativa Valve Indexu s pristojnom kvalitetom izrade, no može imati ograničene mogućnosti praćenja pokreta i zahtjeva snažno računalo za najbolje iskustvo.

Konačan izbor VR slušalica ovisi o preferencijama korisnika, namjeni upotrebe te budžetu koji su spremni uložiti u VR tehnologiju. [57]

3. Primjena VR tehnologije u arhitekturi i graditeljstvu

Virtualni zasloni na glavi (HMD), kao što su Oculus Rift i HTC Vive, predstavljaju snažan alat za inženjere arhitekture i građevine. Korištenjem ove tehnologije, korisnici se trenutno uranjaju u trodimenzionalno okruženje, što im pruža nevjerojatan osjećaj proporcije, dubine i prostorne svijesti koji nije moguć pri pregledu arhitektonskih vizualizacija, animacija ili maketa. Virtualna stvarnost (VR) ima ključnu ulogu u svim fazama projektiranja, omogućavajući arhitektima pregled dizajna, prezentaciju ideja te otkrivanje i rješavanje problema vezanih uz izgradnju i upotrebljivost građevina.

U ovom radu istražuje se primjena VR tehnologija u području arhitekture i građevinarstva (AEC). Prema [9], razlikuje se šest ključnih kategorija primjene VR-a u AEC sektorima: (1) angažiranje dionika, (2) podrška pri projektiranju, (3) pregled dizajna, (4) podrška pri izgradnji (koja uključuje planiranje gradnje, praćenje gradnje, sigurnost na gradilištu i operativnu podršku), (5) upravljanje i marketing te (6) obuka i osposobljavanje. Svaka od ovih kategorija je detaljnije je obrađena u narednim poglavljima kako bi se istaknuli njezini specifični aspekti i mogućnosti.

3.1. Angažiranje dionika

VR je moćan marketinški alat koji može značajno poboljšati promociju i prodaju nekretnina. Pružanje realistične reprezentacije još neizgrađenih objekata kroz VR omogućuje potencijalnim klijentima da dobiju mnogo bolji osjećaj prostornih odnosa i razmjera u usporedbi s tradicionalnim 2D arhitektonskim nacrtima ili 3D vizualizacijama. Virtualne prezentacije u VR-u omogućuju potencijalnim kupcima ili najmoćnijima da se virtualno prošecu kroz objekt u stvarnim razmjerima, što stvara dojam kao da su fizički prisutni u objektu. To im daje osjećaj stvarnog iskustva i pruža bolje razumijevanje nekretnine u usporedbi s tradicionalnim metodama prezentacije, poput statičnih nacрта, slika ili videozapisa.

Jedna od ključnih prednosti VR-a u marketinškom kontekstu je što omogućuje korisnicima intuitivno razumijevanje arhitektonskih struktura bez potrebe za specifičnim vještinama u čitanju arhitektonskih nacрта. To čini cijeli doživljaj vrlo pristupačnim, što povećava angažman potencijalnih klijenata i olakšava im donošenje informiranih odluka prilikom odabira nekretnina. Istraživanja potvrđuju da je VR prezentacija daleko učinkovitija od tradicionalnog papirnato oglašavanja kao kanala komunikacije u arhitekturi i nekretninama. Korištenjem VR-

a u marketinške svrhe, arhitektonski projekti postaju privlačniji i pristupačniji većem broju ljudi, što potiče veći interes za nekretnine i može smanjiti vrijeme prodaje ili najma. VR je zaista revolucionarna tehnologija koja može transformirati način na koji se promoviraju i prezentiraju nekretnine te pružiti nezaboravno iskustvo potencijalnim klijentima. Nastavno u tablici 3.1 dani su primjeri i izazovi uporabe za kategoriju „angažiranje dionika“. [9, 10, 11]

| | |
|-----------------------------------|--|
| <p>VR PRIMJERI UPORABE</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Prodavatelji nekretnina koriste VR kako bi umjesto 2D nacрта i vizualizacija demonstrirali unutarnju arhitekturu neizgrađene nekretnine kroz interaktivnu virtualnu šetnju. Tako štede novac i vrijeme te potencijalnim klijentima pružaju realističniji doživljaj nekretnine. • VR sustav se koristi za vizualizaciju različitih vrsta održivih graditeljskih tehnika koje se predlažu ruralnim siromašnim zajednicama. Time se pomaže tim zajednicama bolje razumjeti i prihvatiti nove konstrukcijske tehnike. • BVRS višekorisnička VR platforma omogućuje svim dionicima u procesu projektiranja i gradnje (klijentima, arhitektima, inženjerima i glavnim izvođačima) interaktivnu komunikaciju u jedinstvenom virtualnom okruženju. Također omogućuje automatsko ažuriranje BIM modela, što olakšava suradnju i poboljšava angažiranost svih dionika u projektu. • VR sustavi se koriste za virtualne preglede kampusa, što omogućuje posjetiteljima stjecanje boljeg dojma o prostoru, infrastrukturi i sadržajima kampusa. |
| <p>IZAZOVI</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Sučelje VR tehnologije nije uvijek dovoljno jednostavno za samostalnu primjenu, pa je često potreban pratitelj koji će korisnicima pomoći s korištenjem VR opreme i sustava • Korištenje VR tehnologije može izazvati osjećaj izolacije kod korisnika, budući da se oni nalaze u virtualnom okruženju, a ne u stvarnom fizičkom prostoru • Postoji poteškoća u dijeljenju VR iskustva s drugima. |

| | |
|--|---|
| | Kako bi drugi sudionici mogli vidjeti što korisnik doživljava u VR-u, potrebno je koristiti dodatnu opremu i alate za prijenos slike i zvuka. |
|--|---|

Tablica 3.1 Angažiranje dionika

3.2. Podrška pri projektiranju

U usporedbi s tradicionalnim prikazom građevina (2D nacrti), računalno potpomognuta 3D grafika pomaže arhitektima u izražavanju njihove kreativnosti. VR tehnologija može podržati inženjere arhitekture u ranoj fazi projektiranja građevina kako bi procijenili svoje dizajnerske odluke i time poboljšali konačni rezultat.

Nastavno u tablici 3.2 navedeni su primjeri i izazovi uporabe za kategoriju "podrška pri projektiranju".[9, 12, 13]

| | |
|----------------------------|--|
| VR PRIMJERI UPORABE | <ul style="list-style-type: none"> • Korištenje softvera za 3D modeliranje s VR podrškom (VR CAD), koji značajno olakšava stvaranje 3D modela. Taj softver je lakši za učenje, intuitivniji za korištenje i omogućuje brže modeliranje u usporedbi s tradicionalnim softverima za 3D modeliranje • Korištenje VR sustava za urbanističko planiranje i modeliranje objekata koji uključuje posebne komunikacijske protokole i tehnike prepoznavanja gesta, što doprinosi stvaranju održivih i funkcionalnih gradova • Korištenje VR sustava omogućuje projektantima da dožive različite dizajne objekta kojeg su projektirali u realističnim scenarijima, i tako prepoznaju kvalitativne karakteristike prostora. Dakle, zahvaljujući VR tehnologiji, projektanti mogu procijeniti kako će prostor izgledati i funkcionirati u stvarnom okruženju, što im pomaže donijeti kvalitetnije odluke tijekom procesa projektiranja. |
| IZAZOVI | <ul style="list-style-type: none"> • Teško konvertiranje VR modela u BIM modele (Building Information Modeling), s obzirom da su VR modeli su |

| | |
|--|--|
| | <p>često kreirani u drugim softverima i formatima koji nisu nužno kompatibilni s BIM softverima</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nemogućnost arhiviranja VR projekata za kasniji pregled ili analizu • Potreba za visokim ulaganjima u prostor i kvalificirano osoblje kako bi se uspješno koristila VR tehnologija u projektiranju. |
|--|--|

Tablica 3.2 Podrška pri projektiranju

3.3. Pregled dizajna

VR tehnologija omogućuje sudionicima u fazi projektiranja građevine da ispitaju i analiziraju značajke dizajna građevine, uključujući raspored prostorija, dizajn rasvjete, boje, teksture i drugih elemenata. Pomoću VR tehnologije, analiza dizajna postaje učinkovitija, jer sudionici mogu pregledati svoj dizajn u virtualnoj stvarnosti u stvarnom mjerilu i identificirati moguće probleme te ih lakše riješiti. Također, VR tehnologija omogućuje razradu dizajnerskih alternativa u ranoj fazi projektiranja građevine, čime se izbjegavaju eventualne pogreške i omogućuje bolje planiranje. Nastavno u tablici 3.3 dani su primjeri i izazovi uporabe za kategoriju „pregled dizajna“. [9, 14, 15]

| | |
|----------------------------|--|
| VR PRIMJERI UPORABE | <ul style="list-style-type: none"> • Korištenje imerzivne virtualne stvarnosti (VR) kao općeg alata za dizajniranje s fokusom na olakšavanje procesa donošenja odluka • Suradnička analiza pri izradi konstrukcijskog projekta putem VR aplikacije, omogućena je kroz izvoz simulacija gradnje temeljenih na BIM-u u VR aplikaciju • Upotreba VR tehnologije za procjenu udobnosti različitih prostora te unaprjeđenje dizajna i planiranja prostora. |
| IZAZOVI | <ul style="list-style-type: none"> • Teškoća u konvertiranju VR modela u BIM modele • Nemogućnost konvertiranja VR projekata za kasniji pregled • Poteškoće u bilježenju iskustava i rasprava korisnika unutar VR okruženja |

| | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Potreba za visokim ulaganjima u prostor i kvalificirano osoblje. |
|--|--|

Tablica 3.3 Pregled dizajna

3.4. Podrška pri izgradnji

Korištenje VR tehnologije u izgradnji može se grupirati u četiri područja: planiranje gradnje, praćenje gradnje, sigurnost na gradilištu, te operativna podrška

3.4.1. Planiranje gradnje

Primarni cilj VR-a u ovom području je predvidjeti potencijalne probleme i poboljšati sami tijek gradnje. VR se usredotočuje na stvaranje uranjajućih simulacija gradnje. Nastavno u tablici 3.4 dani su primjeri i izazovi uporabe kategorije „planiranje gradnje“. [9,16]

| | |
|----------------------------|--|
| VR PRIMJERI UPORABE | <ul style="list-style-type: none"> • Simulacija složenih građevinskih radova smanjit će rizike i potencijalna kašnjenja pri složenim proizvodnim i montažnim zadacima. • Troškovnik koji se ažurira u stvarnom vremenu u skladu s promjenama u projektu znatno će ubrzati i olakšati gradnju. • VR sustav pomaže u planiranju ruta primjene dizalica tijekom izgradnje autocesta, čime se smanjuju prekidi u prometu. |
| IZAZOVI | <ul style="list-style-type: none"> • Nedostatak interoperabilnosti između BIM sustava i VR modela – problem u komunikaciji i razmjeni podataka između BIM modela i VR modela, što može rezultirati gubicima informacija ili otežanim postupcima prijenosa podataka iz jednog sustava u drugi. • poteškoće u automatskom ažuriranju BIM modela i rasporeda gradnje iz VR sustava. |

Tablica 3.4 Planiranje gradnje

3.4.2. Praćenje gradnje

VR ima veliki potencijal u praćenju napretka izgradnje zgrade u virtualnom okruženju. Takav pristup omogućuje brže i preciznije prepoznavanje mogućih kašnjenja u projektu, čime se osigurava pravovremena isporuka građevinskog materijala i smanjuje mogućnost kašnjenja građevinskih radova. To je od ključne važnosti za uspješno završavanje projekata u zadanim vremenskim okvirima. Pored toga, korištenje VR tehnologije omogućuje inženjerima i radnicima da prate napredak gradnje i održavanja bez potrebe za fizičkom prisutnošću na opasnim ili teško dostupnim mjestima. Ovo daljinsko praćenje doprinosi učinkovitijoj i sigurnijoj provedbi operacija, smanjujući rizik od ozljeda i poboljšavajući učinkovitost procesa održavanja i gradnje. [9,17]

U tablici 3.5 navedeni su primjeri i izazovi uporabe kategorije "praćenje gradnje"

| | |
|----------------------------|--|
| VR PRIMJERI UPORABE | <ul style="list-style-type: none">• VR omogućuje daljinsko praćenje napretka gradnje, što je izuzetno korisno za opasna mjesta i situacije, poput praćenja operacija održavanja fuzijskih reaktora• VR sustav omogućuje praćenje napretka izgradnje zgrade u virtualnom okruženju pomoću BIM podataka i stvarnih slika s gradilišta. |
| IZAZOVI | <ul style="list-style-type: none">• Poteškoće u upravljanju različitim izvorima podataka i tehnologijama koje se koriste na gradilištu i za vizualizacije u VR okruženju. Na gradilištima se koriste različita oprema, senzori, uređaji i softveri koji generiraju podatke o napretku gradnje. Integracija i sinkronizacija tih raznolikih podataka u VR okruženju predstavlja izazov jer zahtijeva dobro upravljanje i koordinaciju različitih tehnologija• Nedostatak integracije između standarda podataka, što otežava povezivanje BIM podataka, fotogrametrije i VR platformi. Problem nastaje kada se ti različiti izvori podataka ne mogu lako integrirati i povezati zbog nedostatka standardizacije podataka i formata. To može ograničiti mogućnost prenošenja točnih i preciznih |

| | |
|--|--|
| | <p>informacija između različitih sustava.</p> <ul style="list-style-type: none"> • nedostatak načina za potvrđivanje podataka o praćenju napretka i nedostatak indikacija o točnosti tih podataka u VR okruženju. Kada se koristi VR tehnologija za praćenje napretka gradnje, ključno je osigurati da VR okolina točno odražava stvarno stanje na gradilištu, te nedostatak načina za provjeru i potvrdu točnosti tih podataka može stvarati nedoumice i nesigurnost u ispravnost prikazanih informacija |
|--|--|

Tablica 3.5 Praćenje gradnje

3.4.3. Sigurnost u izgradnji

Osiguranje sigurnosti u izgradnji predstavlja ključni aspekt na gradilištu i jedno od najvažnijih područja primjene VR tehnologije. Korištenjem VR sustava, omogućuje se učinkovita edukacija o sigurnosti na gradilištu tijekom gradnje. Ova tehnologija omogućuje radnicima da iskuse simulirane situacije potencijalnih nesreća, čime se povećava svijest o mogućim opasnostima i pravilnom postupanju u takvim situacijama. Sposobnost radnika da se virtualno suoče s rizicima omogućuje bolje razumijevanje sigurnosnih postupaka i sprječava neželjene događaje. Postoje mnoge VR aplikacije u području sigurnosti gradnje, te možemo definirati tri glavne domene primjene: identifikacija opasnosti, edukaciju i osposobljavanje o sigurnosti te sigurnosna inspekcija i upute. Nastavno u tablici 3.6 dani su primjeri i izazovi uporabe za kategoriju „sigurnost u izgradnji“. [9,18, 19]

| | |
|-----------------------------------|--|
| <p>VR PRIMJERI UPORABE</p> | <ul style="list-style-type: none"> • VR sustav za obuku o sigurnosti gradnje koji je učinkovitiji u održavanju pažnje i koncentracije polaznika u usporedbi s tradicionalnim obukama o sigurnosti gradnje. Kroz interaktivne simulacije i realistične scenarije, radnici mogu iskusiti različite situacije na gradilištu i naučiti kako pravilno reagirati na potencijalne rizike, čime se povećava svijest i osposobljava ih za sigurno obavljanje poslova. • VR platforma koja pomaže u procjeni percepcije rizika i |
|-----------------------------------|--|

| | |
|-----------------------|--|
| | <p>rizičnog ponašanja radnika, primjerice pri obavljanju zadataka na krovu građevine. Kroz simulacije, nadzornici i stručnjaci za sigurnost mogu promatrati kako radnici reagiraju na različite situacije i identificirati potencijalne nedostatke u njihovom ponašanju kako bi se pravovremeno poduzelo mjere za sprječavanje nezgoda.</p> |
| <p>IZAZOVI</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Nedostatak prilagođenog hardvera što može predstavljati ograničenje u primjeni VR tehnologije na gradilištu. Potrebni su prikladni i otporni VR uređaji koji mogu izdržati teške uvjete gradilišta i pružiti pouzdano iskustvo radnicima. • Nedostatak interoperabilnosti među sustavima može predstavljati izazov u razmjeni podataka između različitih VR platformi i postojećih sustava za sigurnost. Integracija različitih sustava i softvera može biti složena, što može otežati učinkovitu primjenu VR tehnologije u području sigurnosti gradnje • Nedostatak standardizirane evaluacije ograničava učinkovitost VR-a za sigurnost gradnje. Postizanje standardiziranih metoda za procjenu učinkovitosti i uspješnosti VR aplikacija za sigurnost na gradilištu ključno je kako bi se osiguralo da ova tehnologija stvarno pridonosi poboljšanju sigurnosti i smanjenju rizika na gradilištu. |

Tablica 3.6 Sigurnost u izgradnji

3.4.4. Operativna podrška

VR se uglavnom usredotočuje na tele-operaciju građevinske opreme, kako bi npr. vozači građevinskih strojeva mogu upravljati opremom iz sigurnog i udaljenog okruženja. Ovo pomaže u poboljšanju preciznosti i učinkovitosti operacija, osobito u situacijama gdje radnik ne može biti fizički prisutan na mjestu rada. Nastavno u tablici 3.7 dani su primjeri i izazovi uporabe za kategoriju „operativna podrška“. [9,20,21]

| | |
|-----------------------------------|--|
| <p>VR PRIMJERI UPORABE</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Primjena građevinskih robota s implantiranim VR sustavom koji rade na mjestima katastrofa i ekstremnim okruženjima, te na zadacima rušenja. Ova tehnologija omogućuje sigurniju i učinkovitiju izvedbu radnih zadataka na opasnim ili teško dostupnim mjestima. |
| <p>IZAZOVI</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Visoka ulaganja u opremu i obuku kvalificiranog osoblja. Implementacija VR tehnologije zahtijeva financijska sredstva i stručnost kako bi se osigurala ispravna primjena. • Nedostatak sigurnosno odobrenog hardvera. Korištenje VR tehnologije u konstrukcijskim i operativnim okruženjima zahtijeva odgovarajuće certifikacije i sigurnosne odobrenja. • Potencijalni ograničen pristup internetu. U nekim udaljenim ili izoliranim područjima može biti izazovno osigurati stabilan pristup internetu, što može utjecati na pouzdanost i funkcionalnost VR sustava. • Poteškoće arhiviranja VR izlaznih formata. Očuvanje VR projekata za kasniji pregled ili analizu može biti izazov, posebno s obzirom na raznolike formate i veličine podataka. • VR teleoperacijski sustavi, iako povećavaju sigurnost, mogu smanjiti učinkovitost jer operatorima treba znatno više vremena za obavljanje istih zadataka u virtualnom okruženju u odnosu na stvarni svijet. |

Tablica 3.7 Operativna podrška

3.5. Upravljanje i marketing

Virtualna stvarnost (VR) ima značajan potencijal za upravljanje i marketing na području arhitekture i graditeljstva, pružajući inovativne načine unapređenja poslovnih procesa. Jedna od ključnih prednosti VR-a je mogućnost daljinskog upravljanja objektima u imerzivnom okruženju, što donosi brojne koristi.

U kontekstu upravljanja objektima, VR tehnologija omogućuje terenskim radnicima da virtualno istraže i nadziru objekte, bez obzira na njihovu fizičku lokaciju. Također, uz pomoć VR tehnologije udaljeni terenski i uredski radnici mogu surađivati u virtualnom okruženju, razmjenjivati ideje te analizirati podatke. S aspekta marketinga, VR može svojim potrošačima pružiti virtualne ture kroz svoje objekte. Nastavno u tablici 3.8. dani su primjeri i izazovi uporabe za kategoriju „upravljanje i marketing“. [9, 22, 23,24]

| | |
|--------------------------------|---|
| VR PRIMJERI UPORABE | <ul style="list-style-type: none">• VR sustavi omogućuju upravljanje objektima na daljinu putem imerzivnog virtualnog okruženja. Koristeći VR tehnologiju, terenski radnici i stručnjaci mogu pregledavati i kontrolirati različite aspekte objekata, uključujući sustave upravljanja zgradama• VR sustavi s više korisnika omogućuju suradnju i istovremeni rad s različitim stručnjacima koji se nalaze na udaljenim lokacijama. Putem ovakvih VR platformi, stručnjaci mogu virtualno pregledavati isti objekt u realnom vremenu, dijeliti informacije i raspravljati o potrebnim akcijama.• Virtualna stvarnost (VR) koristi se za simulaciju preciznijih scenarija katastrofa kako bi se unaprijed procijenili rizici i pripremili za hitne situacije. Posebno, u kontekstu evakuacije u uvjetima izvanrednog požara, VR tehnologija omogućuje stvaranje realističnih simulacija zatvorenih prostora. Sudionici mogu virtualno doživjeti takve hitne situacije i donijeti bolje odluke u vezi s protokolima evakuacije i postupcima spašavanja. Kroz VR simulacije, stručnjaci i osoblje mogu vježbati različite evakuacijske strategije i testirati |
|--------------------------------|---|

| | |
|-----------------------|--|
| | <p>učinkovitost izlaza, pružajući dragocjene informacije za povećanje sigurnosti i smanjenje rizika od ozljeda i gubitaka života.</p> <ul style="list-style-type: none"> • VR sustavi se mogu koristiti za procjenu razine pripravnosti za evakuaciju zgrada tijekom potresa. Ova tehnologija omogućuje izradu simulacija potresa u različitim scenarijima, što omogućuje testiranje i evaluaciju reakcija ljudi na potresne uvjete. |
| <p>IZAZOVI</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Nedostatak integracije s drugim sustavima upravljanja objektima: VR tehnologija može funkcionirati kao samostalni sustav, što može predstavljati izazov u integraciji s postojećim sustavima upravljanja objektima. Potrebna je dobra interoperabilnost kako bi se omogućilo učinkovito prenošenje podataka i integracija s drugim sustavima kako bi se postigla potpuna funkcionalnost i efikasnost. • Poteškoće u arhiviranju i preispitivanju VR iskustava: VR omogućuje stvaranje bogatih i složenih iskustava koja sadrže veliku količinu podataka. Arhiviranje i preispitivanje tih iskustava može biti izazovno, posebno ako se radi o velikim projektima. Potrebni su odgovarajući sustavi za pohranu i organizaciju VR sadržaja kako bi se omogućilo lakše pretraživanje, analiziranje i ponovno korištenje. |

Tablica 3.8 Upravljanje i marketing

3.6. Osposobljavanje i edukacija

Virtualna stvarnost (VR) pruža realistične scenarije u kojima korisnici mogu stjecati znanja i vještine izvođenjem simulacija stvarnih aktivnosti umjesto samo temeljem općih znanja iz knjiga. Ova tehnologija ima značajan potencijal u području osposobljavanja i edukacije, jer omogućuje praktično iskustvo u kontroliranim virtualnim okruženjima. Jedna od ključnih prednosti VR-a u edukaciji je smanjenje troškova obuke. Putem VR simulacija, korisnici mogu

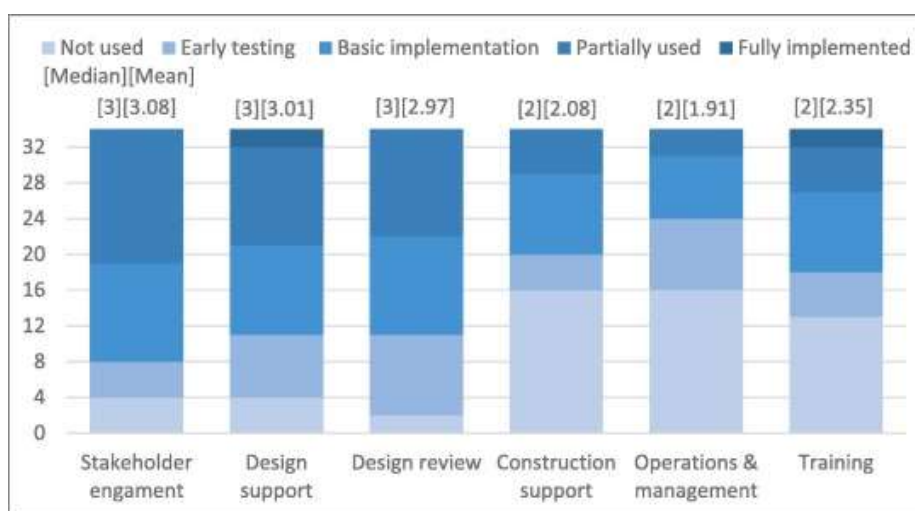
trenirati i stjecati vještine bez potrebe za korištenjem skupih stvarnih resursa ili opreme. Također, VR simulacije omogućuju korisnicima da iskuse opasna okruženja ili situacije koje bi bile preopasne za stvarno obučavanje. Na primjer, vatrogasci mogu vježbati gašenje požara u realističnom virtualnom prostoru, omogućujući im da steknu iskustvo i bolje se pripreme za stvarne hitne situacije. Pored toga, VR može smanjiti putne troškove povezane s obukom, jer korisnici mogu pristupiti virtualnim lekcijama i simulacijama iz bilo kojeg mjesta. To je osobito korisno za profesionalce koji žele nadograditi svoje vještine ili znanje, ali ne moraju putovati na fizičke lokacije za obuku. Nastavno u tablici 3.9 dani su primjeri i izazovi uporabe za kategoriju „osposobljavanje i edukacija“. [9, 25, 26]

| | |
|-----------------------------------|---|
| <p>VR PRIMJERI UPORABE</p> | <ul style="list-style-type: none"> • VR sustav za obuku operatera dizalica pruža vrlo koristan alat za obuku i stjecanje vještina upravljanja dizalicama. Ova tehnologija omogućuje operaterima da vježbaju i simuliraju rad s dizalicama u realističnom virtualnom okruženju bez potrebe za fizičkim prisustvom na stvarnoj lokaciji. • VR sustav za obuku radnika na održavanju i popravku građevinskih strojeva: Omogućuje radnicima da steknu vještine održavanja i popravka građevinskih strojeva putem VR simulacija, čime se smanjuje potreba za stvarnim strojevima za obuku. • VR sustav za sigurno uvježbavanje radnika u zadacima koji uključuju električne opasnosti: Pruža simulacije opasnih situacija s električnom energijom kako bi se radnici sigurno uvježbali za postupanje u takvim situacijama. • VR sustav pomaže u razumijevanju složenih metoda izgradnje mosta: Omogućuje inženjerima i studentima da bolje razumiju kompleksne metode i procese izgradnje mostova kroz realistične VR simulacije. • VR može pomoći studentima da razumiju složene prostorne aranžmane u strukturnom inženjerstvu te mogu preciznije identificirati i vizualizirati načine |
|-----------------------------------|---|

| | |
|----------------|---|
| | izvijanja konstrukcije |
| IZAZOVI | <ul style="list-style-type: none"> • Nedostatak stručnjaka za proizvodnju VR sadržaja: Izrada kvalitetnih VR simulacija za obuku zahtijeva stručnost u stvaranju i razvoju VR sadržaja, što može biti izazov zbog nedostatka iskusnih stručnjaka u tom području. • Nedostatak integracije s postojećim kvalifikacijskim standardima: Integracija VR tehnologije u postojeće obrazovne standarde može biti izazovna, jer zahtijeva usklađivanje s postojećim programima obuke i edukacije kako bi se osigurala valjanost i prepoznavanje postignuća korisnika. |

Tablica 3.9 Osposobljavanje i edukacija

3.7. Razine usvajanja VR tehnologije u arhitekturi i graditeljstvu



Slika 3.1 Razine usvajanja VR tehnologije po pojedinim kategorijama uporabe

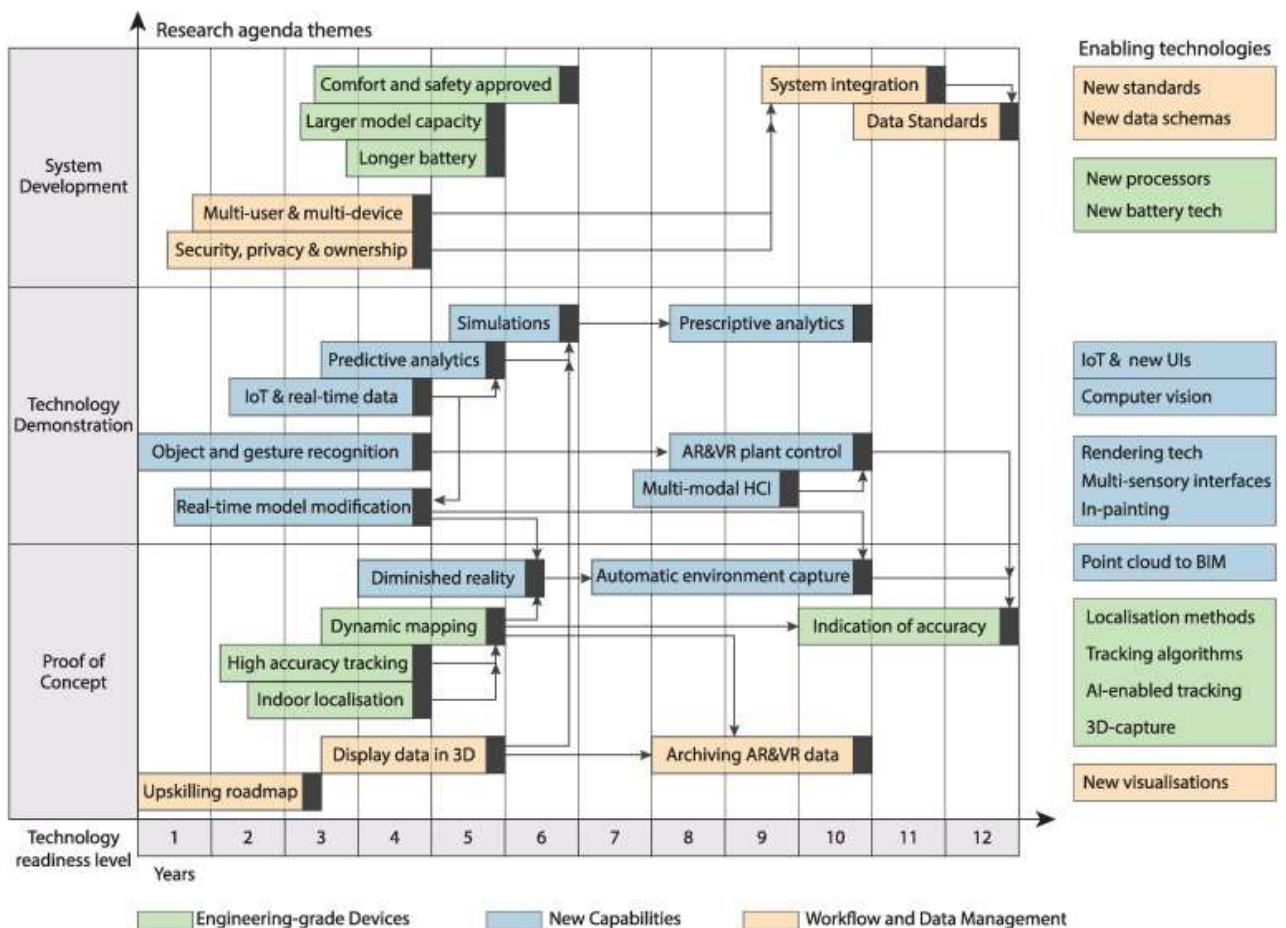
Slika 3.1 prikazuje razine usvajanja VR tehnologije u arhitekturi i graditeljstvu prema pojedinim kategorijama uporabe, odnosno koliko su tehnologije VR-a prihvaćene i primijenjene u tim kategorijama. Na temelju slike, možemo zaključiti sljedeće:

Angažman korisnika (Stakeholder engagement), podrška pri projektiranju (Design support) i analiza dizajna (Design review) imaju najvišu razinu usvajanja s prosječnom vrijednošću 3, što znači da su najviše prihvaćene i primijenjene kategorije. Primjena VR tehnologije u ovim

kategorijama ukazuje na to da se VR koristi za poboljšanje interakcije s korisnicima, optimizaciju projektnih procesa i analizu prostornih dizajna. [9]

3.8. Program istraživanja

Prema [9] predloženi istraživački program ima za cilj poboljšati usvajanje tehnologija virtualne stvarnosti (VR) na području arhitekture i graditeljstva. Program se sastoji od tri kategorije istraživanja: (1) uređaji inženjerske kvalitete, (2) Tijek rada i upravljanja podacima i (3) nove mogućnosti primjene. Nastavno su detaljno objašnjene pojedine istraživačke kategorije



Slika 3.2 Istraživački program

Uređaji inženjerske kvalitete: Ova kategorija istraživanja fokusira se na razvoj i unapređenje VR uređaja koji su posebno prilagođeni potrebama inženjerskog sektora. To uključuje istraživanje naprednih VR tehnologija, poboljšanje kvalitete prikaza, ergonomiju uređaja te povećanje preciznosti i pouzdanosti VR sustava u arhitektonskim i graditeljskim aplikacijama.

Tijek rada i upravljanje podacima: Ova kategorija istraživanja usredotočuje se na razvoj boljih praksi za integraciju VR tehnologije u radne procese arhitekata, inženjera i graditelja. To uključuje istraživanje kako optimalno koristiti VR u projektiranju, analizi dizajna, upravljanju građevinskim projektima te kako učinkovito upravljati velikim količinama podataka koje generira VR tehnologija.

Nove mogućnosti primjene: Ova kategorija istraživanja istražuje nove i inovativne načine primjene VR tehnologije u arhitekturi i graditeljstvu. To uključuje istraživanje kako VR može poboljšati sudjelovanje korisnika u projektiranju, simuliranje građevinskih procesa, poboljšati obuku i osposobljavanje te kako integrirati VR u marketinške strategije građevinskih projekata.

Slika 3.2 prikazuje mapiranje predloženog istraživačkog programa s obzirom na vremenske potrebe i tehnološku spremnost istraživanja. Istraživačke teme su raspoređene na osnovi stupnja zrelosti tehnologije, s ciljem da se istraživanja fokusiraju na teme koje zahtijevaju više istraživanja i dokaza koncepta kako bi se VR tehnologija bolje prilagodila industriji, ali i na teme koje su bliže komercijalnoj primjeni i zahtijevaju manje istraživanja, ali više razvoja kako bi se riješili preostali nedostaci.

Studija ukazuje na to da, iako VR tehnologija ima značajan potencijal za primjenu na području arhitekture i graditeljstva, još uvijek postoje izazovi i nedostaci koji zahtijevaju daljnja istraživanja i razvoj kako bi se osiguralo potpuno usvajanje tehnologije.

3.9. Primjeri primjene VR-a u arhitekturi i graditeljstvu

Sve veće usvajanje tehnologije virtualne stvarnosti u arhitekturi ima potencijal revolucionirati način na koji profesionalci dizajniraju, surađuju i komuniciraju. S napredovanjem VR-a, arhitekti pronalaze nove načine za iskorištavanje njegovog potencijala, što rezultira učinkovitijim procesima projektiranja, dizajniranja i planiranja gradnje. Prihvatanjem virtualne stvarnosti u arhitektonskoj i građevinskoj industriji otvaraju se vrata budućnosti u kojoj će tehnologija i kreativnost neprimjetno biti integrirane, što će transformirati izgrađeno okruženje na bolje. U nastavku su navedeni konkretni primjeri uspješne primjene VR-a u arhitekturi i graditeljstvu.

3.9.1. Vizualizacija koncepta

Arhitekti koriste VR za stvaranje imerzivnih okruženja, što im pomaže da klijentima bolje predoče i vizualiziraju predložene koncepte dizajna. Konkretno, tvrtka **"Zaha Hadid Architects"** iz Londona koristila je VR tehnologiju u procesu projektiranja stambene zgrade "520 West 28th Street" u New Yorku. Korištenjem VR-a, arhitekti su stvorili imerzivno okruženje koje je omogućilo klijentima da dožive predložene dizajnerske koncepte na realističan način. Klijenti su tako imali priliku virtualno prošetati kroz zgradu, istražiti njezine prostorije i doživjeti vizualni dojam prije nego što je izgradnja započela. Ovaj imerzivni pristup omogućuje bolje razumijevanje i interpretaciju dizajnerskih rješenja te olakšava suradnju između arhitekata i klijenata. Zgrada "520 West 28th Street" postala je prepoznata i proglašena zgradom godine 2016., što jasno ukazuje na uspješnost ovog projekta. [58, 72]

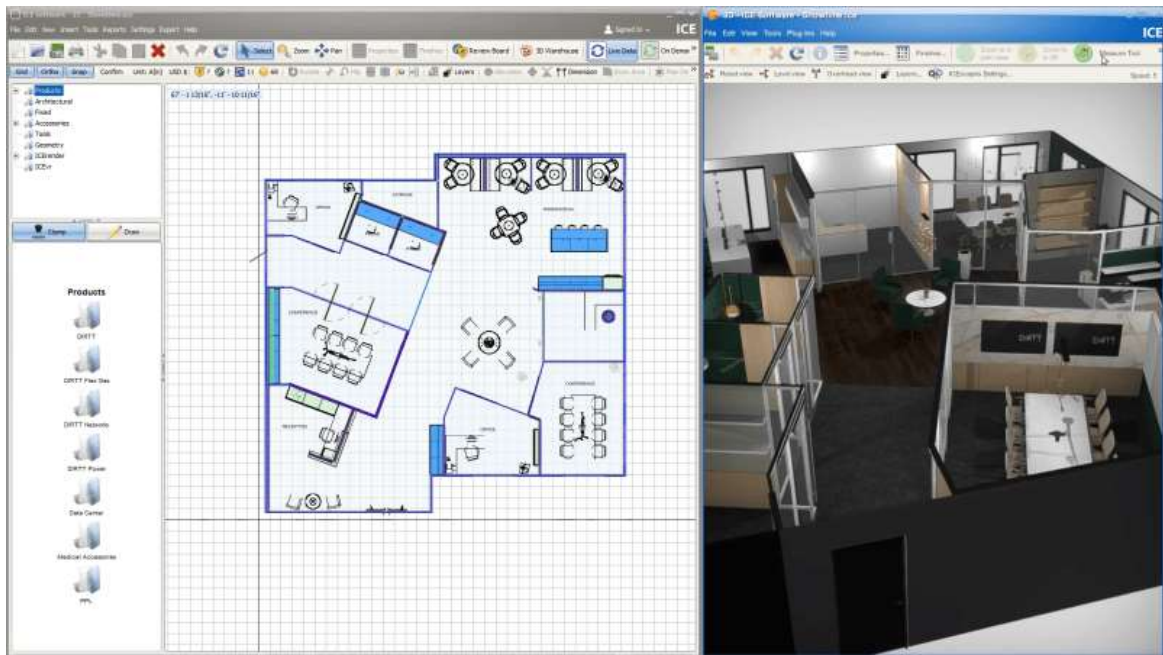


Slika 3.3 Prikaz scene virtualne stvarnosti zgrade „520 West 28th Street“ u New Yorku

3.9.2. Uređenje interijera

VR tehnologija omogućuje arhitektima i dizajnerima interijera potpuno imerzivno iskustvo u planiranju i vizualizaciji unutarnjih prostora. Jedan primjer dobre prakse u primjeni VR-a u uređenju interijera dolazi od tvrtke **DIRTT Environmental Solutions**. Ova tvrtka koja se bavi industrijskim dizajnom interijera koristi VR tehnologiju u svom softveru nazvanom ICEreality. Pomoću **ICEreality** softvera, dizajneri mogu stvarati, mijenjati i vizualizirati unutarnje prostorije u potpuno imerzivnom okruženju. Predmetni alat omogućuje postavljanje namještaja, odabir materijala i detaljno planiranje prostora kako bi klijenti mogli dobiti realističan uvid u to kako će izgledati njihovi budući interijeri. Ovaj primjer jasno pokazuje kako VR tehnologija

može poboljšati industriju dizajna interijera i transformirati način na koji arhitekti i dizajneri rade i komuniciraju s klijentima. [59, 72]



Slika 3.4 2D i 3D prikazi ICReality softvera za VR

3.9.3. Virtualni vodiči

Virtualni vodiči su još jedan zanimljiv primjer primjene VR tehnologije u arhitekturi. VR omogućuje arhitektima stvaranje interaktivnih vodiča koji pružaju klijentima i dionicima realističan doživljaj prostora prije samog početka izgradnje. Kroz takve vodiče, arhitekti mogu detaljno predložiti svoje projekte, kako bi klijenti bolje razumjeli dizajn i ambijent koji će biti ostvareni. Primjer *tvrtke "Foster + Partners"* koja je koristila VR tehnologiju kako bi stvorila detaljan vodič za *sjedište Bloomberg u Londonu* pokazuje koliko je VR postao važan alat u komunikaciji, planiranju i vizualizaciji arhitektonskih projekata. Bloomberg LP je privatna financijska, softverska, podatkovna i medijska tvrtka. Korištenje VR tehnologije u ovom projektu omogućilo je arhitektima stvaranje uvjerljivih prezentacija svojih projekata, što je zauzvrat pomoglo klijentima da donose odluke s većim razumijevanjem i da bolje sudjeluju u cijelom procesu dizajna. [60, 72]

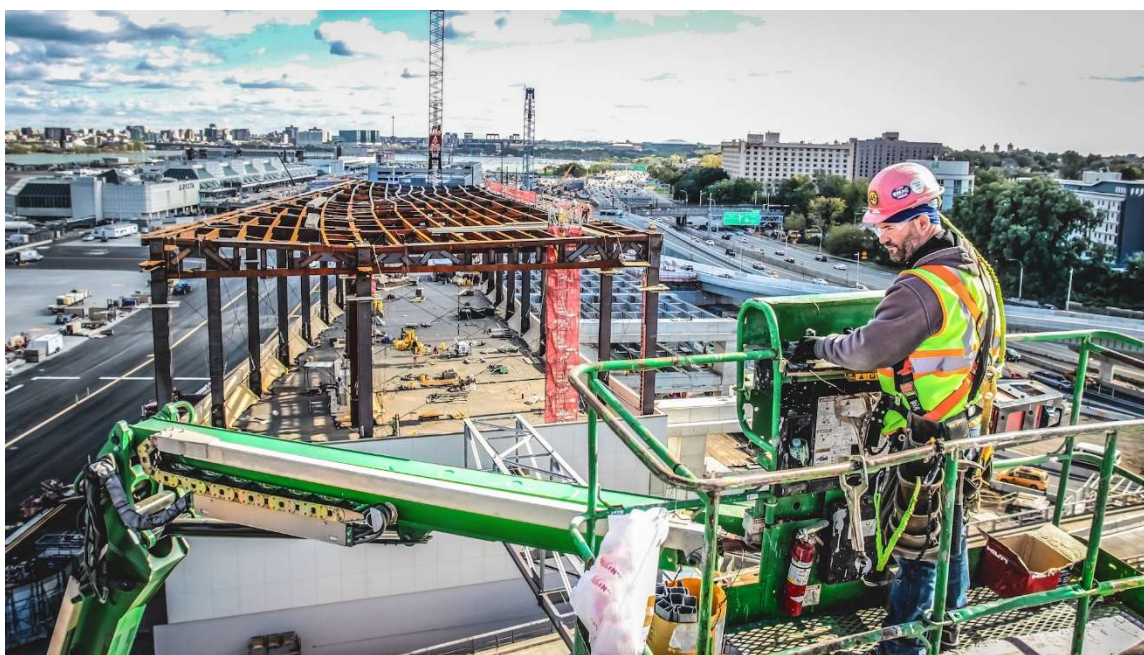


Slika 3.5 3D prikaz scene interaktivnog vodiča

3.9.4. Planiranje i sigurnost gradnje

"VR (Virtual Reality) tehnologija ima veliki potencijal u građevinskoj industriji jer omogućuje realistično i interaktivno simuliranje građevinskih procesa prije nego što se fizički krene u izgradnju. Primjena VR-a može značajno poboljšati učinkovitost, smanjiti rizike i troškove te omogućiti bolje razumijevanje kompleksnih projekata.

U primjeru s tvrtkom *"Skanska Construction"* iz Švedske, VR tehnologija je korištena pri izgradnji *centralnog terminala B zračne luke "LaGuardia" u New Yorku*. Rekonstrukcija jedne od najprometnijih zračnih luka u svijetu započela je 2016. godine i bila je jedan od najsloženijih projekata koje je „Skanska“ ikada imala. Višefazni plan omogućio je temeljnu izgradnju potpuno novog terminala na maloj geografskoj površini, sve bez ometanja rada postojećeg objekta. Prema planu, stari objekti su se rušili tek po dovršenju novih objekata kako bi se osigurao neometan rad zračne luke. Implementacija VR-a omogućila je testiranje različitih planova gradilišta i identifikaciju potencijalnih opasnosti prije početka stvarne gradnje. Tako, tim za izgradnju mogao je simulirati kako će se novi terminal uklopiti na postojećem zračnom prostoru te su mogli unaprijed identificirati i riješiti eventualne probleme. Korištenje novih tehnologija poput laserskog skeniranja, fotogrametrije i fotografija visoke razlučivosti od 360 stupnjeva omogućilo je prikupljanje preciznih i vrijednih podataka potrebnih za izradu 3D modela i planiranje izgradnje. Zračna luka „LaGuardia“ uspješno je otvorena 2022. godine. [61, 72]



Slika 3.6 Rekonstrukcija zračne luke "LaGuardia" u New Yorku, 2019. godina

3.9.5. Urbanističko planiranje i krajobrazno uređenje

Urbanističko planiranje i krajobrazno uređenje igraju ključnu ulogu u oblikovanju gradova i prostora u kojima živimo. U suvremenom dobu, Virtualna stvarnost (VR) postaje moćan alat koji se koristi za vizualizaciju i analizu prijedloga urbanog dizajna i njihovog utjecaja na okoliš.

Grad Helsinki, u Finskoj, predstavlja primjer uspješne primjene VR tehnologije u urbanističkom planiranju. Korištenjem VR-a, grad je stvorio digitalnog blizanca svog grada. *Digitalni blizanac* predstavlja virtualni prikaz stvarnih fizičkih objekata i prostora, omogućujući detaljnu i realističnu simulaciju urbanog dizajna. Zahvaljujući digitalnim blizancima, planeri urbane arhitekture u Helsinkiju mogu simulirati različite scenarije urbanog razvoja i analizirati njihove učinke na okoliš, promet, infrastrukturu i gradski krajolik i tako donositi bolje odluke. Grad Helsinki prednjači u korištenju digitalnih blizanaca u urbanističkom planiranju već trideset godina. Aktivno koristeći 3D mapiranje gradova i kasnije, digitalne blizance u punoj veličini, grad kontinuirano radi na smanjenju emisije ugljika, poboljšanju gradskih infrastruktura i usluga te promicanju inovativnog razvoja prostora. [62, 72]



Slika 3.7 Digitalni blizanac grada Helsinski

3.9.6. Sudjelovanje i angažman javnosti

Virtualna stvarnost (VR) pruža izvanredne mogućnosti za uključivanje javnosti za u procese dizajniranja te u interaktivne izložbe i prezentacije.

Projekt "*Serpentine Galleries*" u Londonu pruža sjajan primjer uspješne primjene VR-a kako bi se omogućilo sudjelovanje šire javnosti. Svake godine, "Serpentine Galleries" naručuje cijenjenog međunarodnog arhitekta da dizajnira privremeni paviljon za njihov galerijski prostor. Taj paviljon zatim bude otvoren za javnost tijekom ljeta u Kensington Gardensa u Londonu. Osim što obično sadrži kafić, paviljon također nudi program umjetničkih, arhitektonskih, glazbenih, filmskih i plesnih događanja. U 2018. godini, paviljon Serpentine je dizajnirala Frida Escobedo, a ono što ga je učinilo posebnim bio je njegov interaktivni pristup zahvaljujući VR tehnologiji. Interaktivna VR instalacija je omogućila javnosti da se uključi u sam proces dizajniranja putem virtualne ture od 360 stupnjeva. Tako, posjetitelji su mogli prošetati kroz virtualni paviljon, dobiti realističan dojam prostora te pružiti povratne informacije i prijedloge. Paviljon Serpentine spada u jedan je od deset najposjećenijih arhitektonskih i dizajnerskih izložbi u svijetu. Ovakvi primjeri pokazuju kako VR može biti snažan alat za sudjelovanje i angažman javnosti u umjetnosti, arhitekturi i dizajnu. [63, 72]



Slika 3.8 Paviljon Serpentine, 2018

3.9.7. Arhitektonsko obrazovanje i osposobljavanje

VR tehnologija ima potencijal da revolucionizira arhitektonsko obrazovanje i osposobljavanje, pružajući studentima jedinstveno i praktično iskustvo učenja. Uključivanje VR-a u nastavni kurikulum arhitektonskog učenja omogućuje studentima da se na "praktičan" način bave dizajnom, materijalima i tehnikama gradnje. Kroz VR iskustvo, studenti bolje razumiju strukturu građevine jer im se omogućuje uranjanje u sam proces projektiranja. Arhitektura, koja ima složen dizajn, ne može se potpuno doživjeti kroz fotografiju; VR pruža mogućnost istraživanja i doživljavanja svih aspekata dizajna na mnogo dubljem nivou. Osim toga, VR pruža mogućnost dobivanja pogleda koji bi bili nemogući u stvarnom životu, kao što je pogled iz ptičje perspektive na toranj ili drugi element građevine.

Mnoge ugledne obrazovne institucije već su uključile VR tehnologiju u svoj kurikulum arhitektonskog učenja kako bi unaprijedile iskustvo studenata i pripremile ih za budućnost arhitekture:

- *Koledž dizajna Sveučilišta u Minnesoti* implementirao je VR tehnologiju u svoj kurikulum, pružajući studentima imerzivno okruženje za učenje i razvoj njihovih dizajnerskih vještina.
- *Sveučilište u Parizu "Val De Marne"* uključilo je nastavni kurikulum arhitekture poučavanje uz pomoć CAVE VR tehnologije. CAVE (Cave Automatic Virtual

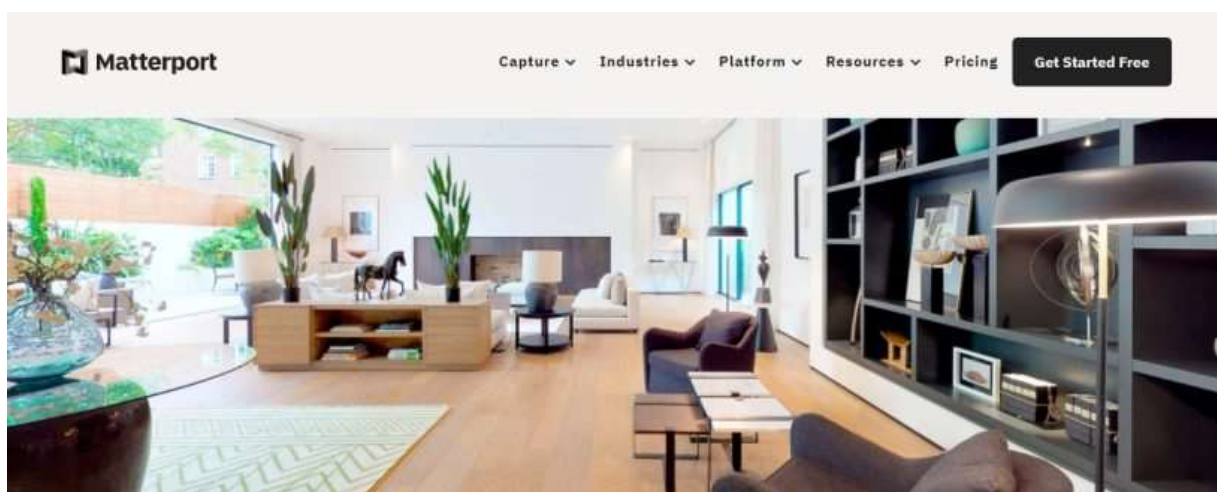
Environment) sustav omogućuje studentima interaktivno sudjelovanje u virtualnom prostoru, gdje mogu istraživati različite arhitektonske koncepte i scenarije.

- **Sveučilište u Białystoku u Poljskoj** dizajniralo je virtualne gradove i neovisne zgrade kako bi studenti detaljno razumjeli urbanu arhitekturu. Kroz VR tehnologiju, studenti mogu istraživati kompleksne gradske prostorne raspone, razumjeti urbanu morfologiju i analizirati utjecaj urbanog dizajna na život i okoliš. [64, 72]

3.9.8. Marketing nekretnina

U području marketinga nekretnina, VR tehnologija ima značajan utjecaj jer omogućuje stvaranje visokokvalitetnih virtualnih tura i imerzivnih iskustava za potencijalne kupce. Ovo je posebno važno u situacijama gdje fizički posjet nekretnini može biti težak ili nemoguć, kao što je to slučaj s međunarodnim kupcima ili tijekom pandemija kada su putovanja ograničena.

Platforme poput **Matterporta i VR Globala** omogućuju stručnjacima za nekretnine da brzo i jednostavno stvore virtualne obilaske nekretnina. Koristeći VR tehnologiju, potencijalni kupci mogu interaktivno istraživati prostor, "prošetati" kroz nekretninu, istraživati sobe i prostorije, te dobiti realističan dojam prostora kao da su fizički prisutni. Dokazano je da agenti za nekretnine koji koriste VR tehnologiju za stvaranje zanimljivih virtualnih obilazaka imaju konkurentsku prednost. Ova tehnologija privlači više pažnje potencijalnih kupaca i povećava vjerojatnost da će se zainteresirati za nekretninu. [65, 72]

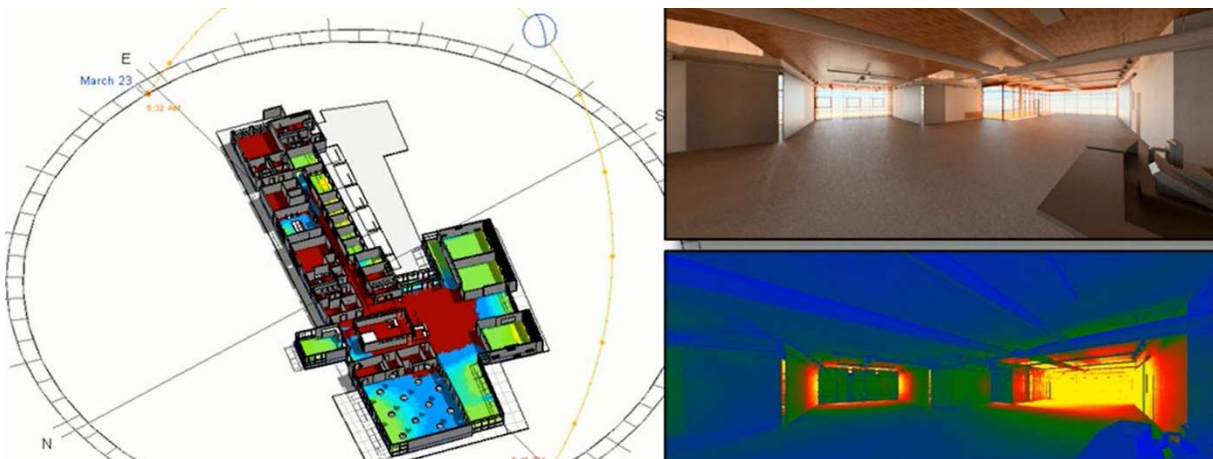


Slika 3.9 Matterport – platforma za virtualni obilazak nekretnine

3.9.9. Energetska analiza zgrade

VR tehnologija može imati veliki potencijal u analizi energetske učinkovitosti zgrada, što je od iznimne važnosti u postizanju održivih i ekološki prihvatljivih građevinskih projekata. Korištenje VR-a u analizi energetske učinkovitosti pruža arhitektima i inženjerima precizne i detaljne informacije o različitim aspektima energetske potrošnje zgrade.

Autodeskova platforma Insight je izvrstan primjer kako se VR tehnologija može integrirati s alatima za analizu performansi zgrada. Ova platforma omogućuje izradu virtualnih simulacija i eksperimenata s različitim dizajnerskim opcijama kako bi se identificirale najučinkovitije strategije održivog dizajna. Tako, arhitekti i inženjeri mogu unaprijed procijeniti energetske učinkovitost zgrade prije nego što se krene u fizičku izgradnju, što može rezultirati smanjenjem potrošnje energije, smanjenjem emisija stakleničkih plinova i boljim iskorištavanjem resursa. Primjer koji ilustrira važnost energetske analize u stvarnim projektima je novo azijsko-pacifičko sjedište tvrtke **Johnson Controls u Šangaju**. Ova zgrada je prva trostruko certificirana zelena zgrada u Kini, što potvrđuje njezinu iznimnu energetske učinkovitost i održivost. Pri projektiranju ove zgrade, Johnson Controls je koristio Insight alat za energetske analize temeljen na oblaku, u suradnji s Revit softverom za 3D modeliranje i aplikacijom za 3D skiciranje FormIt. [66, 72]



Slika 3.10 Insight od Autodesk – platforma za energetske analize zgrade

3.9.10. Testiranje otpornosti na potres

VR tehnologija omogućuje arhitektima i inženjerima da provedu virtualne simulacije potresa na modelima zgrada, radi detaljne analize strukturne izdržljivosti i sigurnosti.

Tvrka „Thornton Tomasetti“ koristila je VR tehnologiju za analizu strukturnih performansi *Mercedes-Benz stadiona u Atlanti*. Provodeći virtualna testiranja, inženjeri su mogli identificirati potencijalne slabosti u dizajnu stadiona i optimizirati ga kako bi bio što otporniji na potres. Pomoću VR-a mogli su simulirati različite potresne scenarije, što je omogućilo preciznije proračune potrošnje materijala, što je dovelo do smanjenja troškova gradnje. [67, 72]

3.9.11. Testiranje akustike

VR tehnologija može biti korisna i u testiranju akustike zgrada. Pomoću VR-a, arhitekti i inženjeri mogu stvoriti audiovizualne simulacije akustičnih okruženja prije same izgradnje zgrade.

Primjer je *tvrtka Arup* koja je razvila alat pod nazivom *SoundLab*, koji omogućuje korisnicima da iskuse virtualno akustično okruženje zgrade. Kada korisnici iskuse ove virtualne simulacije, mogu pružiti povratne informacije o akustici prostora. Tako, arhitekti mogu prikupiti vrijedne povratne informacije od potencijalnih stanara ili korisnika zgrade kako bi bolje razumjeli akustične performanse i potrebe prostora. [68, 72]

3.9.12. Očuvanje kulturne baštine

VR tehnologija može se koristiti za povijesno očuvanje i rekonstrukciju značajne arhitekture, omogućujući korisnicima da virtualno istraže prošle periode i povijesne građevine.

Projekt *Virtualni Rim* je izvrstan primjer kako VR može rekreirati drevne gradove i omogućiti korisnicima da dožive bogatu povijest tih prostora. Kroz Virtualni Rim, korisnici mogu istražiti znamenitosti drevnog Rima, kao što su Rimski forum, Koloseum, carski forumi, carska palača, Panteon i mnoge druge građevine. Digitalna rekonstrukcija ovog obima zahtijeva veliku pažnju prema detaljima i vjernost prema povijesnim izvorima, što čini ovaj projekt iznimno vrijednim za obrazovanje i istraživanje. Studenti i nastavnici arhitekture, posebno antičke arhitekture, sada mogu koristiti ovu VR rekonstrukciju za učenje o starom Rimu na interaktivan i uzbudljiv način. Kroz ovakve projekte, VR tehnologija postaje iznimno vrijedan alat u edukaciji i promociji povijesnih i kulturnih spomenika, pružajući novi način za istraživanje prošlih civilizacija. [69, 72]



Slika 3.11 Virtualni Rim – VR aplikacija starog Rima

3.9.13. Pregled dizajna i angažman dionika

VR tehnologija ima potencijal u arhitektonskom dizajnu i projektiranju. Uvođenjem rendera i 3D modela u okruženje virtualne stvarnosti omogućuje se korisnicima, uključujući arhitekte i ne-arhitekte, da potpuno urone u virtualni prostor i dožive dizajn projekta na interaktivan način. To olakšava suradnju među dionicima projekta i pomaže u identificiranju potencijalnih problema i poboljšanja prije nego što se krene u stvarnu izvedbu.

Projekt rekonstrukcije srednje škole "Jefferson" u Los Angelesu, koji je izvela *arhitektonska tvrtka "HMC Architects"* koristeći VR tehnologiju, predstavlja odličan primjer kako ova tehnologija može biti izuzetno korisna u stvarnom svijetu arhitekture. Ovaj veliki i kompleksan projekt sastojao se od više od 50 rušenja postojećih objekata i zahtijevao je sveobuhvatnu modernizaciju, seizmičko jačanje konstrukcije, te nove izgradnje i poboljšanja na cijelom kampusu. Jedna od ključnih prednosti VR tehnologije bila je ta što je omogućila svim dionicima projekta, uključujući one koji nisu stručni za čitanje tradicionalnih 2D arhitektonskih nacрта, da aktivno sudjeluju u dizajniranju prostora. Kroz interaktivnost i imerzivnost VR okoline, dionici su mogli pružiti važne povratne informacije, razmijeniti ideje i surađivati na pronalaženju najboljih rješenja. Dodatno, upotreba VR tehnologije omogućila je dionicima projekta da identificiraju područja koja su predstavljala sigurnosne probleme ili nisu bila jasno shvaćena na tradicionalnim 2D nacrtima. [70]



Slika 3.12 VR prezentacija rekonstrukcije srednje škole „Jefferson“ u Los Angelosu

3.9.14. Suradnja i komunikacija

Korištenje VR tehnologije, poput *VR platforme „Hyperform“*, omogućuje potpunu suradnju i komunikaciju među arhitektima, dizajnerima i klijentima u zajedničkom virtualnom prostoru. Razvoj VR platforme „Hyperform“ od strane UNStudio, Squint/Opera i BIG donosi nove mogućnosti za suradnju diljem svijeta.

Uz „Hyperform“, sudionici projekta mogu potpuno uroniti u svoje virtualno 3D radno okruženje. Ova tehnologija omogućuje učitavanje slika mjesta, karata, raznih podataka i 3D modela, što pruža sveobuhvatan pregled projekta. Kroz interaktivno manipuliranje s maketama na virtualnom radnom stolu, korisnici mogu lako razumjeti prostorne odnose i vizualizirati različite dizajnerske koncepte. Jedna od ključnih prednosti Hyperforma je smanjenje potrebe za fizičkim putovanjem na sastanke. To omogućuje bržu komunikaciju i suradnju u realnom vremenu bez obzira na geografsku udaljenost. Kroz ovu VR platformu, donošenje dizajnerskih odluka postaje efikasnije, što pozitivno utječe na napredak projekta. Primjer korištenja Hyperforma za Bijenale arhitekture u Chicagu jasno pokazuje kako razni arhitektonski timovi mogu iskoristiti ovu tehnologiju za razvoj svojih dizajnerskih konceptata. [71, 72]



Slika 3.13 *Hyerform_VR platforma za suradnju (prikaz kadra)*

4. Istraživanje

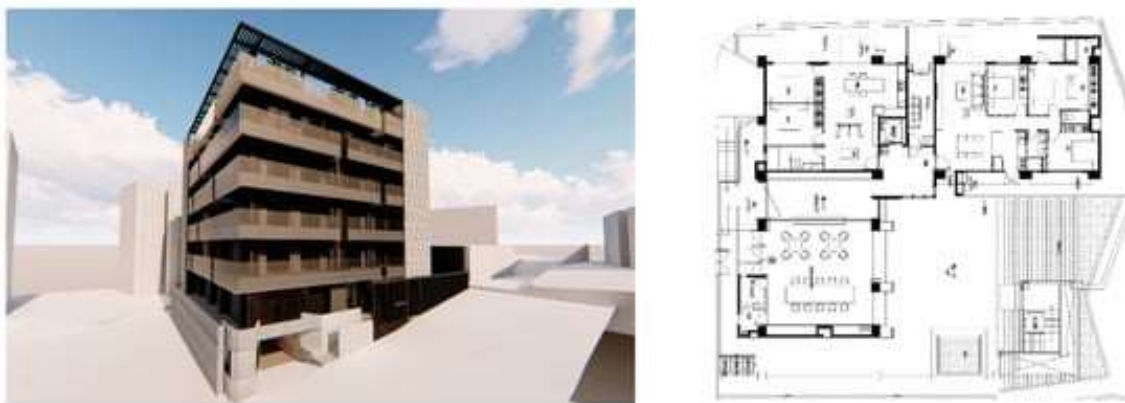
Prema [9] razlikujemo šest ključnih kategorija primjene VR-a u AEC sektorima. Te kategorije su: (1) angažiranje dionika, (2) podrška pri projektiranju, (3) pregled dizajna, (4) podrška pri izgradnji, (5) upravljanje i marketing te (6) obuka i osposobljavanje.

U ovom poglavlju detaljno je analizirano šest znanstvenih radova, pri čemu se svaki od njih fokusirao na jednu od ključnih kategorija primjene virtualne stvarnosti (VR) u arhitekturi i graditeljstvu. Glavni cilj analize bio je istražiti potencijal i učinkovitost VR tehnologije u svakoj od navedenih kategorija primjene, te isto tako proučiti izazove koji se javljaju pri njenom korištenju u ovim sektorima.

4.1. Znanstveni rad br. 1: Razvoj i procjena navigacijskog sustava temeljenog na virtualnoj stvarnosti za prodaju stanova u preprodaji (Eng. Developing and evaluating a virtual reality-based navigation system for pre-sale housing sales.)

Ovaj znanstveni rad usredotočuje se na ispitivanje primjene VR-a kao korisnog alata u kontekstu preprodaje stanova na Tajvanu. Cilj je istražiti i razviti navigacijski sustav temeljen na virtualnoj stvarnosti koji će potencijalnim kupcima omogućiti virtualno šetanje kroz nekretninu koja je još u fazi projektiranja. Kroz ovakav VR sustav, potencijalni kupci mogu doživjeti prostor, raspored prostorija, mogući pogled na okoliš te druge ključne karakteristike nekretnine prije nego što se odluče na kupnju. Kako bi provjerili učinkovitost razvijenog sustava, autori ovog rada koriste stvarni stambeni slučaj u preprodaji kao primjer. Za potrebe istraživanja, pozivaju 30 ispitanika koji će sudjelovati u usporedbi prezentacije nekretnina putem VR sustava i klasičnog načina prezentacije, koji uključuje korištenje 2D nacрта i arhitektonskih vizualizacija.

Eksperimentalni slučaj odnosi se na stvarnu stambenu zgradu smještenu u okrugu Shilin, Taipei. Zgrada ima ukupnu površinu od 963 m², a sastoji se od 2 podzemne i 5 nadzemnih etaža, koje uključuju 13 stambenih jedinica. *Slika 4.1.* prikazuje raspored 3D modela zgrade, koji će biti korišten za provedbu eksperimenta.



Slika 4.1 3D model stambene zgrade i karakteristična tlocrt

U ovoj studiji, korištene su bežične VR naočale Samsung GearVR, koje su uparene s mobilnim telefonom Samsung Galaxy S7 kako bi omogućile obradu i prijenos slike. Za izradu 3D modela stambene zgrade korišten je softver Sketchup, dok su za vizualizaciju i virtualni prikaz stambene zgrade korišteni softveri Lumion i Enscape. Softveri Lumion i Enscape omogućuju realistične vizualizacije i kreiranje fotorealističnih 3D modela okoline. U ovom istraživanju posebno je korištena funkcija "hodanja" u softveru Enscape, koja je omogućila potencijalnim kupcima da se virtualno prošetaju kroz unutrašnjost budućih stanova i istraže dvorište stambene zgrade. Ta funkcionalnost povećala je osjećaj prisutnosti i stvarnosti, što je poboljšalo njihovo iskustvo u virtualnom prostoru.



Slika 4.2 Prikaz scena virtualne stvarnosti (VR)

Autori ovog rada kako bi se utvrdili postoji li razlika između primjene VR sustava i općeg navigacijskog sustava pri preprodaji stanova predlažu 4 hipoteze:

H1: Postoji značajna razlika u perceptivnoj jednostavnosti korištenja između općeg navigacijskog sustava i VR navigacijskog sustava: Ova hipoteza sugerira da će sudionici percipirati VR navigacijski sustav kao jednostavniji za korištenje u usporedbi s općim navigacijskim sustavom. Perceptivna jednostavnost odnosi se na subjektivno iskustvo korisnika u korištenju tehnologije, a očekuje se da će VR tehnologija pružiti intuitivnije i privlačnije korisničko iskustvo, što će rezultirati većom percepcijom jednostavnosti u korištenju.

H2: Postoji značajna razlika u percipiranoj korisnosti između općeg navigacijskog sustava i VR navigacijskog sustava: Ova hipoteza istražuje percipiranu korisnost oba sustava. Očekuje se da će potencijalni kupci percipirati VR navigacijski sustav kao korisniji u usporedbi s općim navigacijskim sustavom. VR tehnologija pruža interaktivnost, realističnost i mogućnost virtualnog razgledavanja nekretnine, što bi moglo rezultirati pozitivnim dojmovima o korisnosti VR sustava u prezentaciji stanova u preprodaji.

H3: Postoji značajna razlika u odnosu korisnika između općeg navigacijskog sustava i VR navigacijskog sustava: Ova hipoteza istražuje emocionalnu reakciju i angažman korisnika prema oba sustava. Pretpostavlja se da će sudionici pokazivati veći interes, angažman i pozitivne emocije prema VR navigacijskom sustavu u usporedbi s općim navigacijskim sustavom. VR tehnologija ima potencijal da potakne emocionalne reakcije korisnika, što može poboljšati njihovo ukupno iskustvo prilikom istraživanja nekretnine.

H4: Postoji značajna razlika u namjeri korisnika da koriste između općeg navigacijskog sustava i VR navigacijskog sustava: Ova hipoteza istražuje namjeru sudionika da koriste jedan ili drugi sustav u budućnosti. Očekuje se da će sudionici izraziti veću namjeru za korištenje VR navigacijskog sustava u budućnosti u usporedbi s općim navigacijskim sustavom. Pozitivno iskustvo i percipirana korisnost VR tehnologije mogu povećati sklonost sudionika prema korištenju VR sustava za istraživanje i prezentaciju nekretnina u preprodaji.

Percipirana korisnost odnosi se na to koliko sudionici vjeruju da će korištenje VR sustava ili općeg navigacijskog sustava unaprijediti njihovu radnu učinkovitost i olakšati proces istraživanja nekretnina. Ako sudionici dožive VR sustav kao korisniji u

odnosu na opći navigacijski sustav, to će pozitivno utjecati na njihovu percepciju vrijednosti VR tehnologije i povećati vjerojatnost da će preferirati VR sustav za buduće prezentacije nekretnina.

S druge strane, *perceptivna jednostavnost* korištenja odnosi se na to koliko sudionici percipiraju VR sustav ili opći navigacijski sustav kao jednostavne za upotrebu. Ako sudionici dožive VR sustav kao jednostavniji za korištenje, to će povećati njihov osjećaj samopouzdanja i sigurnosti u rukovanju tehnologijom, što može rezultirati pozitivnim stavom prema VR sustavu i većom namjerom korištenja u budućnosti.

Uz to, istraživanje emocionalne reakcije i angažmana korisnika prema oba sustava (H3) može pružiti dodatne uvide u njihovu ukupnu reakciju i zadovoljstvo prilikom korištenja VR sustava i općeg navigacijskog sustava. Pozitivne emocionalne reakcije i veći angažman mogu povećati interes i privlačnost VR tehnologije kod sudionika.

Konačno, analizom namjere korisnika da koriste jedan ili drugi sustav u budućnosti (H4), istraživači će dobiti uvide u dugoročnu preferenciju sudionika za VR sustavom ili općim navigacijskim sustavom. Ako sudionici izraze veću namjeru za korištenje VR sustava u budućnosti, to bi moglo ukazivati na dugoročnu vrijednost i primjenu VR tehnologije u industriji nekretnina.

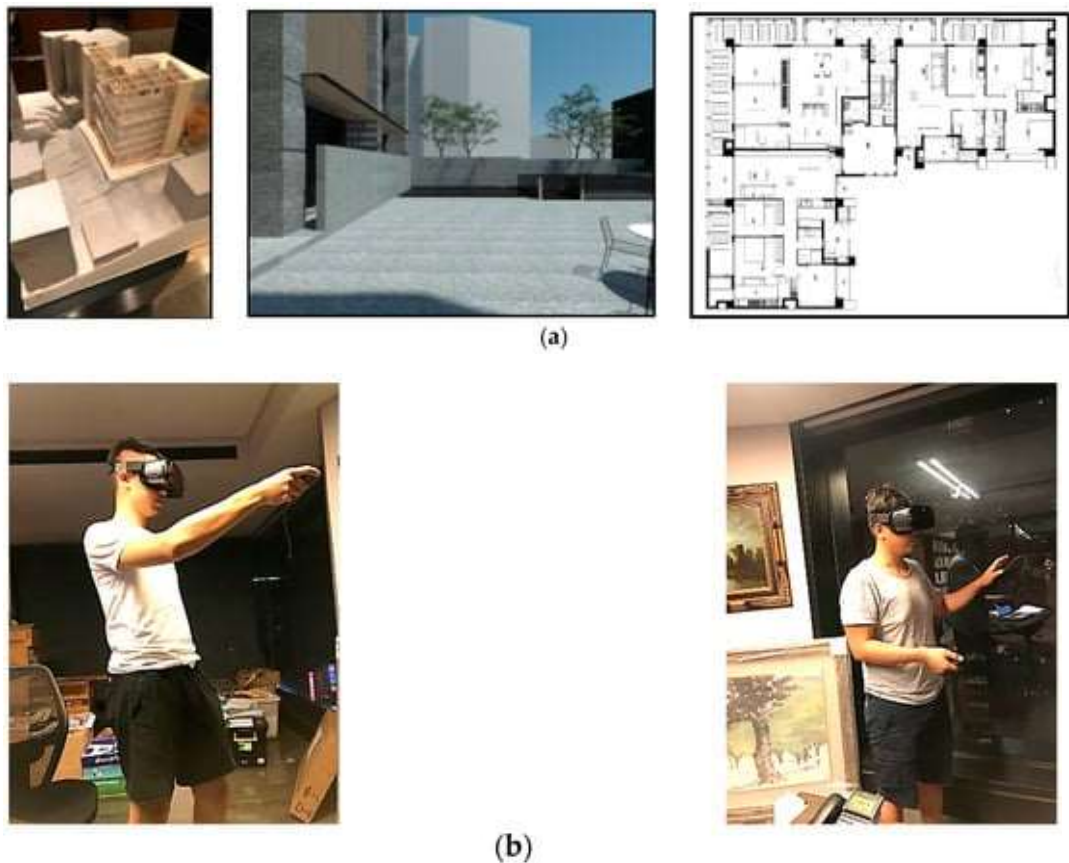
Eksperiment u ovom istraživanju proveden je metodom slučajnog uzorkovanja, gdje su izabrana 30 potencijalnih kupaca stanova u preprodaji. Od ukupno trideset ispitanika koji su sudjelovali u istraživanju, devetnaest ispitanika bilo je muškog roda, dok je jedanaest ispitanika bilo ženskog roda. Svi sudionici bili su u dobi od 20 do 40 godina. Eksperiment je podijeljen na *dvije faze: pretestiranje (testiranje općeg navigacijskog sustava) i posttestiranje (testiranje VR sustava)*.

Prva faza, *pretestiranje*, sastojala se od prezentacije predmetne nekretnine putem općeg navigacijskog sustava. Agent za prodaju nekretnina upoznao je ispitanike s predmetnom nekretninom kroz 2D nacрте, 3D modele te 3D vizualizaciju modela. Ova faza trajala je petnaest minuta, tijekom kojih su sudionici imali priliku istražiti i dobiti uvid u prostor predmetne nekretnine na temelju klasičnih načina prezentacije.

Nakon deset dana, ispitanici su prošli drugu fazu testiranja, *posttestiranje*, gdje je predmetna nekretnina prezentirana pomoću VR sustava. Ova faza također je trajala petnaest minuta, a VR sustav omogućio je sudionicima da virtualno prošetaju kroz unutrašnjost budućih stanova i istraže dvorište stambene zgrade. Ovaj interaktivni

pristup omogućio je potencijalnim kupcima da dožive prostor, raspored prostorija i druge karakteristike nekretnine na realističan način.

Nakon završetka svake faze testiranja, ispitanici su popunili upitnike koji su sadržavali pitanja vezana za njihove dojmove, zadovoljstvo, percepciju korisnosti i jednostavnosti korištenja oba sustava, te njihovu namjeru korištenja VR tehnologije u budućnosti.



Slika 4.3 Eksperimentalni testiranje. (a) Opći navigacijski sustav; (b) VR navigacijski sustav.

Prema rezultatima upitnika ne postoji značajna razlika u perceptivnoj jednostavnosti korištenja između općeg navigacijskog sustava i VR navigacijskog sustava, što znači da **hipoteza H1 ne vrijedi**. Međutim, ostale tri hipoteze (**H2, H3 i H4**) **su potvrđene**. To znači da je VR sustav pružio korisnije informacije za navigaciju u građevinarstvu te da je došlo do značajnog poboljšanja stava i namjere korisnika nakon što su sudionici sudjelovali u eksperimentu s VR sustavom. VR tehnologija je poboljšala razumijevanje projekta (percipirane korisnosti) te povećala namjeru kupaca za kupovinom. Također, korisnici su pokazali pozitivan stav prema VR sustavu u

usporedbi s općim navigacijskim sustavom. Ovi rezultati ukazuju na potencijalnu korist i učinkovitost korištenja VR sustava u preprodaji stanova.

Prema rezultatima ankete, autori istraživačkog rada zaključili su da VR značajno doprinosi prodaji stanova i boljem razumijevanju potrošača o stambenom prostoru u preprodaji. Ispitanici koji su koristili VR sustav izrazili su visoko mišljenje o njegovoj upotrebi pri preprodaji stanova. Korištenje VR tehnologije omogućilo je bolje prezentacije stambenih projekata, a korisnici su se osjećali uronjenima u stvarno okruženje, što je poboljšalo njihovo iskustvo i omogućilo im izravno dobivanje informacija o proizvodu.

Isto tako, autori su primijetili da postoji prostor za poboljšanje jednostavnosti rada VR sustava i udobnosti opreme zbog ograničenja tehnologije. To ukazuje na potrebu za daljnjim istraživanjem i razvojem VR tehnologije kako bi se osiguralo što bolje korisničko iskustvo.

U konačnom zaključku, autori predviđaju da će se u budućnosti sve više koristiti VR sustav pri prodaji stanova u preprodaji. Ova tehnologija ima potencijal da značajno unaprijedi način na koji se prezentiraju i prodaju nekretnine te omogući potencijalnim kupcima bolje razumijevanje i doživljaj stambenih prostora prije nego što su izgrađeni. To bi moglo donijeti značajne koristi kako potrošačima, tako i industriji nekretnina. [27]

4.2. Znanstveni rad br. 2: Uvođenje virtualne stvarnosti u početnoj fazi procesa projektiranja . Studija slučaja: bruceši koji dizajniraju efemernu arhitekturu (Eng. Introducing immersive Virtual Reality in the initial phases of the design process. Case Study: Freshmen Designing Ephemeral Architecture)

U ovom istraživačkom radu autori su istraživali učinak uvođenja imerzivne virtualne stvarnosti (IVR) u početnim fazama arhitektonskog projektiranja. Uobičajeni pristup nastave arhitektonskog projektiranja koristi crteže, makete i digitalne modele kako bi se razumio prostor, ali taj pristup ima svoja ograničenja jer nedostaje izravna percepcija prostora koji se projektira.

Cilj istraživanja bio je utvrditi kako primjena IVR-a u početnoj fazi arhitektonskog projektiranja može pomoći studentima u razvijanju određenih kompetencija u percepciji i tumačenju principa i struktura koje organiziraju prostor. IVR se pokazala kao snažan alat za istraživanje i komunikaciju arhitektonskih projekata prije njihove stvarne izgradnje. Omogućuje korisnicima da dožive "biti na mjestu", umjesto samo "gledati mjesto", čime se stvara cjelovito replicirano okruženje koje pomaže u poboljšanju ideja tijekom procesa projektiranja.

Drugi cilj istraživanja bio je procijeniti primjenu VR-a u procesu projektiranja iz perspektive profesora arhitekture.

Istraživanje je provedeno u sklopu kolegija "Radionica arhitektonskog dizajna" na prvoj godini studija arhitekture. Zadatak istraživačkog eksperimenta bio je osmisliti efemernu (prolaznu) arhitekturu rekreativne i razigrane prirode koja će biti interpolirana u dvorištu kolonijalne kuće. U okviru ovog eksperimenta ispitivane su sljedeće kompetencije studenata arhitekture:

1) Umijeće projektiranja arhitektonskog prostora kroz vertikalne elemente (zidove i stupove) i horizontalne elemente (stropove i podove): Ovo uključuje sposobnost studenata da osmisle arhitektonski prostor koristeći različite elemente koji definiraju njegove dimenzije i oblik.

2) Umijeće dizajniranja arhitektonskog prostora pomoću svjetla, boje, stupnja ograđenog prostora i materijala: Ovdje se istraživalo kako studenti koriste svjetlo, boju i materijale kako bi dali određeni karakter prostoru te kako to utječe na percepciju i doživljaj prostora.

3) Umijeće dizajniranja volumetrijske kompozicije s estetskim načelima: Ova kompetencija se odnosi na sposobnost studenata da osmisle arhitektonsku kompoziciju koja je vizualno privlačna i estetski dojmljiva, koristeći volumetrijske elemente i proporcije.

U ovom eksperimentu sudjelovalo je 12 studenata prve godine arhitekture s Nacionalnog sveučilišta San Augustin u Peruu. Odabrani studenti ispunjavali su određene kriterije za sudjelovanje u eksperimentu, što uključuje prethodno položene kolegije iz dizajna i arhitektonskog projektiranja, vještine u korištenju novih računalnih tehnologija, interes za videoigre te općenito nemaju problema s migrenom, vrtoglavicom ili drugim psihofizičkim smetnjama koje bi mogle utjecati na sudjelovanje u eksperimentu. Za ocjenjivanje rezultata eksperimenta angažirano je 12 specijaliziranih arhitektonskih profesora iz kolegija "Osnove arhitektonskog dizajna". Njihova uloga

bila je procijeniti radove studenata i pružiti stručnu povratnu informaciju o njihovim dizajnerskim rješenjima i kreativnosti u sklopu eksperimentalnog zadatka.

Eksperimentalni dizajn proveden je kroz četiri faze.

U *prvoj fazi*, studenti su bili pozvani da predlože *konceptualni dizajn* efemerne arhitekture za rekreacijske svrhe koja će biti postavljena u dvorištu kolonijalne kuće "Chávez de la Rosa" u kolonijalnom stilu, smještenoj u povijesnom središtu grada Arequipa. Dva profesora arhitekture su studentima objasnili definiciju i primjere efemerne arhitekture te njezinu važnost u povijesnim gradskim jezgrama.

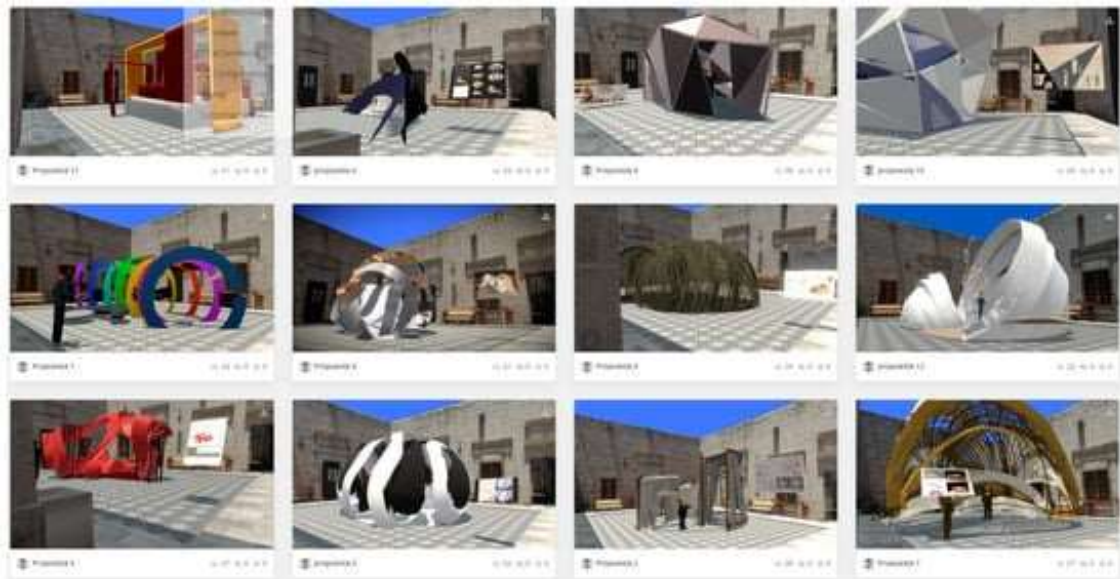
Nakon toga, studentima je dano 120 minuta da ručno izrade idejno rješenje na tradicionalan način, koristeći skice s pojašnjenjima. Svaki student je iznio svoj prijedlog dizajna, nakon čega je dobio povratnu informaciju od profesora.

U *drugoj fazi* eksperimenta, studenti su bili pozvani da osmisle *shematski dizajn* efemernog prostora na temelju prijedloga koje su iznijeli u prvoj fazi, kao i na temelju vlastitih razmišljanja. Na osnovu povratnih informacija koje su dobili u prvoj fazi, svaki od 12 sudionika izradio je kartonski model svog dizajna. Nakon što su završili svoje modele, studenti su iznijeli svoje prijedloge dizajna pred profesorima, koji su im pružili povratne informacije i komentare na njihove shematske dizajne.

U *trećoj fazi* eksperimenta, studenti su nastavili s razvojem svojih shematskih dizajna, ali ovaj put su koristili virtualno okruženje uz pomoć Google Tilt Brush aplikacije. Prije početka dizajna pomoću imerzivne virtualne stvarnosti (IVR), studenti su prošli kratku obuku trajanja petnaest minuta kako bi naučili rukovati aplikacijom Google Tilt Brush i prilagodili se virtualnom okruženju. Nakon završene obuke, studenti su imali 60 minuta vremena za osmišljavanje svojih *shematskih dizajna koristeći IVR tehnologiju*. Korištenjem VR tehnologije, studenti su mogli virtualno stvarati arhitektonski prostor i manipulirati elementima dizajna u 3D okruženju. Važno je napomenuti da su studenti imali dvije pauze od 5 minuta tijekom ove faze eksperimenta kako bi se odmorili i smanjili eventualne nelagode cyber bolesti povezane s korištenjem head-mounted display-a (HMD) u virtualnom okruženju.

U *četvrtoj fazi* eksperimenta, svaki student je imao priliku *prezentirati* i objasniti rezultate svojih dizajna koje su postigli kroz *tri faze istraživanja*. Svaki student je prvo predstavio svoj idejni i shematski dizajn koristeći tradicionalne metode, odnosno skice i kartonske modele koje su izradili u prvoj i drugoj fazi eksperimenta. Prezentacija tradicionalnog dizajna trajala je 5 minuta, nakon čega su studenti odgovarali na pitanja profesora. Nakon toga, studenti su predstavili svoj shematski dizajn, ali ovaj put

koristeći trodimenzionalne modele koji su bili stvoreni u virtualnom okruženju pomoću Google Tilt Brush aplikacije (treća faza eksperimenta). Predmetni trodimenzionalni modeli bili su smješteni na platformi Sketchfab kako bi profesori mogli pregledati i analizirati dizajne. Dvanaest odabranih profesora ponovo je vrednovalo svaki dizajn prema postavljenim kriterijima i standardima.



Slika 4.4 Treća faza: shematski dizajn pomoću IVR-a od strane 12 studenata, na platformi Sketchfab. (<https://sketchfab.com/johnbel/collections/rv4>)

Istraživanje je završeno **postavljanjem upitnika** kako bi se prikupili dodatni podaci o iskustvima i dojmovima studenata tijekom korištenja IVR-a u procesu projektiranja. Upitnik se sastojao od tri pitanja koja su imala za cilj istražiti ključne aspekte i dojmove koje su studenti doživjeli pri korištenju ove tehnologije. **Prvo pitanje** bilo je zatvorenog tipa i od studenata je zahtijevalo da sortiraju po važnosti šest aspekata koji su najviše utjecali na njihov dizajn pomoću IVR-a. Ti aspekti bili su: Percepcija zgrade u stvarnom mjerilu, doživljavanje unutarnjeg prostora, interakcija s postojećom okolinom, eksperimentiranje s 3D oblicima, percepcija svjetla i sjene, te eksperimentiranje s različitim materijalima. Studenti su rangirali ove aspekte prema njihovoj važnosti u njihovom dizajnerskom procesu koristeći IVR tehnologiju. **Drugo i**

treće pitanje bilo je otvorenog tipa. Studenti su morali navesti dvije prednosti i dva nedostatka korištenja IVR-a u svom procesu dizajniranja.

Rezultati ankete ukazuju na to da su studenti prepoznali percepciju arhitekture u stvarnom mjerilu i eksperimentiranje unutarnjeg prostora kao najvažnije aspekte korištenja IVR-a tijekom dizajniranja. Ovo ukazuje na važnost koju IVR tehnologija ima u omogućavanju studentima da dožive prostor na realističan način i da istraže različite mogućnosti za oblikovanje unutarnjih prostora. S druge strane, percepcija svjetla i sjene te eksperimentiranje s različitim konstruktivnim materijalima su ocijenjeni kao manje relevantni aspekti korištenja IVR-a. To može ukazivati na to da studenti manje koriste ove funkcionalnosti IVR-a u svom procesu dizajniranja ili da im nisu pružile jednaku korist kao što su to učinile druge značajke te tehnologije.

Što se tiče prednosti korištenja IVR-a u arhitektonskom projektiranju, mogućnost sagledavanja prostora u stvarnom ili prirodnom mjerilu ocijenjena je kao najvažnija prednost. Ovo je očekivano s obzirom na to da je jedna od ključnih prednosti IVR-a upravo mogućnost da korisnicima pruži osjećaj "biti na mjestu", što omogućava realističnije iskustvo istraživanja prostora. Iako ostale prednosti nisu toliko istaknute, važno je napomenuti da su i one ocijenjene kao važne.

Studenti su spomenuli dva ključna nedostatka vezana uz korištenje IVR-a u procesu dizajniranja. Prvi nedostatak odnosi se na ovladavanje i upravljanje aplikacijom Tilt Brush, što može proizaći iz nedostatka iskustva s tom specifičnom aplikacijom ili tehnologijom. Ovo je razumljivo jer korištenje novih tehnologija može zahtijevati dodatno vrijeme i praksu kako bi se korisnici osjećali vještije u njihovoj upotrebi. Drugi nedostatak odnosi se na nelagodu nakon dugotrajne uporabe HMD-a (Head-Mounted Display). Ovo ukazuje na važnost uzimanja u obzir ergonomske aspekte i udobnost uređaja kako bi se smanjile moguće fizičke nelagode kod korisnika. Dizajniranje HMD-a s naglaskom na smanjenje težine i pritiska na glavu, te implementacija tehnologija koje smanjuju umor očiju i vrtoglavicu može doprinijeti poboljšanju iskustva korisnika tijekom korištenja IVR-a

Prema rezultatima drugog upitnika, većina profesora arhitekata smatra da je uporaba IVR-a korisnija u završnoj fazi procesa arhitektonskog projektiranja, tj. u idejnom i glavnom projektu, dok je manje korisna u početnoj fazi, odnosno u fazi idejnog rješenja. Profesori su bili mišljenja da je najveća prednost korištenja IVR-a eksperimentiranje unutarnjeg prostora i mogućnost obilaska zgrade, a glavni nedostatak

su kratko vrijeme obuke s alatom Tilt Brush te kratko vrijeme dostupnosti ovoj vrsti tehnološkog alata.

Prema zaključku profesora, uporaba IVR-a kao alata za dizajniranje u arhitektonskom procesu omogućuje postizanje više razine postignuća u ispitivanim kompetencijama u usporedbi s tradicionalnim metodama poput dvodimenzionalnih crteža i modela. Ispitivane kompetencije uključuju konfiguriranje prostora kroz različite elemente, kvalificiranje prostora korištenjem svjetla, boje, stupnja zatvorenosti i materijala, te projektiranje volumetrijske kompozicije s estetskim načelima.

Uzimajući u obzir rezultate ovog istraživanja, zaključuje se da je uporaba IVR-a u arhitektonskom projektiranju korisna i perspektivna tehnologija koja može znatno unaprijediti proces dizajniranja i komunikaciju arhitektonskih projekata. Također je važno prepoznati nedostatke kako bi se potpuno iskoristio potencijal ove tehnologije. Nedostaci kao što su potreba za dodatnom obukom i vježbom s aplikacijama poput Tilt Brush te fizička nelagoda nakon dugotrajne uporabe HMD-a mogu utjecati na iskustvo korisnika i ometati učinkovitost korištenja IVR-a. Unatoč ovim nedostacima, rezultati istraživanja i zaključci o korisnosti IVR-a u arhitektonskom projektiranju ukazuju na perspektivu ove tehnologije u budućnosti. S obzirom na brzi napredak tehnologije, očekuje se da će se i ovi nedostaci s vremenom smanjiti ili biti riješeni novim inovacijama. [28]

4.3. Znanstveni rad br. 3: Tijek rada integriran u virtualnu stvarnost pri suradnji i pregledu dizajna projekata s omogućenim BIM-om: studija slučaja (Eng. Virtual reality-integrated workflow in BIM-enabled projects collaboration and design review: a case study.)

Kombinacija virtualne stvarnosti (VR) i Building Information Modeling-a (BIM) za podršku pri pregledu dizajna, suradnji i komunikacijskim sesijama tijekom odlučivanja o projektu ima značajnu važnost u industriji građevinarstva, arhitekture i inženjerstva (AEC). Ova tehnološka sinergija donosi niz prednosti i mogućnosti koje mogu biti revolucionarne u ovim industrijama.

Ovaj rad istražio je primjenu virtualne stvarnosti (VR) u podršci pri pregledu dizajna, suradnji i komunikacijskim sesijama tijekom odlučivanja o projektu. Autori su

proveli studiju slučaja temeljenu na stvarnom projektu, u kojoj su surađivali sa softverskom tvrtkom kako bi ispitivali napredne značajke VR softvera, uključujući simulaciju projekta na licu mjesta. Kako bi ocijenili učinkovitost i praktičnost ovog pristupa, pozvali su skupinu stručnjaka iz građevinarstva, arhitekture i inženjerstva (AEC) koji su radili na stvarnim modelima BIM projekata.

Naglasak je bio na stvarnim iskustvima sudionika tijekom sesija u virtualnoj stvarnosti (VR). Cilj je bio detaljno analizirati kako sudionici percipiraju sadržaj koji im je predstavljen putem VR-a, a isto tako, istražiti njihovu razinu udobnosti tijekom korištenja te tehnologije. Konačno, istraživači su pažljivo proučili mišljenja sudionika o potencijalnim primjenama VR-a u njihovom svakodnevnom radnom okruženju.

Za ovo istraživanje autori su angažirali projektante poslovne zgrade "Campus Generalitat", koja će biti novo sjedište vlade Katalonije, kao sudionike studije. BIM modeli zgrade su izrađeni u softverskom alatu Revit. Nakon što su svi dionici projekta odobrili modele, izvezeno je 10 BIM modela s elementima MEP-a veličine 2GB u VR platformu Fuzor. Ovaj izvoz je uključivao gotovo 40 milijuna poligona i predstavljao je dugotrajan proces koji je trajao oko 50 minuta. Važno je napomenuti da postoji dvosmjerna sinkronizacija između Revita i Fuzora. To znači da će se promjene koje se izvrše na bilo kojoj platformi odraziti na drugu dok je sinkronizacija aktivna.

Pripreme radnje koje su provedene prije eksperimenta imale su ključnu ulogu u osiguranju glatkog i uspješnog izvođenja istraživanja s VR-om. Sudionici četiri sesije su se sastali kako bi se izvježbali u radu s VR-om, pregledali modele, provjerili performanse i osigurali da je hardver i softver ispravno postavljen za eksperiment. Za izvođenje eksperimenta korištena su dva HTC Vive uređaja, te dva računala s visokim performansama kako bi se osiguralo da VR scene mogu biti prikazane na visokoj razlučivosti i s visokim stupnjem fluidnosti. Svaka PC jedinica opremljena je bila s Intel® Core™ i7-7700 K procesorom s 4 jezgre, 8 MB predmemorije i overclocking mogućnostima do 4.4GHz. Također, ugrađena je NVIDIA® GeForce® GTX 1080 grafika s 8GB GDDR5X memorije. PC jedinice su također imale 16GB DDR4 memorije pri 2400 MHz, što osigurava brz i pouzdan rad sustava. Snažan hardver omogućuje glatko prikazivanje VR sadržaja i minimalizira mogućnost kašnjenja ili trzanja, što je od ključne važnosti za realistično i ugodno iskustvo u virtualnoj stvarnosti. Navedene specifikacije PC jedinica koje su korištene za eksperiment nadmašile su minimalne hardverske zahtjeve koje je tvrtka HTC preporučila za podršku svom HMD-u (Head-Mounted Display), u ovom slučaju HTC Vive uređajima

Da bi prikupili relevantne podatke za svoje istraživanje, autori ovog rada odlučili su organizirati dvije sesije, svaka sa specifičnim sudionicima iz različitih struka i aktivnosti.

Prva sesija ovog istraživanja bila je usmjerena na *pregled i koordinaciju mehaničkih, električnih i vodovodnih (MEP) sustava* pomoću VR tehnologije. Sudionici sesije uključivali su inženjere specijalizirane za ove sustave, kao i druge stručnjake koji su odgovorni za projektiranje i koordinaciju MEP sustava. Cilj je bio istražiti virtualni model MEP sustava, identificirati potencijalne konflikte i nesukladnosti, te provesti simulacije kako bi se poboljšala koordinacija između različitih disciplina. Sudionici su koristili HTC VIVE uređaje kako bi ušli u VR okruženje, gdje su bili prikazani virtualni modeli MEP sustava. Dva sudionika bila su smještena u susjedne prostorije koje su bile podijeljene pokretnim pregradnim zidom kako bi se izbjeglo ometanje senzora za praćenje. Unatoč odvajanju, sudionici su mogli čuti i komunicirati jedni s drugima, što je omogućilo suradnju tijekom sesije. U slučaju da su sudionici bili na udaljenim lokacijama, mogli su koristiti alate poput Skype-a za komunikaciju, što je omogućilo timsku suradnju bez potrebe za fizičkom prisutnošću na istom mjestu. Sudionici koji su bili uronjeni u VR okruženje, pojavljivali su se kao avatari u VR sceni i surađivali su preko VR-a oko 20 minuta. U virtualnom modelu, mogli su pratiti i pregledavati MEP sustave, te su imali fleksibilnost sjedenja ili kretanja po modelu. Ova mogućnost omogućila im je da bolje razumiju prostorni raspored i detalje cjevovoda MEP sustava, što bi bilo teže izvedivo konvencionalnim metodama pregleda. Jedna od glavnih prednosti korištenja VR tehnologije bila je što su sudionici mogli imati realističan pregled i interakciju s virtualnim modelom, što nije uvijek moguće u tradicionalnim 2D prikazima na računalu. Nakon završetka sesije, i ostali kolege koji su bili prisutni u sobi također su isprobali VR iskustvo, a kasnije su intervjuirani kako bi se prikupila dodatna povratna informacija o korisničkom doživljaju i korisnosti VR tehnologije za koordinaciju i pregled MEP sustava.



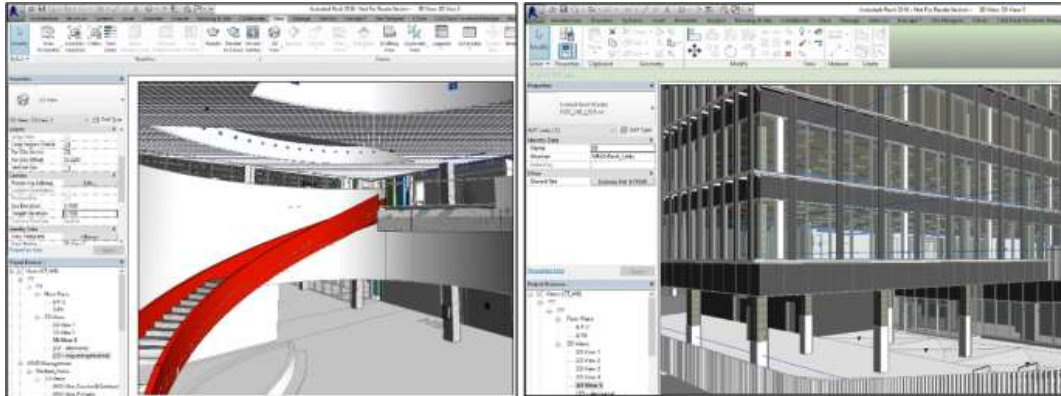
Slika 4.5 Dva sudionika surađuju u istoj VR sceni



Slika 4.6 MEP sustav s dimenzijama, korisnik postavlja dimenziju pomoću HTC Vive joysticka

U drugoj sesiji ovog istraživanja, naglasak je bio na **pregledu arhitektonskog dizajna kroz VR tehnologiju**. Sudionici sesije uključivali su arhitekte, dizajnere i druge stručnjake odgovorne za stvaranje arhitektonskih planova i vizualizacija projekta. Tijekom ove sesije, sudionici su imali priliku prošetati kroz virtualni model arhitektonskog dizajna kako bi sagledali detalje, proporcije i estetski aspekt dizajna. VR tehnologija omogućila je sudionicima da budu uronjeni u virtualno okruženje, što je omogućilo realistično doživljavanje i interakciju s arhitektonskim modelom. Tijekom pregleda, sudionici su imali priliku istražiti vanjske prostore, fasade i ulaz u zgradu iz dvorišta. Važno je napomenuti da nisu bili učitani svi materijali i teksture na modele zbog veličine datoteke, kako bi se osigurala brže performanse računala tijekom VR iskustva. Ovakva razina percepcije prostornih odnosa prije same izgradnje projekta je jedinstvena za VR tehnologiju. Zahvaljujući VR iskustvu, sudionici su mogli bolje

razumjeti prostorne odnose i vizualizirati konačni izgled zgrade. Nakon završetka sesije, sudionici su odmah ispunjavali upitnik koji su autori pripremili kako bi dokumentirali njihove dojmove, osjećaje i mišljenja o VR iskustvu koje su upravo prošli.



Slika 4.7 Pogled na dijelove zgrade vizualizirani u VR-u

Tijekom ovih sesija, sudionici su aktivno sudjelovali i promatrali VR iskustvo. Kroz njihovu interakciju s VR scenom, identificirali su ključne značajke i dodatke koji bi im mogli pomoći u učinkovitijem i preciznijem obavljanju svojih aktivnosti u VR okruženju. Povratne informacije koje su pružili bile su od izuzetne važnosti za autore rada, jer su im omogućile bolje razumijevanje potreba korisnika i identifikaciju područja koja bi se mogla unaprijediti.

Autori ovog rada redovito su komunicirali sa softverskom tvrtkom koja je radila na razvoju VR softvera i dijelili svoja saznanja. Softverska tvrtka je uzela u obzir ove povratne informacije i radila na implementaciji prijedloga autora u nadolazeća izdanja softvera. Kroz ovaj proces poboljšanja, objavljena je verzija softvera koja uključuje alat za označavanje. Taj alat omogućuje sudionicima da jednostavno označe određene elemente u VR sceni, što im omogućuje da označe konflikte, nedostatke ili predlože ideje za poboljšanje dizajna projekta. Sudionici eksperimenta su izrazili zabrinutost oko dugotrajnog procesa izvoza Revit modela u VR platformu Fuzor, što je uključivalo izvoz gotovo 40 milijuna poligona i trajalo oko 50 minuta. Međutim, postojeći alati na tržištu omogućili su stvaranje VR scene izravno iz Revita jednim klikom, što je značajno pojednostavilo postupak.

Nakon završetka VR eksperimenta, autori ovog rada intervjuirali su sudionike putem internetskog upitnika. Sudionici su bili iz različitih disciplina, a većina njih prije nije imala iskustva s VR-om ili je imala vrlo malo prethodnog iskustva. Unatoč tome, gotovo svi sudionici su ocijenili eksperiment vrlo zanimljivim, što ukazuje na njihovu pozitivnu reakciju na VR

iskustvo i interes za ovom tehnologijom. Kada su sudionici pitali koliko praktičnost vide u svakodnevnoj uporabi VR-a u svojim uredima, prosječan odgovor bio je da vide određenu mjeru praktičnosti za određene namjene. To ukazuje na to da sudionici prepoznaju potencijal VR tehnologije, ali također prepoznaju da nije nužno primjenjiva u svim situacijama i projektima. Najviše rangirani slučaj upotrebe VR-a bio je za prezentaciju klijentima. To sugerira da sudionici prepoznaju vrijednost VR tehnologije kao sredstva za uvjerljivu i interaktivnu prezentaciju projekata svojim klijentima. Također, suradnja s drugim timovima i interni pregled dizajna također su navedeni kao potencijalne praktične primjene VR-a, što ukazuje na to da sudionici prepoznaju mogućnost bolje suradnje i koordinacije kroz VR tehnologiju. Kada su zamoljeni da opišu koje su im značajke eksperimenta impresivne, većina odgovora se odnosila na osjećaj i opažanje prostora u stvarnim razmjerima. Sudionici su istaknuli da su imali osjećaj boravka unutar zgrade, što im je omogućilo da bolje razumiju dimenzije i proporcije projekta. Također, mogućnost pregleda informacija o elementima zgrade u VR-u, te brzina i lakoća kretanja unutar virtualnog modela, također su bili impresivni za sudionike.

Autori su zaključili da stvaranje virtualnog okruženja uvelike se oslanja na značajke VR softvera dostupnog na tržištu. Praktičnost VR softvera ovisi o tome koliko je jednostavno i učinkovito koristiti ga u svakodnevnom radu, a ključni čimbenici u tome su razina usvajanja VR tehnologije među korisnicima te kompatibilnost softvera s BIM projektima. Postoji širok spektar VR softvera na tržištu, a neki od njih služe samo kao vizualizatori BIM modela, omogućujući korisnicima da pregledavaju virtualne modele u 3D prostoru. S druge strane, postoje napredniji alati koji dopuštaju različite interakcije s modelom, kao što su mogućnost crtanja i dodavanja elemenata u VR sceni. Takvi alati omogućuju korisnicima da aktivno sudjeluju u stvaranju i uređivanju virtualnih okruženja, što može biti izuzetno korisno za arhitekta, inženjere i dizajnere. Kompatibilnost VR softvera s BIM projektima posebno je važna jer BIM (Building Information Modeling) predstavlja naprednu metodu za digitalno modeliranje i upravljanje informacijama o građevinskim projektima. Integracija VR tehnologije s BIM projektima omogućuje korisnicima da još dublje i detaljnije istraže virtualne modele, što može poboljšati suradnju i koordinaciju među različitim stručnjacima u projektu.

Autori su naglasili da ulaganje u odgovarajući VR softver i hardver predstavlja ključan korak prema usvajanju VR tehnologije u industriji arhitekture, građevinarstva i inženjerstva. Kako bi se postigla visoka razina kvalitete i funkcionalnosti VR iskustva, potrebno je koristiti računala s vrlo moćnim grafičkim procesorima. Ova vrsta računala može znatno koštati, što predstavlja izazov za organizacije i stručnjake koji žele implementirati VR u svoj rad. Dodatno, većina

dostupnog VR softvera temelji se na mjesečnoj ili godišnjoj pretplati te ima trošak po korisniku. Ova potreba za redovitim financijskim ulaganjima može predstavljati prepreku usvajanju VR-a, pogotovo za manje tvrtke ili pojedince s ograničenim budžetom.

Autori su prepoznali potrebu za daljnjim razvojem VR softvera kako bi se omogućilo rad na konvencionalnijim računalima i bolje rukovanje složenijim modelima s prihvatljivim performansama. Također, naglasili su važnost istraživanja u području računalne grafike, koje može doprinijeti značajnim poboljšanjima u VR softveru. Industrija i akademska zajednica mogu surađivati kako bi unaprijedili performanse i funkcionalnosti VR alata.

Dodatno, autori su prepoznali važnost uključivanja tema o potencijalima VR tehnologije i drugim inovativnim alatima za vizualizaciju u arhitektonsko i inženjersko obrazovanje, posebno u području Building Information Modeling (BIM). BIM je sve više korišten u AEC industriji kao napredan način organiziranja, upravljanja i dijeljenja informacija o projektima. Integracija VR tehnologije u BIM obrazovanje omogućuje budućim stručnjacima da steknu iskustvo i razumijevanje mogućnosti VR-a za vizualizaciju i simulaciju u kontekstu stvarnih projekata. [29]

4.4. Znanstveni rad br. 4: Primjena virtualne stvarnosti za usvajanje plana gradilišta (Eng. Adoption of Virtual Reality (VR) for Site Layout Optimization of Construction Projects.)

Autori ovog znanstvenog rada ističu da ugradnja virtualne stvarnosti (VR) predstavlja vrijedan i moderan fenomen u upravljanju gradilištem s ciljem postizanja optimalnog planiranja. Učinkovito i dobro organizirano gradilište može smanjiti troškove, ubrzati izgradnju, povećati sigurnost i poboljšati kvalitetu radova. Dosadašnji pristupi planiranju izgleda gradilišta uključuju korištenje dvodimenzionalnih nacrti i trodimenzionalnih modela. Pomoću VR tehnologije, sudionici projekta mogu dobiti trodimenzionalni uvid u planirano gradilište, što omogućuje bolje razumijevanje prostora i organizacije radova

Cilj ovog rada je bio istražiti primjenu virtualne stvarnosti (VR) prilikom organizacije gradilišta kako bi se poboljšalo planiranje rasporeda gradilišta, detekcija kolizija i procjena različitih scenarija rasporeda gradilišta. U tu svrhu, provedena je usporedba između tradicionalnih metoda koje se obično koriste u organizaciji gradilišta i naprednog 3D planiranja gradilišta korištenjem VR tehnologije. Fokus istraživanja je usmjeren na strukturnu fazu

izgradnje sveučilišne zgrade smještene u središtu grada Famaguste na Cipru. Uz pomoć VR tehnologije, izrađena su dva različita scenarija organizacijskog plana gradilišta kako bi se analizirala njihova učinkovitost i prednosti u usporedbi s tradicionalnim metodama. **Prvi scenarij** predstavljao je stvarni plan organizacije gradilišta, koji je već bio odobren od strane donositelja odluka za izgradnju zgrade. **U drugom scenariju**, autori su modificirali stvarni organizacijski plan gradilišta prema nizu predloženih izmjena. Te izmjene uključuju promjenu pristupne točke na gradilištu, lokaciju postavljanja dizalice, lokacije za smeće i skladištenje materijala, zalihe iskopa, ured gradilišta, lokacije opreme i orijentaciju mjesta. Cilj ovih izmjena bio je istražiti kako bi se promjene odrazile na učinkovitost organizacije gradilišta. Za izradu i prikaz različitih scenarija organizacijskog plana gradilišta, autori su koristili softvere Autodesk Revit i SketchUp za generiranje dva različita 3D modela strukturne faze izgradnje zgrade. Nakon izrade 3D modela, modeli su učitani u Lumion softver za konačno renderiranje i virtualni prikaz. Kako bi procijenili učinkovitost i usporedili različite scenarije, autori su uključili stodva stručnjaka iz područja arhitekture i građevine. Navedeni stručnjaci imali su zadatak procijeniti i usporediti različite planove gradilišta prikazane na tri načina: u obliku 2D nacрта, 3D vizualizacije i 3D vizualizacije s primjenom VR-a. Za prikupljanje i evaluaciju podataka autori su izradili anketni upitnik koji je sadržavao ocjene od 1 do 5. Sudionici su koristili ovaj upitnik kako bi vrednovali predložene scenarije organizacije gradilišta prema svojim mišljenjima i iskustvu.



Slika 4.8 3D model scenarija 1 plana gradilišta



Slika 4.9 3D model scenarija 2 plana gradilišta

Prema rezultatima ankete većina sudionika je smatralo da 2D planovi ne pružaju dovoljno podataka za učinkovitu organizaciju gradilišta, posebno u pogledu detekcije potencijalnih sudara između dvije toranjske dizalice. Uz to, sudionici su ocijenili da su planovi gradilišta razvijeni na 3D platformi značajno korisniji i doprinose učinkovitijoj organizaciji gradilišta.

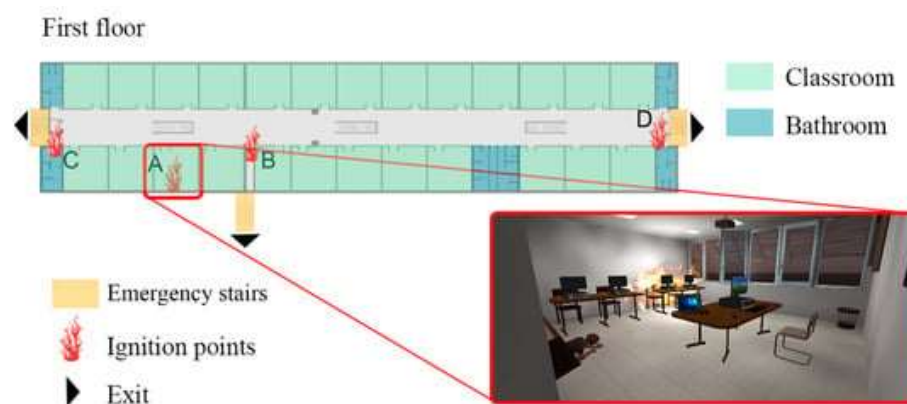
Sudionici su također ocijenili jednostavnost korištenja VR sustava (VR naočale) s ocjenom 2,9, što ukazuje na to da većina sudionika nije imala prethodno iskustvo s VR tehnologijom. Usprkos tome, sa srednjom ocjenom od 4,4, sudionici iskazali su svoje uvjerenje o velikom potencijalu VR tehnologije za provjeru problema na gradilištu koji mogu nastati zbog loše organizacije gradilišta. Kada je riječ o konačnom ocjenjivanju, sudionici su vrlo pozitivno ocijenili učinkovitost VR tehnologije pri vrednovanju dvaju različitih scenarija na gradilištu, dajući ocjenu 4,2.

Autori zaključuju da VR tehnologija može pomoći voditeljima izgradnje i planerima gradilišta u vizualizaciji rasporeda gradilišta. Korištenjem VR tehnologije, oni mogu dobiti detaljniju i interaktivniju ilustraciju planova gradilišta, omogućujući im bolje razumijevanje i vizualizaciju količine dostupnog prostora na gradilištu. Vizualno promatranje iskorištenosti prostora kroz VR tehnologiju pruža voditeljima izgradnje i planerima precizniji uvid u organizaciju gradilišta i prostornu raspodjelu građevinskih elemenata, opreme, i materijala. To im omogućuje da bolje analiziraju i planiraju kako će se različiti dijelovi gradilišta međusobno povezivati i funkcionirati. Također, mogu identificirati potencijalne probleme, kao što su potencijalni sudari između dizalica ili drugih građevinskih elemenata, što omogućuje ranu intervenciju i smanjenje rizika od kašnjenja i skupih izmjena tijekom izgradnje. Kroz korištenje VR tehnologije, voditelji izgradnje i planeri gradilišta dobivaju snažan alat za bolje planiranje i organizaciju gradilišta, što može rezultirati većom produktivnošću, smanjenjem rizika i optimizacijom resursa. Sve to doprinosi uspješnijem izvršenju projekta izgradnje i postizanju ciljeva učinkovitosti i sigurnosti na gradilištu. [30]

4.5. Znanstveni rad br. 5: Evakuacija u slučaju požara iz školske zgrade pomoću platforme evolucijske virtualne stvarnosti (Eng. Fire Emergency Evacuation from a School Building Using an Evolutionary Virtual Reality Platform)

U ovom znanstvenom radu istražuje se primjena evolucijske virtualne stvarnosti u kontekstu evakuacije iz školske zgrade u slučaju požara. Autori naglašavaju kako su u posljednjih nekoliko godina moderne tehnologije, kao što su numeričke simulacije, virtualna i proširena stvarnost, te modeli temeljeni na agentima, postale vrlo učinkoviti alati za proučavanje fenomena koji se ne mogu eksperimentalno reproducirati zbog visokih troškova, inherentnih opasnosti ili drugih ograničenja.

Autori ovog rada demonstrirali kako integrirati platformu virtualne stvarnosti s alatima za numeričku simulaciju kako bi reproducirali evakuacijski scenarij hitnog požara. Za ilustraciju ovog postupka, koristili su stvarnu dvokatnu školsku zgradu koja se nalazi u okolici Milana, Italija. Zgrada je armirano-betonske konstrukcije i sastoji se od tri bloka: bloka s učionicama, sportske dvorane i trećeg bloka koji sadrži kantinu u prizemlju i slušaonicu na drugom katu. U simulaciji hitnog požara uzeli su u obzir samo glavni blok s učionicama kako bi pojednostavili simulaciju. Pri izradi simulacije hitnog požara, autori su uzeli u obzir profile životnog rizika koristeći algoritam za sprječavanje požara. Ovaj algoritam omogućuje određivanje profila životnog rizika ovisno o veličini koridora i širini izlaznih ruta. Ovim pristupom moguće je simulirati različite scenarije evakuacije ovisno o promjenama u veličini koridora i izlaznih ruta.



Slika 4.10 Scenariji požara i njihove točke paljenja (prvi kat, zgrada učionica).

Da bi potvrdili redundanciju koju zahtijeva Kodeks o sprječavanju požara, autori su analizirali četiri različita scenarija požara s različitim točkama paljenja u školskoj zgradi. Evo pregleda tih scenarija:

Scenarij A: Požar počinje u učionici na prvom katu zgrade, pri čemu su svi izlazi za slučaj opasnosti dostupni. U ovom scenariju, učenici imaju mogućnost koristiti sve izlaze kako bi se evakuirali iz zgrade. Ovo je tipičan scenarij u kojem nema posebnih ograničenja u evakuaciji.

Scenarij B: Požar počinje blizu središnjih izlaznih vrata zgrade. U ovom scenariju, svi učenici moraju se evakuirati kroz lijeva i desna vrata jer su središnja vrata neprohodna zbog požara. Ovo može predstavljati izazov za evakuaciju jer su svi učenici usmjereni prema istom izlazu.

Scenarij C: Požar počinje blizu lijevih izlaznih vrata zgrade. U ovom scenariju, svi učenici moraju se evakuirati kroz središnja i desna vrata, dok su lijeva vrata neprohodna zbog požara. Ovo također može stvoriti gužvu i otežati evakuaciju zbog usmjerenosti svih učenika prema središnjem izlazu.

Scenarij D: Požar počinje blizu desnih izlaznih vrata zgrade. U ovom scenariju, svi učenici moraju se evakuirati kroz središnja i lijeva vrata, dok su desna vrata neprohodna zbog požara. I u ovom scenariju, postoji usmjerenost svih učenika prema istim izlazima što može otežati evakuaciju.

Autori su proveli simulaciju procesa evakuacije koristeći softvere Evac i MassMotion. Prije same simulacije, prema protupožarnim propisima DM2015, definirali su broj osoba u zgradi kako bi modelirali stvarne uvjete evakuacije. Također, utvrdili su maksimalnu gužvu u zgradi množenjem gustoće gužve s površinom prostora.

Za simulaciju evakuacije koristili su dva različita softvera: Evac i MassMotion.

Evac: Ovaj softver je proširenje programa za numeričku simulaciju požara, poznatog kao Fire Dynamics Simulator (FDS). Evac uključuje simulaciju požara i njegovih posljedica na kretanje mase, što uključuje vidljivost, otrovne plinove i indeks fatalnosti (FED). Evac softver omogućuje realistično modeliranje procesa evakuacije u prisutnosti požara i njegovih opasnosti.

MassMotion: Ovaj softver fokusira se isključivo na simulaciju evakuacije. On uzima u obzir podatke o vremenu prije nego što ljudi počnu evakuirati, brzini kretanja i specifičnom profilu svakog pojedinog agenta (osobe). MassMotion je poznat po svojoj jednostavnosti korištenja, što ga čini pogodnim za simulaciju evakuacije u raznim situacijama. **Rezultati istraživanja** jasno su pokazali kako vrijeme evakuacije u scenariju A, gdje su dostupni svi izlazi za slučaj opasnosti, bilo kraće u usporedbi s drugim scenarijima. To je logično s obzirom na dobro raspoređene agente i veći broj dostupnih izlaza za evakuaciju.

S druge strane, najgori proces evakuacije predstavljen je u scenariju D, gdje je došlo do prenatrpanosti agenata u hodniku zgrade. Ovakva situacija otežava kretanje i usporava evakuaciju. Razlike u vremenu evakuacije između softvera Evac i MassMotion povezane su s različitim pristupima simulaciji dima u Evac softveru i njegovim utjecajem na brzinu agenata zbog smanjene vidljivosti, toksičnih plinova i povećane temperature izazvane dimom. Korištenje softvera Evac za simulaciju procesa evakuacije smatra se ispravnim pristupom jer uključuje simulaciju požara i dima, što može imati značajan utjecaj na evakuacijske putanje i brzinu kretanja agenata. Međutim, rezultati iz softvera Evac ne mogu se izravno koristiti u softveru Unity3D, koji se često koristi za virtualnu stvarnost. Kako bi se omogućila simulacija scenarija hitnog požara putem VR tehnologije, rezultati iz softvera MassMotion implementiraju se u virtualnom okruženju pomoću softvera Unity3D. Geometrijski model zgrade, FDS model požara i sustav evakuacije koji su razvijeni kroz simulaciju u softveru MassMotion, uvezli su se u softver Unity3D kako bi se omogućila realistična i interaktivna simulacija procesa evakuacije u virtualnom okruženju. Kombinirajući ove tehnologije, istraživači su stvorili

vrijedan alat koji omogućuje detaljno ispitivanje i analizu evakuacije u različitim scenarijima požara, a također omogućuje voditeljima gradnje i sigurnosnim stručnjacima donošenje informiranih odluka kako bi poboljšali sigurnost i učinkovitost evakuacije u stvarnom svijetu.

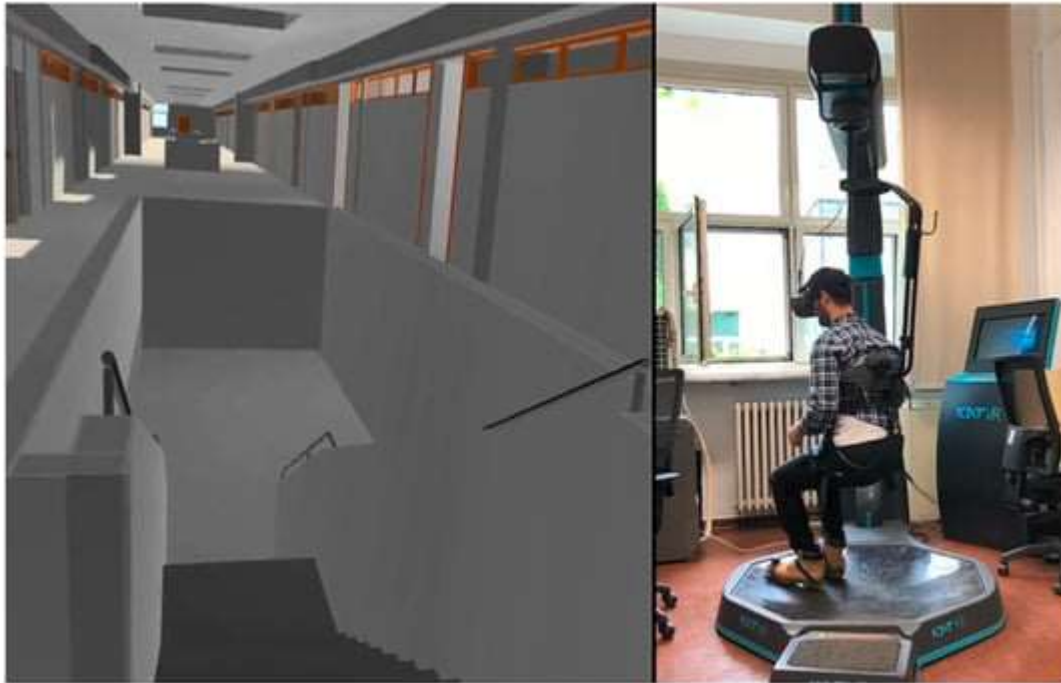


Slika 4.11 Scenarij hitne evakuacije u slučaju požara u modelu virtualne stvarnosti (*gore*), scenarij stvarnog svijeta (*dolje*).

Slika 4.11 prikazuje usporedbu scenarija hitne evakuacije u slučaju požara između modela virtualne stvarnosti (VR) i stvarnog svijeta. Na gornjoj slici prikazan je scenarij hitne evakuacije u VR okruženju, gdje su agenti (osobe koje se evakuiraju) predstavljeni kao bijele standardne figure, a njihovo dinamičko kretanje je simulirano kako bi bilo što realističnije.

Nakon što su uveli tri različita modela u VR scenarij, istraživači su razvili VR simulaciju koja omogućuje korisniku (igraču) da sudjeluje u obuci spašavanja od požara u prvom licu. Da bi korisniku omogućili kretanje i interakciju unutar VR okruženja, koristili su KatWalk VR platformu s jednim tijelom. Ova platforma omogućuje korisniku da se kreće u VR scenariju od

360° putem zaslona koji je postavljen na glavu, a pokreti korisnika su praćeni pomoću senzora za torzo, stopala i ruke. Slika 4.12 prikazuje KatWalk VR platformu koja je korištena za simulaciju u DISEG-u na Politecnico di Torino.



Slika 4.12 KAT VR platforma: scenarij virtualne stvarnosti (lijevo), postavke igrača (desno).

KATVR platforma je integrirala fluidno dinamički softver koji omogućuje reprodukciju širenja vatre i dima u virtualnom okruženju, zajedno s simulacijom kretanja agenata (ljudi koji se evakuiraju) unutar tog okruženja. Integracija fluidno dinamičkog softvera omogućuje realistično simuliranje požara i dima u virtualnoj stvarnosti, čime se stvara autentično i interaktivno iskustvo za korisnike.

Autori ovog rada ukazuju na vrijednost i primjenjivost predloženog VR sustava u analizi scenarija evakuacije u slučaju požara u javnim zgradama. Korištenjem ovog VR sustava, donositelji odluka i stručnjaci za spašavanje mogu detaljno i realistično proučiti proces evakuacije u različitim scenarijima, što će im pomoći u planiranju spašavanja i zaštite od požara u stvarnom svijetu. VR platforma omogućuje korisnicima da iskuse evolucijske hitne scenarije u prvom licu, pružajući im realističan uvid u situacije koje se mogu pojaviti tijekom evakuacije u slučaju požara. Ovo iskustvo pomaže donositeljima odluka da bolje razumiju izazove s kojima se suočavaju osobe koje se evakuiraju te da pravilno planiraju i pripreme mjere spašavanja i evakuacije. U konačnici, autori su zaključili da predloženi VR sustav predstavlja koristan alat za istraživanje, obuku i planiranje u kontekstu evakuacije u slučaju požara. Kombinirajući mogućnosti virtualne stvarnosti s reprodukcijom širenja vatre i dima, ovaj sustav pruža

realistično iskustvo koje može imati pozitivan utjecaj na sigurnost i učinkovitost spašavanja u stvarnim hitnim situacijama. [31]

4.6. Znanstveni rad br. 6: Integracija virtualne stvarnosti u nastavne programe građevinskog inženjeringa i upravljanje projektima (CEM) -studija slučaja(Eng. Integrating Virtual Reality (VR) Into Construction Engineering and Management (CEM) Courses-A Case Study)

U ovom znanstvenom radu istražuje se učinkovitost BIM-VR tehnologije u poboljšanju vještina prostorne spoznaje studenata o građevinskim komponentama. Fokus rada je na studiji slučaja koja je integrirala BIM-VR tehnologiju u jedan kolegij na Sveučilištu građevinskog inženjerstva s ciljem pružanja imerzivnog okruženja građevinskih projekata kako bi se studentima pomoglo u boljem razumijevanju složenih građevinskih nacрта.

Autori su proveli dvije kvantitativne studije kako bi procijenili učinke BIM-VR tehnologije na vještine prostornog prepoznavanja studenata.

Prva studija obuhvatila je *test crtanja krovnih ploha*, a rezultati su bilježeni prije i nakon primjene BIM-VR tehnologije. U ovoj studiji, autori su odabrali 33 studenta druge godine koji su imali malo ili nimalo prethodnog iskustva u čitanju i izradi 2D CAD nacрта kako bi istražili učinkovitost BIM-VR tehnologije u poboljšanju vještina prostorne spoznaje studenata o građevinskim komponentama. Sudionici su bili dio kolegija na Sveučilištu građevinskog inženjerstva, čiji je primarni cilj bio pomoći studentima da razviju vještinu čitanja građevinskih nacрта te se upoznaju s korištenjem CAD-a za izradu nacрта i BIM-a za modeliranje, virtualizaciju i upravljanje građevinskim projektima. Očekivani obrazovni ishodi ovog kolegija obuhvaćali su stjecanje osnovnih znanja o CAD-u i BIM-u, učenje kako napraviti građevinske nacрте i prikaze presjeka 3D objekata u CAD-u, čitanje građevinskih nacрта te izradu 3D prikaza objekata u BIM-u. Učinkovitost BIM-VR tehnologije u poboljšanju vještina prostorne spoznaje studenata procijenjena je kroz dva testa. *U prvom testu*, studentima je na početku semestra dodijeljen karakterističan tlocrt i četiri pročelja jednokatne zgrade. Njihov zadatak bio je skicirati nacrt krovnih ploha zgrade na temelju tih podloga. Ovaj test služio je kao početna točka za procjenu njihove sposobnosti u razumijevanju građevinskih nacрта. Nakon završetka prvog testa, studentima je pružena prilika da istraže model iste zgrade, kao i modele nekih drugih

zgrada, koristeći BIM-VR tehnologiju. Kroz korištenje BIM-VR tehnologije, studenti su imali interaktivno iskustvo istraživanja građevinskih projekata u virtualnom okruženju. Ova tehnologija omogućila im je da se približe modelima zgrada, istraže svaki kutak i prostor, te dobiju bolji uvid u prostorni raspored i komponente građevina. Studenti su koristili Revit za izradu 3D modela zgrada, a za renderiranje i virtualni prikaz koristili su Enscape. Da bi pristupili virtualnim 3D modelima zgrada, koristili su VR naočale Oculus Rift VR koje imaju visoku razlučivost od 1080×1200 po oku, što je pridonijelo realističnom iskustvu virtualne stvarnosti. ***U drugom testu***, koji je proveden na kraju semestra, studenti su ponovno dobili istu vrstu podloge kao u prvom testu – karakterističan tlocrt i četiri visine jednokatne zgrade, ali za drugu zgradu, odnosno drugi građevinski projekt. Njihov zadatak bio je, kao i u prvom testu, napraviti nacrt krovnih ploha zgrade na temelju dobivenih podloga. ***Statistički rezultati prve kvantitativne studije*** pokazali su značajno poboljšanje vještina prostorne percepcije kod studenata kroz korištenje BIM-VR tehnologije. Provedeno istraživanje je pokazalo da je prosječno poboljšanje bilo 17%, što ukazuje na to da su studenti postigli bolje rezultate u prepoznavanju i razumijevanju prostornih aspekata građevinskih komponenti nakon što su imali priliku istraživati modele zgrada kroz virtualnu stvarnost.

Osim toga, primijećeno je i poboljšanje u vještini čitanja građevinskih nacрта. To znači da su studenti nakon korištenja BIM-VR tehnologije razvili bolje razumijevanje i interpretaciju građevinskih nacрта, što je ključno za uspješno projektiranje i izgradnju građevinskih projekata.

U drugoj kvantitativnoj studiji, autori su koristili anketu s dvanaest pitanja kako bi dobili povratne informacije od studenata o primjeni VR-a. Rezultati ankete pokazali su da većina studenata smatra BIM-VR tehnologiju učinkovitim i korisnim alatom koji je povećao njihov interes za BIM tehnologiju i pripremio ih za buduće karijere u građevinskoj industriji. Povratne informacije koje su autori dobili bile su pozitivne, što ukazuje na pozitivan dojam studenata o integraciji BIM-VR tehnologije u kolegij.

Predstavljeni kolegij na Sveučilištu u **** je prvi koji je implementirao VR tehnologiju u CEM nastavni plan i program. To predstavlja značajan korak u obrazovanju studenata građevinskog inženjerstva i menadžmenta te otvara vrata novim i inovativnim načinima poučavanja u tom području.

Iako su povratne informacije bile pozitivne, autori su istaknuli glavni nedostatak ovog istraživanja - ograničenje uzorka ispitivanja. Naime, u istraživanju je sudjelovalo samo 33 studenta. Veći uzorak ispitanika omogućio bi bolje i konkretnije rezultate, te bi dao još dublji uvid u učinkovitost i utjecaj BIM-VR tehnologije na razvoj vještina studenata. [33]

4.7. Sažetak znanstvenih radova

Iz analize navedenih znanstvenih radova možemo zaključiti da virtualna stvarnost (VR) igra sve veću ulogu na području arhitekture i graditeljstva.

VR tehnologija ima značajan potencijal za unaprjeđenje načina prezentacije i prodaje nekretnina, posebno u kontekstu stanova u pretprodaji. Korištenje VR-a omogućuje potencijalnim kupcima da imaju bolji doživljaj stambenog prostora prije nego što su stanovi stvarno izgrađeni. Ovo može poboljšati njihovo razumijevanje i donošenje informiranih odluka pri kupnji nekretnina. Međutim, ograničenja tehnologije mogu utjecati na korisničko iskustvo i stvarati prepreke u širem usvajanju VR-a u industriji. To potiče daljnje istraživanje i razvoj kako bi se poboljšala upotrebljivost i korisničko iskustvo VR tehnologije u prodaji nekretnina. Unatoč izazovima, primjena VR sustava u budućnosti za prodaju stanova u pretprodaji neizbježna. Potencijalne koristi za potrošače i industriju nekretnina čine VR tehnologiju vrijednom sredstvom za unaprjeđenje ukupnog iskustva kupovine nekretnina i poticanje inovacije u ovom sektoru. [27]

Uporaba Immersive Virtual Reality (IVR) tehnologije u arhitektonskom projektiranju donosi brojne koristi i perspektive. IVR omogućuje znatno unapređenje procesa dizajniranja i komunikacije arhitektonskih projekata, što može povećati učinkovitost i kvalitetu konačnih rezultata. Također, važno je prepoznati i nedostatke koji mogu utjecati na iskustvo korisnika i učinkovitost korištenja IVR-a. Potreba za dodatnom obukom i vježbanjem s aplikacijama kao što je Tilt Brush može predstavljati izazov za pojedince koji se prvi put susreću s ovom tehnologijom. Fizička nelagoda nakon dugotrajne uporabe Head-Mounted Display (HMD) uređaja može ograničiti udobnost korisnika tijekom korištenja IVR-a. Unatoč tim nedostacima, istraživanje potvrđuje da IVR ima perspektivu u budućnosti. Brzi napredak tehnologije omogućuje očekivanje smanjenja tih nedostataka ili njihovo rješavanje novim inovacijama. IVR ima značajan potencijal u arhitektonskom projektiranju i njezina primjena vjerojatno nastaviti rasti u budućnosti. [28]

Na tržištu postoji širok spektar VR softvera, neki su ograničeni na vizualizaciju BIM modela, dok drugi omogućuju napredniju interakciju s modelima, uključujući crtanje i dodavanje elemenata u VR sceni. Kompatibilnost s BIM projektima ima posebno važnost jer doprinosi

dubljem istraživanju virtualnih modela i poboljšava suradnju stručnjaka u projektima. Međutim, implementacija VR tehnologije u industriji arhitekture, građevinarstva i inženjerstva zahtijeva značajno ulaganje u odgovarajući VR softver i moćne grafičke procesore. Visoki troškovi mogu predstavljati prepreku za manje tvrtke ili pojedince s ograničenim budžetom. Ipak, integracija VR tehnologije u BIM obrazovanje pruža budućim stručnjacima mogućnost stjecanja iskustva i razumijevanja potencijala VR-a za vizualizaciju i simulaciju stvarnih projekata. [29]

Vizualno promatranje iskorištenosti prostora u VR omogućuje voditeljima izgradnje i planerima precizniji uvid u organizaciju gradilišta i međusobno funkcioniranje različitih dijelova gradilišta. Korištenjem VR tehnologije, oni mogu identificirati potencijalne probleme i sudare među građevinskim elementima i opremom, što im omogućuje rano otkrivanje i intervenciju kako bi se smanjili rizici od kašnjenja i dodatnih troškova tijekom izgradnje. Ovakav napredni alat za planiranje i organizaciju gradilišta povećava produktivnost, optimizira resurse i smanjuje rizike, što pridonosi uspješnijoj izvedbi projekta izgradnje. VR tehnologija tako donosi velike koristi voditeljima gradilišta i planerima, čineći njihov rad učinkovitijim i sigurnijim. [30]

VR sustav predstavlja snažan alat za analizu scenarija evakuacije u slučaju požara u javnim zgradama jer korisnicima omogućuje da dožive evakuacijske situacije u prvom licu, pružajući im autentičan uvid u izazove s kojima se suočavaju osobe koje se evakuiraju. Kombinirajući mogućnosti virtualne stvarnosti s reprodukcijom širenja vatre i dima, ovaj sustav pruža realistično iskustvo koje pozitivno utječe na sigurnost i učinkovitost spašavanja u stvarnim hitnim situacijama. Ovakav pristup omogućuje bolje pripreme i donošenje informiranih odluka s ciljem povećanja sigurnosti i zaštite u javnim zgradama u slučaju požara. [31]

Implementacija BIM-VR tehnologije na Sveučilištu pokazala se izrazito korisnom za studente arhitekture i građevine. Korištenjem ove tehnologije, studenti su ostvarili značajan napredak u razumijevanju i interpretaciji građevinskih nacrti, što je ključno za uspješno projektiranje i izradu projektne dokumentacije. Ovaj napredni pristup poučavanju omogućuje im da dožive realistične scenarije i situacije, što pridonosi razvoju njihovih vještina i sposobnosti u planiranju i upravljanju građevinskim projektima. [32]

5. SWOT analiza

5.1. Pojam i definicija SWOT analize

SWOT analiza je alat poslovne strategije koji se koristi za procjenu konkurentske pozicije poduzeća na tržištu. Kombinirajući unutarnje (snage i slabosti) i vanjske (prilike i prijetnje) čimbenike, SWOT analiza pruža sveobuhvatan pregled trenutnog stanja tvrtke i pomaže u identificiranju ključnih faktora koji mogu utjecati na njezinu uspješnost u budućnosti.

Snage poduzeća odražavaju njegove prednosti u odnosu na konkurenciju i čine ga konkurentske prednosti na tržištu. To uključuje resurse, vještine, tehnologiju, reputaciju, inovativnost ili bilo koji drugi faktor koji doprinosi uspješnosti poduzeća. **Slabosti** predstavljaju nedostatke i ograničenja tvrtke koja je čine manje konkurentnom na tržištu. To mogu biti nedostaci u resursima, tehnologiji, vještinama, upravljanju ili bilo koji drugi aspekt koji ometa postizanje poslovnih ciljeva. Identificiranje snaga i slabosti pomaže poduzeću u prepoznavanju oblasti u kojima se ističe i oblasti koje treba poboljšati. S druge strane, **prilike** predstavljaju vanjske čimbenike, kao što su promjene na tržištu, tehnološki napredak, potrebe kupaca i sl., koje tvrtka može iskoristiti za svoj razvoj i rast. **Prijetnje** su također vanjski čimbenici koji predstavljaju potencijalne opasnosti za poslovanje, kao što su promjene u zakonodavstvu, ekonomske krize, konkurencija i sl. Identificiranje prilika i prijetnji pomaže tvrtki da se bolje pripremi za okolnosti na tržištu i osigura svoju održivost i uspjeh. SWOT analiza omogućuje donositeljima odluka da stvore strategije koje će iskoristiti snage i prilike te istovremeno prevladati slabosti i prijetnje. To je snažan alat za oblikovanje poslovne strategije i donošenje informiranih odluka koje će doprinijeti uspješnom vođenju poslovanja. [33]

SWOT analiza



Slika 5.1 SWOT analiza (izvor: Plavi ured)

5.2. Snage primjene virtualne stvarnosti u arhitekturi i graditeljstvu

Pregledom znanstvenih radova može se zaključiti da primjena virtualne stvarnosti u arhitekturi i graditeljstvu ima brojne prednosti:

- ***Snazan alat za angažman dionika:*** VR se koristi kao marketinški komunikacijski alat kako bi se olakšala prezentacija tržišnih ponuda nekretnina i omogućila interaktivna komunikacija s potencijalnim klijentima i dionicima u procesu projektiranja i gradnje. [9,27]
- ***Mogućnost pružanja projektne podrške:*** VR podržava inženjere arhitekture u ranoj fazi projektiranja građevina, omogućujući im procjenu dizajnerskih odluka i poboljšanje konačnih rezultata. Također, omogućuje suradničku analizu projekata konstrukcija. [9,28, 34]
- ***Snazan alat za pregled dizajna:*** Kroz VR tehnologiju moguće je pregledavati dizajn u stvarnom mjerilu i razrađivati dizajnerske alternative u ranim fazama projektiranja kako bi se izbjegle eventualne pogreške [9,29, 35]

- ***Snažan alat za planiranje gradnje:*** VR tehnologija omogućuje stvaranje imerzivnih simulacija gradnje pri samom planiranju, što pomaže predvidjeti potencijalne probleme, smanjiti rizike i kašnjenja te optimizirati tijek gradnje [9,30]
- ***Snažan alat za praćenje gradnje:*** VR ima potencijal praćenja napretka izgradnje zgrade u virtualnom okruženju, što može biti vrlo korisno kako bi se pravovremeno osigurala isporuka građevinskog materijala i smanjila mogućnost kašnjenja građevinskih radova[9,30]
- ***Snažan alat za osiguranje sigurnosti u izgradnji:*** VR omogućuje identifikaciju opasnosti, pruža edukaciju i osposobljavanje o sigurnosti te se koristi za sigurnosne inspekcije i upute, što povećava sigurnost na gradilištu. [9,30]
- ***Mogućnost pružanja operativne podrške:*** Uz pomoć građevinskih robota s implantiranim VR sustavom, moguće je raditi na opasnim mjestima, kao što su mjesta katastrofa i ekstremna okruženja, te na zadacima rušenja. [9,30]
- ***Smanjeni rizik i troškovi:*** Upotreba imerzivnih tehnika smanjuje rizik i troškove projektiranja i izgradnje kroz bolje razumijevanje projektnih aspekata. [9, 34, 35]
- ***Mogućnost pružanja poslovne podrške:*** VR sustav omogućuje daljinsko upravljanje zgradom i poboljšava upravljanje objektima, omogućujući suradnju stručnjaka na udaljenim lokacijama u virtualnom okruženju. Također se može koristiti za procjenu i simulaciju evakuacije u slučaju požara. [9,31]
- ***Štednja vremena putovanja:*** Imerzivne tehnike smanjuju potrebu za fizičkim putovanjima radi prezentacije projekata. [9, 36]
- ***Iskustvo kupaca:*** Kupci mogu doživjeti proizvod ili uslugu u stvarnom prostoru putem imerzivnih tehnika. [9, 27]
- ***Društveni i emocionalni utjecaj:*** Imerzivne tehnike stvaraju društveni i emocionalni utjecaj koji jača veze između sudionika u projektima. [9, 37]
- ***Snažan alat za osposobljavanje i edukaciju:*** VR pruža realistične scenarije u kojima korisnici stječu praktična znanja i vještine izvođenjem simulacija stvarnih aktivnosti, što smanjuje troškove obuke i putne troškove te poboljšava vještine prostorne spoznaje studenata. [9,32]
- ***Bolja povratna informacija:*** Imerzivne tehnike omogućuju klijentima i dionicima stvarno iskustvo objekta ili projekta, što rezultira preciznijom i detaljnijom povratnom informacijom. Ovo poboljšava kvalitetu projektiranja i izgradnje. [9, 38]

- **Unaprijeđeni marketing:** VR omogućuje efikasno marketinško predstavljanje projekata putem atraktivnih virtualnih tura, privlačeći potencijalne kupce i investitore. [9, 27]
- **Znanje o potencijalnim rizicima:** VR omogućuje identifikaciju potencijalnih problema i rizika u dizajnu prije nego što se krene s izvođenjem, smanjujući potrebu za kasnijim ispravcima. [9, 28, 29, 39]
- **Pomoć u nabavi materijala:** Virtualne simulacije omogućuju bolje razumijevanje materijala i njihovu interakciju, olakšavajući nabavu i smanjujući otpad. [9, 31]
- **Povećanje kompetencije radnika:** VR omogućuje realističnu simulaciju različitih zadataka i situacija, povećavajući vještine i kompetenciju radnika. [9, 40]
- **Razumijevanje prostora:** VR pomaže studentima da razumiju i nauče bolje razumijevati prostorne koncepte i dimenzije. [9, 28, 33]
- **Smanjenje grešaka na gradilištu:** Identificiranje i ispravljanje potencijalnih grešaka i problema na gradilištu putem VR tehnologije smanjuje rizik od nesreća i nesporazuma. [9, 31, 40]
- **Daljinska provjera napretka:** Kroz VR, menadžeri objekta mogu daljinski pratiti napredak gradnje i održavanja te donositi informirane odluke. [9, 41]

5.3. Slabosti primjene virtualne stvarnosti u arhitekturi i graditeljstvu

Primjena VR tehnologije u arhitekturi i graditeljstvu također nosi niz slabosti koje mogu ometati postizanje poslovnih ciljeva:

- **Poteškoće pri korištenju:** Za mnoge korisnike sučelje VR tehnologije nije dovoljno jednostavno za samostalno korištenje, često zahtijevajući pratitelja. [9,28,42]
- **Osjećaj izolacije:** Upotreba VR tehnologije smanjuje socijalnu interakciju i može izazvati osjećaj izolacije. [28, 42,]
- **Visoka ulaganja:** Za korištenje VR tehnologije potrebni su opremljeni prostor i kvalificirano osoblje, što rezultira visokim početnim ulaganjima. [29, 42]
- **Ograničenje kretanja:** Kretanje u VR tehnologiji često je ograničeno na unaprijed definirano područje. [42]
- **Bolest kretanja:** Nakon VR iskustva, neki korisnici doživljavaju mučninu, vrtoglavicu i dezorijentiranost. [28, 42, 43]

- ***Greške u lokaciji:*** Nepravilna registracija lokacije u virtualnom prostoru može uzrokovati nesklad između stvarnog i virtualnog okruženja. [42, 44]
- ***Nedostatak standarda:*** Nedostatak standarda za primjenu VR okruženja u arhitekturi i građevini dovodi do problema s konverzijama raznih parametara objekata, kao što su tekstura, materijal i BIM metapodaci. [9, 42]
- ***Poteškoće u kreiranju sadržaja:*** Kreiranje kvalitetnog virtualnog sadržaja može biti izazovno i zahtijevati posebne vještine. [9, 42]
- ***Nedostatak potpune hardverske opreme:*** Nekadašnji nedostatak potpuno integrirane hardverske opreme može utjecati na korisničko iskustvo. [9, 42, 44]
- ***Značajno vrijeme potrebno za implementaciju:*** Implementacija imerzivnih tehnika zahtijeva značajno vrijeme za razvoj, testiranje i integraciju. [9, 42]
- ***Poteškoće u dijeljenju sadržaja:*** Dijeljenje virtualnog sadržaja s drugima može biti tehnički zahtjevno. [9]
- ***Problemi s korisničkim sučeljem:*** Nepravilno ili neprikladno korisničko sučelje može otežati korištenje imerzivnih tehnika. [42]
- ***Problemi s interoperabilnošću:*** Prevođenje promjena dizajna iz VR sustava u BIM modele te poteškoće u bilježenju iskustava korisnika zahtijevaju bolju komunikaciju između BIM modela i VR sustava. [9, 33, 42]
- ***Potrebna visoka stručnost:*** Nedostatak stručnjaka s potrebnim kvalifikacijama iz oblasti arhitekture, graditeljstva i VR tehnologije otežava proizvodnju VR sadržaja [9, 42]
- ***Poteškoće u arhiviranju VR izlaza:*** Nemogućnost arhiviranja VR izlaza za kasniji pregled ili zabilježavanje korisničkih iskustava ograničava mogućnosti. [9, 42]
- ***Ograničenja veličine datoteke:*** Veličina datoteke može spriječiti učitavanje svih materijala i tekstura u modele, što dovodi do sporijih performansi računala. [9, 31, 42]
- ***Problemi s internetom:*** Problemi s internetom mogu rezultirati ograničenim kretanjem i zaostajanjem slike. [9, 42, 44]
- ***Niska razlučivost:*** Niska rezolucija može dodatno opterećivati korisničko iskustvo. [9, 31, 42]
- ***Nelagodni za upotrebu:*** Mnogi HMD uređaji (head-mounted display) nisu udobni ili sigurni za dugotrajnu upotrebu, što utječe na njihovu svrhu, primjerice za pregled dizajna. [9, 29, 42, 44]
- ***Slab vijek trajanja baterije:*** Nedovoljan kapacitet baterije uređaja jedno je od glavnih ograničenja korištenja VR tehnologije na terenu. [9, 42]

5.4. Prilike primjene virtualne stvarnosti u arhitekturi i graditeljstvu

Primjena VR tehnologije u arhitekturi i graditeljstvu nosi sa sobom niz nedostataka koji zahtijevaju istraživanje i unapređenje kako bi se povećala produktivnost. Rješavanjem tih nedostataka otvaraju se nove prilike za buduću primjenu VR tehnologije u ovim područjima:

- **Udobnost i sigurnost uređaja:** Trenutni VR uređaji nisu dovoljno udobni za dugotrajnu upotrebu, ali moguće je unaprijediti dizajn kroz korisničke studije kako bi se osigurala veća udobnost i sigurnost, povećavajući tako vrijeme upotrebe VR uređaja. [42, 45]
- **Mogućnost sagledavanja prostora u stvarnom mjerilu i proporcijama:** VR tehnologija omogućava prikazivanje elemenata arhitektonskog dizajna u stvarnom mjerilu i proporcijama, čime se pruža iskustveni način percepcije prostora [9, 28, 29, 42]
- **Mogućnost za više korisnika i više uređaja:** Višekorisnička imerzivna iskustva omogućuju bolju suradnju na istom modelu te skraćuju vrijeme za prepoznavanje anomalija i poduzimanje učinkovitih radnji. [9, 31, 32, 42]
- **Duži vijek trajanja baterija:** Rješavanjem problema s kapacitetom baterija na VR uređajima, moguće je obavljati više radova na terenu. [9, 42]
- **Bežične tehnologije:** Napredak bežičnih tehnologija omogućava veću mobilnost i fleksibilnost korisnika prilikom korištenja imerzivnih tehnika. [9, 46]
- **Pristupačnost u cijeni:** Smanjenje troškova hardvera i softvera čini imerzivne tehnike dostupnijim širem spektru korisnika i organizacija. [47]
- **Napredak tehnika:** Neprestani napredak tehnika omogućuje bolje iskustvo korisnicima i organizacijama, uz kontinuirano poboljšanje performansi. [47]
- **Povećanje produktivnosti:** Imerzivne tehnike mogu poboljšati produktivnost i učinkovitost procesa projektiranja, analize i planiranja, što dovodi do smanjenja vremena i resursa. [28, 29, 30, 31]
- **Poboljšanje reputacije tvrtke:** Upotreba imerzivnih tehnika može poboljšati reputaciju organizacije kao tehnološki napredne i inovativne. [27]
- **Razumijevanje prostora:** Imerzivne tehnike pružaju korisnicima bolje razumijevanje prostornih odnosa i dimenzija, olakšavajući donošenje informiranih odluka. [27, 28, 29]

- ***Povećanje poslovanja:*** Imerzivne tehnike mogu potaknuti rast poslovanja kroz bolje komunikacije, povećanje angažmana i privlačenje novih klijenata.[27]
- ***Arhiviranje VR sadržaja i iskustava:*** Razvoj metoda za snimanje i arhiviranje korisničkih iskustava omogućuje dijeljenje tih iskustava s drugim korisnicima te pruža potencijal za učenje i podučavanje. [9, 33, 42]
- ***Sinkronizacija podataka:*** Integracija virtualnih modela u stvarnom vremenu omogućuje bolju produktivnost i točnost primjene VR vizualizacije, smanjujući rad i izvore pogrešaka. [9, 31, 33, 42]
- ***Automatsko hvatanje okoliša:*** Razvoj sustava za hvatanje okoline u stvarnom vremenu poboljšava primjenu VR tehnologije, posebno na promjenjivim lokacijama kao što su gradilišta. [9, 32, 42]
- ***Multimodalna interakcija čovjeka i računala (HCI):*** Integracija više osjetila u VR iskustva omogućuje intuitivnije interakcije te otvara vrata za raznolika multisenzorna iskustva. [42]
- ***Integracija računalnog vida:*** Kombinacija imerzivnih tehnika s računalnim vidom omogućava preciznije praćenje i analizu gradilišta. [31]
- ***Integracija umjetne inteligencije:*** Integracija AI-a povećava razumijevanje i analizu podataka te poboljšava praćenje napretka i upravljanje rizicima. [32]
- ***Integracija tehnologije dronova:*** Integracija dronova s imerzivnim tehnikama olakšava praćenje i analizu gradilišta iz zraka. [31]
- ***Nove metode simulacija:*** Razvoj naprednih simulacijskih metoda omogućava preciznije predviđanje i analizu rizika na gradilištima. [31]
- ***Motivacija novih studenata:*** Uvođenje imerzivnih tehnika u obrazovni sustav privlači nove studente i potiče njihovu zainteresiranost. [9, 32, 35]
- ***Ušteda na materijalima:*** Bolja analiza i planiranje uz pomoć imerzivnih tehnika dovodi do uštede na materijalima i resursima. [42, 31]
- ***Učenje kroz praktično iskustvo:*** Imerzivne tehnike omogućavaju korisnicima da uče kroz praktično iskustvo, što poboljšava razumijevanje i zadržavanje znanja. [32, 35]
- ***Bolja analiza opasnosti za posao:*** Korištenje VR-a za rad opreme na daljinu može poboljšati sigurnost u opasnim i štetnim okruženjima, kao što su rudarske operacije. [31, 42]

5.5. Prijetnje primjene virtualne stvarnosti u arhitekturi i graditeljstvu

Prijetnje, odnosno potencijalne opasnosti primjene VR tehnologije u arhitekturi su sljedeće:

- **Sigurnost i privatnost sadržaja:** Upotreba VR tehnologije može izložiti korisničke podatke cyber napadima, te postoji mogućnost krađe osjetljivih informacija o projektima i dizajnim. [42, 48]
- **Rizik kapitala:** Uvođenje imerzivnih tehnika nosi sa sobom financijski rizik ulaganja u skupu hardversku i softversku infrastrukturu. [49]
- **Licencne obveze:** Uvođenje imerzivnih tehnika može donijeti potrebu za licenciranjem softvera i tehnologije, što može rezultirati dodatnim troškovima i ograničenjima. [42]
- **Štetni učinci na zdravlje:** Povezanost s dugotrajnom upotrebom VR uređaja s potencijalnim zdravstvenim problemima poput problema s vidom i osjećajem mučnine za neke korisnike. [9, 42, 43]
- **Brza promjena tehnologije:** Brza evolucija VR tehnologije može dovesti do brzog zastarijevanja postojeće opreme i potrebe za čestim nadogradnjama. [9, 42, 50]
- **Intelektualna svojina:** Virtualni modeli i dizajni mogu biti osjetljivi na kršenje intelektualne svojine i neovlašteno korištenje. [42, 51]
- **Problemi s tehnikom:** Imerzivne tehnike mogu postati zastarjele ili manje učinkovite u odnosu na nove tehnologije. [42, 43]
- **Pravne prijave:** Uvođenje imerzivnih tehnika može otvoriti mogućnost za pravne prijave, posebno u vezi s komunikacijom i predstavljanjem projekata. [42, 51]
- **Pravne odgovornosti:** Korištenje imerzivnih tehnika može dovesti do pravnih odgovornosti u slučaju problema s projektima ili komunikacijom. [51]
- **Gubitak ljudskog faktora:** Pretjerana automatizacija i upotreba VR tehnologije može dovesti do smanjenja stvarne interakcije među timovima i klijentima, što može utjecati na kvalitetu rada i komunikacije. [9, 42]
- **Ovisnost o infrastrukturi:** VR tehnologija zahtijeva visokokvalitetnu računalnu i mrežnu infrastrukturu, što može predstavljati izazov u manje razvijenim područjima ili tijekom putovanja. [42, 43]

- ***Povećanje kognitivnog opterećenja:*** Nakon određenog vremena upotrebe dolazi do povećanja kognitivnog opterećenja korisnika ili radnika, što može biti neugodno za dugotrajnu upotrebu [42, 43]
- ***Ograničenje pohrane podataka:*** Poteškoće u pohranjivanju složenih BIM modela zbog velikog skupa podataka u njima dovode do problema u pravom prikazu BIM modela, pogotovo kod prisutnosti velikog broja uključenih objekata i slika. [29]
- ***Visoki troškovi robotske teleoperacije:*** Iako procesi rada na daljinu povezani s fizičkim radom značajno poboljšavaju sigurnost u industriji AEC-a, koja često uključuje opasna i rizična okruženja, troškovi rada na daljinu putem XR uređaja mogu biti znatno visoki. [42, 52]
- ***Opasnost od ozljeda:*** Uronjeni u virtualni svijet, korisnici lako zaboravljaju svoje stvarno okruženje, što može dovesti do tjelesnih ozljeda. [42, 53]
- ***Sigurnost podataka:*** Korištenje VR-a može povećati ranjivost podataka i otvoriti vrata cyber napadima [42, 48]
- ***Nedostatak senzorskih ulaza:*** VR može imati ograničenu sposobnost prenošenja svih osjetilnih informacija sa stvarnog gradilišta na virtualno okruženje. [42]
- ***Gubitak radnih mjesta:*** Integracija VR-a u upravljanje objektima može dovesti do straha od gubitka radnih mjesta za ljude koji su tradicionalno obavljali te zadatke. [42, 54]
- ***Rizik svijesti o situaciji:*** Korištenje VR-a za planiranje izgradnje može smanjiti svijest o stvarnom stanju gradilišta. [42, 30]
- ***Nedostatak multimodalnih osjeta:*** VR ne može uvijek prenijeti sve multimodalne osjete koje su potrebne za potpuno razumijevanje okoline. [42, 55]
- ***Nepredviđene promjene grafike:*** Iznenađne promjene u grafici i vizualnom prikazu mogu izazvati dezorijentaciju i nelagodu. [43]
- ***Vrtoglavica pri dugotrajnom korištenju:*** Prolongirana uporaba VR-a može uzrokovati vrtoglavicu i nelagodu među radnicima. [42, 43]
- ***Fragmentiran sadržaj:*** Sadržaj VR obuke može biti fragmentiran i nepovezan, što može otežati učenje i razumijevanje. [42]

6. Zaključak

Uvođenje VR tehnologije označilo je ključan preokret na tržištu, premještajući njezin fokus izvan gaming industrije prema raznim drugim sektorima kao što su obrazovanje, digitalni marketing, aktivizam, inženjerstvo, robotika, likovna umjetnost, zdravstvo, kliničke terapije, kulturna baština, arheologija, zaštita na radu te društvene znanosti i psihologija. Tijekom posljednjih desetljeća, također arhitektonski i građevinski inženjeri su sve više prepoznali potencijal virtualne stvarnosti.

Virtualna stvarnost otvara neistražene horizonte u području arhitekture i graditeljstva, transformirajući aspekte koji su prije njenog razvoja izgledali nedostižno. Njezina sposobnost da oblikuje svaku fazu procesa, od inicijalnog projektiranja do završne izgradnje, iznimno je značajna. VR omogućuje procjenu mogućnosti projektiranja i prezentaciju prijedloga na način koji je interaktivan i učinkovit. Ujedno, omogućava prepoznavanje potencijalnih pogrešaka te rješavanje pitanja vezanih uz izgradnju i upotrebljivost.

Šest ključnih slučajeva upotrebe VR tehnologije u arhitekturi i graditeljstvu donosi izniman doprinos ovom sektoru:

Angažiranje dionika – VR postaje moćno marketinško oružje za privlačenje potencijalnih klijenata te omogućuje interaktivnu komunikaciju sa svim sudionicima procesa.

Podrška pri projektiranju – Inženjerima arhitekture pruža podršku u ranim fazama projektiranja kako bi bolje procijenili svoje dizajnerske odluke i postigli optimalne rezultate.

Pregled dizajna – Sudionici procesa dizajna i projektiranja mogu koristiti VR za pregled svojih kreacija u stvarnom mjerilu, olakšavajući razvoj alternativnih dizajnerskih rješenja i izbjegavanje mogućih grešaka.

Podrška pri izgradnji – VR tehnologija olakšava planiranje i nadzor gradnje, osigurava sigurnost konstrukcije te pruža praktičnu podršku građevinskim radovima u rizičnim okruženjima.

Upravljanje i marketing – Uz pomoć VR tehnologije moguće je daljinsko upravljanje objektima unutar imerzivnog okruženja, unaprjeđujući suradnju između terenskih i udaljenih uredskih.

Edukacija i osposobljavanje – VR tehnologija pruža realistične simulacije koje korisnicima omogućuju stjecanje znanja i vještina putem izvođenja praktičnih aktivnosti, zamjenjujući tradicionalno učenje iz knjiga.

U današnjem dinamičnom poslovnom okruženju, vodeće arhitektonske i građevinske tvrtke su prepoznale moćan potencijal koji pruža sveobuhvatna tehnologija virtualne stvarnosti. Ova tehnologija je postala snažan alat u njihovom poslovanju, omogućujući im značajne koristi u različitim aspektima djelovanja.

Pregledom znanstvenih istraživanja jasno se ocrtavaju raznolike implikacije primjene virtualne stvarnosti u arhitekturi i graditeljstvu, koje su sustavno analizirane putem SWOT analize. Ova analiza identificira ključne snage, slabosti, prilike i prijetnje povezane s korištenjem VR tehnologije u ovim sektorima. U tablicama 6.1. i 6.2. tabelarno je dan prikaz SWOT analize.

| SNAGE | SLABOSTI |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Snažan alat za angažman dionika • Mogućnost pružanja projektne podrške • Snažan alat za pregled dizajna • Snažan alat za planiranje gradnje • Snažan alat za praćenje gradnje • Snažan alat za osiguranje sigurnosti u izgradnji • Mogućnost pružanja operativne podrške • Smanjeni rizik i troškovi • Mogućnost pružanja poslovne podrške • Štednja vremena putovanja • Iskustvo kupaca • Društveni i emocionalni utjecaj • Snažan alat za osposobljavanje i edukaciju • Bolja povratna informacija • Unaprijeđeni marketing • Znanje o potencijalnim rizicima • Pomoć u nabavi materijala • Povećanje kompetencije radnika • Razumijevanje prostora • Smanjenje grašaka na gradilištu • Daljinska provjera napretka | <ul style="list-style-type: none"> • Poteškoće pri korištenju • Osjećaj izolacije • Visoka ulaganja • Ograničenje kretanja • Bolest kretanja • Greške u lokaciji • Nedostatak standarda • Poteškoće u kreiranju sadržaja • Nedostatak potpune hardverske opreme • Značajno vrijeme potrebno za implementaciju • Poteškoće u dijeljenju sadržaja • Problemi s korisničkim sučeljem • Problemi s interoperabilnošću • Potrebna visoka stručnost • Poteškoće u arhiviranju VR izlaza • Ograničenja veličine datoteke • Problemi s internetom • Niska razlučivost • Nelagodni za upotrebu • Slab vijek trajanja baterije |

Tablica 6.1 SWOT analiza – Snage i slabosti

| PRILIKE | PRIJETNJE |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Udobnost i sigurnost uređaja • Mogućnost sagledavanja prostora u stvarnom mjerilu i proporcijama • Mogućnost za više korisnika i više uređaja • Duži vijek trajanja baterija • Bežične tehnologije • Pristupačnost u cijeni • Napredak tehnika • Povećanje produktivnosti • Pобољшanje reputacije tvrtke • Razumijevanje prostora • Pобољшanje poslovanja • Arhiviranje VR sadržaja i iskustava • Sinkronizacija podataka • Automatsko hvatanje okoliša • Multimodalna interakcija čovjeka i računala • Integracija računalnog vida • Integracija umjetne inteligencije • Integracija tehnologije dronova • Nove metode simulacija • Motivacija novih studenata • Ušteda na materijalima • Učenje kroz praktično iskustvo • Bolja analiza opasnosti za posao | <ul style="list-style-type: none"> • Sigurnost i privatnost sadržaja • Rizik kapitala • Licencne obveze • Štetni učinci na zdravlje • Brza promjena tehnologije • Intelektualna svojina • Problemi s tehnikom • Pravne prijevare • Pravne odgovornosti • Gubitak ljudskog faktora • Ovisnost o infrastrukturi • Povećanje kognitivnog opterećenja • Ograničenje pohrane podataka • Visoki troškovi robotske teleoperacije • Opasnost od ozljeda • Nedostatak senzorskih ulaza • Gubitak radnih mjesta • Rizik svijesti o situaciji • Nedostatak multimodalnih osjeta • Nepredviđene promjene grafike • Vrtoglavica pri dugotrajnoj uporabi • Fragmentiran sadržaj |

Tablica 6.2 SWOT analiza – Prilike i prijetnje

Iako je virtualna stvarnost u posljednje vrijeme postala važan alat za određene vodeće tvrtke u području arhitekture i graditeljstva, općenito gledano, njezina prihvaćenost u sektoru arhitekture, inženjeringa i građevinarstva (AEC) i dalje ostaje prilično niska. Najčešći slučaj upotrebe ove tehnologije je angažman dionika, gdje se koristi kao sredstvo komunikacije i interakcije s potencijalnim klijentima te sudionicima u procesu projektiranja i izgradnje.

Unatoč tome, primjećuje se značajan interes brojnih arhitektonskih i građevinskih tvrtki za ulaganje u tehnologiju virtualne stvarnosti. Ovaj interes nagovještava da postoji prepoznavanje njenog potencijala za transformaciju i poboljšanje različitih aspekata poslovanja u AEC sektoru. Ove tvrtke su svjesne da korištenje VR tehnologije može unaprijediti proces projektiranja, olakšati praćenje gradnje, poboljšati suradnju među timovima te rezultirati učinkovitijim i inovativnijim rješenjima. Kako bi se postiglo šire usvajanje VR tehnologije u području arhitekture i graditeljstva, nužno je provesti dodatne istraživačke programe. Ti programi bi trebali istražiti i rješavati prepreke koje trenutno ograničavaju prihvaćenost tehnologije, kao što su poteškoće u korištenju, potreba za visokom stručnošću te tehničke i operativne prepreke.

U konačnici, uspješno usvajanje VR tehnologija u AEC sektoru zahtijeva i kontinuirano usavršavanje osoblja. Uredski i terenski radnici moraju steći potrebne vještine i znanja kako bi efikasno koristili ovu tehnologiju. Sveukupno, napredak u prihvaćanju i implementaciji virtualne stvarnosti u arhitekturi i graditeljstvu zahtijevat će suradnju, obrazovanje i daljnje istraživanje kako bi se ostvarile njezine pune prednosti i potencijali.

HRON
ALISBBAINN

Sveučilište Sjever

VZKC



MMI

SVEUČILIŠTE
SJEVER

IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, GENOVEVA VEBLE (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom PRIMJENA VIRTUALNE SNARNOSTI U ARHITEKTURI I GRADNJEŠTU (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

GENOVEVA VEBLE, G. Vesce
(vlastoručni potpis)

Sukladno čl. 83. Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Sukladno čl. 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje znanstvena i umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.

7. Literatura

Članak:

- [1] Shanmugam, M.; Sudha, M.; Lavitha, K.; Venkatesan, V.P.; Keerthana, R. Research opportunities on virtual reality and augmented reality: A survey. In Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCAN), Pondicherry, India, 29–30 March 2019. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8878796>
- [2] Doerner, Broll, Jung, Grimm, Gobell, Kruse: Introduction to Virtual and Augmented Reality, 2022, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-79062-2_1
- [3] Slater M. , Wilbur S., A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments,1997, <https://direct.mit.edu/pvar/article-abstract/6/6/603/18157/A->
- [4] Bowman & McMahan, Document details - Virtual reality: How much immersion is enough?, 2007, [Virtual reality: how much immersion is enough?](https://doi.org/10.1080/10447310701488888)
- [5] Witmer & Singer, 1998 Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire (Article), <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0000564575&origin=inward&txGid=1857b5a3ce023666b498b22b90ee1a08>
- [6] ML Ryan, Narrative as virtual reality 2: Revisiting immersion and interactivity in literature and electronic media,2015, <https://scholar.google.com/scholar?q=Narrative%20as%20virtual%20reality%2020%20Revisiting%20immersion%20and%20interactivity%20in%20literature%20and%20electronic%20media>
- [7] Moses Okechukwu Onyesolu, Understanding Virtual Reality Technology: Advances and Applications, 2011, https://www.researchgate.net/publication/221911335_Understanding_Virtual_Reality_Technology_Advances_and_Applications
- [8] Yuri Antonio Gonçalves Vilas Boas, Overview of Virtual Reality Technologies, https://www.davidmarlett.com/s/yavb1g12_25879847_finalpaper.pdf
- [9] Juan Manuel Davila Delgado, Lukumon Oyedele, Peter Demianc , Thomas Beachb: A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction, may 2020, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474034620300914>
- [10] F. Grudzewski, M. Awdziej, G. Mazurek, K. Piotrowska: Virtual Reality in Marketing Communication – the Impact on the Message, Technology and Offer Perception – Empirical Study, 2018, [Virtual Reality in Marketing Communication – the Impact on the Message, Technology and Offer Perception – Empirical Study \(sciendo.com\)](https://doi.org/10.1080/10447310701488888)
- [11] V.G. Kini, S. Sunil: Design and realization of sustainable rural housing using immersive virtual reality platform, 2019, [Design and Realization of Sustainable Rural Housing Using Immersive Virtual Reality Platform | Proceedings of the 25th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology](https://doi.org/10.1145/3321111.3321112)
- [12] D.M. Roach, I. Demirkiran: Computer aided drafting virtual reality interface, 2017, [Computer aided drafting virtual reality interface | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore](https://doi.org/10.1109/IC3D46016.2017.8242424)
- [13] Nguyen, M.-T., Nguyen, H.-K., Vo-Lam, K.-D., Nguyen, X.-G., Tran, M.-T.: Applying Virtual Reality in City Planning, 2016, [Applying Virtual Reality in City Planning | SpringerLink](https://doi.org/10.1007/978-3-319-28111-1_10)
- [14] L.P. Berg, J.M. Vance, An Industry Case Study: Investigating Early Design Decision Making in Virtual Reality, 2016, [An Industry Case Study: Investigating Early Design Decision Making in Virtual Reality | J. Comput. Inf. Sci. Eng. | ASME Digital Collection](https://doi.org/10.1115/1.4031111)
- [15] C. Boton: Supporting constructability analysis meetings with Immersive Virtual Reality-based collaborative BIM 4D simulation, 2018, [Supporting constructability analysis meetings with Immersive Virtual Reality-based collaborative BIM 4D simulation - ScienceDirect](https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.011)
- [16] J. Davidson, J. Fowler, C. Pantazis, M. Sannino, J. Walker, M. Sheikhhoshkar, F.P. Rahimian, Integration of Virtual Reality Applications with BIM for Facilitating Real Time Bill of Quantities during Design Phases: A Proof of Concept Study. Frontiers of Engineering Management, 2019, [J. Davidson, J. Fowler, C. Pantazis, M. Sannino,... - Google Scholar](https://doi.org/10.1080/10447310701488888)

- [17] F. Pour Rahimian, S. Seyedzadeh, S. Oliver, S. Rodriguez, N. Dawood, On-demand monitoring of construction projects through a game-like hybrid application of BIM and machine learning, 2020, [On-demand monitoring of construction projects through a game-like hybrid application of BIM and machine learning - ScienceDirect](#)
- [18] X. Li, W. Yi, H.-L. Chi, X. Wang, A.P.C. Chan, A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety, 2020, [A critical review of virtual and augmented reality \(VR/AR\) applications in construction safety - ScienceDirect](#)
- [19] Y. Shi, J. Du, C.R. Ahn, E. Ragan, Impact assessment of reinforced learning methods on construction workers' fall risk behavior using virtual reality, 2019, [Impact assessment of reinforced learning methods on construction workers' fall risk behavior using virtual reality - ScienceDirect](#)
- [20] X. Tang, H. Yamada, L. Huang, A.A. Yusof. Virtual reality-based teleoperation construction robot control system with 3D visor device, 2010, [Virtual reality-based teleoperation construction robot control system with 3Dvisor device | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore](#)
- [21] Kamezaki, M., Dominguez, G.A., Yang, J., Iwata, H., Sugano, S., : Development of a tele-operation simulator based on virtual reality environment for advanced unmanned construction, 2013, [Development of a tele-operation simulator based on virtual reality environment for advanced unmanned construction | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore](#)
- [22] K. El Ammari, A. Hammad, Remote interactive collaboration in facilities management using BIM-based mixed reality, 2019, [Remote interactive collaboration in facilities management using BIM-based mixed reality - ScienceDirect](#)
- [23] P. Carreira, T. Castelo, C.C. Gomes, A. Ferreira, C. Ribeiro, A.A. Costa, Virtual reality as integration environments for facilities management: Application and users perception, 2018, [Virtual reality as integration environments for facilities management: Application and users perception | Emerald Insight](#)
- [24] Z. Jiang, J.I. Messner, C.R. Dubler, Defining a taxonomy for virtual 3D city model use cases with a focus on facility asset management - A virtual campus case study, 2017, [Defining a Taxonomy for Virtual 3D City Model Use Cases with a Focus on Facility Asset Management—A Virtual Campus Case Study | Proceedings | Vol , No \(ascelibrary.org\)](#)
- [25] J. Fogarty, J. McCormick, S. El-Tawil, Improving Student Understanding of Complex Spatial Arrangements with Virtual Reality, 2018, [Improving Student Understanding of Complex Spatial Arrangements with Virtual Reality | Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice | Vol 144, No 2 \(ascelibrary.org\)](#)
- [26] P. Wang, P. Wu, J. Wang, H.-L. Chi, X. Wang, A critical review of the use of virtual reality in construction engineering education and training, 2018, [IJERPH | Free Full-Text | A Critical Review of the Use of Virtual Reality in Construction Engineering Education and Training \(mdpi.com\)](#)
- [27] Y.-K. Juan, H.-H. Chen, H.-Y. Chi, Y.-K. Juan, H.-H. Chen, H.-Y. Chi: Developing and Evaluating a Virtual Reality-Based Navigation System for Pre-Sale Housing Sales, may 2018, <https://www.mdpi.com/2076-3417/8/6/952>
- [28] Hugo C. Gomez-Tone 1 , Marizela Alpaca Chávez 1, Luana Vásquez Samalvides 1 and Jorge Martin-Gutierrez: Introducing immersive Virtual Reality in the initial phases of the design process, may 2018, <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/5/518>
- [29] Reza Zaker and Eloi Coloma: Virtual reality-integrated workflow in BIMenabled projects collaboration and design review: a case study, 2022, <https://viejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40327-018-0065-6>
- [30] Teknik Dergi: Adoption of Virtual Reality (VR) for Site Layout Optimization of Construction Projects, 2020, <https://dergipark.org.tr/en/pub/tekderg/article/423448z>
- [31] Paola Lorusso, Melissa De Iuliis , Sebastiano Marasco , Marco Domaneschi , Gian Paolo Cimellaro and Valentina Villa: Fire Emergency Evacuation from a School Building Using an Evolutionary Virtual Reality Platform , 2022, <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/2/223>
- [32] Ri Na, Ph.D. and Dyala Aljagoub, and Ryan Webber: Integrating Virtual Reality (VR) Into Construction Engineering and Management (CEM) Courses-A Case Study, 2022, <https://2fyahootechpulse.easychair.org/publications/download/SKSZ>
- [33] Teoli D 1, Sanvictores T, SWOT Analiza (Eng. . SWOT Analysis), 2022, https://europemc.org/article/med/30725987#_article-29790_s4_
- [34] AE Oke, AF Kineber, N Elshaboury, D Ekundayo: Exploring the Benefits of Virtual Reality Adoption for Successful Construction in a Developing Economy, 2023, <https://www.mdpi.com/2075-5309/13/7/1665>

- [35] S Safikhani, S Keller, G Schweiger: Immersive virtual reality for extending the potential of building information modeling in architecture, engineering, and construction sector: Systematic review, 2022, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17538947.2022.2038291>
- [36] H Sopher, J Milovanovic, J Gero: Exploring the effect of immersive VR on student-tutor communication in architecture design crits, 2022, <https://hal.science/hal-03648238/>
- [37] G King, S Kingsnorth, AC McPherson: Autonomy, self-realization, and psychological empowerment: a prospective mixed methods study of the effects of residential immersive life skills programs for youth, 2023, <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09638288.2023.2243222>
- [38] R Belaroussi, H Dai, ED González, JM Gutiérrez - Applied Sciences: Designing a Large-Scale Immersive Visit in Architecture, Engineering, and Construction, 2023, <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/5/3044>
- [39] M Chatzimichailidou, Y Ma - Safety science: Using BIM in the safety risk management of modular construction, 2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925753522001916>
- [40] P Adami, PB Rodrigues, PJ Woods: Impact of VR-based training on human-robot interaction for remote operating construction robots, 2022, <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29CP.1943-5487.0001016>
- [41] T Wang, VJL Gan, D Hu, H Liu: Digital twin-enabled built environment sensing and monitoring through semantic enrichment of BIM with SensorML, 2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580522004952>
- [42] Mr. Ayaz Khan, Dr. Samad Sepasgozar, Tingting Liu, Dr. Rongrong Yu Integration of BIM and Immersive Technologies for AEC: A Scientometric-SWOT Analysis and Critical Content Review, [Buildings | Free Full-Text | Integration of BIM and Immersive Technologies for AEC: A Scientometric-SWOT Analysis and Critical Content Review \(mdpi.com\)](#)
- [43] Sara Vlahović, Mirko Suznjević, Lea Skorin-Kapov: A survey of challenges and methods for Quality of Experience assessment of interactive VR applications, 2022, <https://link.springer.com/article/10.1007/s12193-022-00388-0>
- [44] M Eswaran, MVAR Bahubalendruni: Challenges and opportunities on AR/VR technologies for manufacturing systems in the context of industry 4.0: A state of the art review, 2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278612522001650>
- [45] YG Kim, G Mun, M Kim, B Jeon, JH Lee, D Yoon: A study on the VR goggle-based vision system for robotic surgery, 2022, <https://link.springer.com/article/10.1007/s12555-021-1044-6>
- [46] M Banafaa, I Shayeaa, J Din, MH Azmi, A Alashbi: 6G mobile communication technology: Requirements, targets, applications, challenges, advantages, and opportunities, 2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S111001682200549X>
- [47] A Alnagrat, RC Ismail, SZS Idrus: A review of extended reality (xr) technologies in the future of human education: Current trend and future opportunity, 2022, <https://humentech.utm.my/index.php/humentech/article/view/27>
- [48] P Kürtünluoğlu, B Akdik, E Karaarslan, Security of virtual reality authentication methods in metaverse: An overview, 2022, <https://arxiv.org/abs/2209.06447>
- [49] AO Afolabi, C Nnaji, C Okoro: Immersive technology implementation in the construction industry: modeling paths of risk, 2022, <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/3/363>
- [50] Z Guo, X Zhang, J Mao, G Rong, Novi model za izgradnju opreme složenog informacijskog sustava, 2022, <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9851098>
- [51] K Asarkar - Issue 2 Int'l JL Mgmt. & Human: Intellectual Property Issues in 3D Printing, 2022 <https://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.journals/ijlmhs16&div=28&id=&page=>
- [52] Y Qin, W Yang, B Huang, K Van Wyk, H Su; AnyTeleop: A General Vision-Based Dexterous Robot Arm-Hand Teleoperation System, 2023, [Y Qin, W Yang, B Huang, K Van Wyk, H Su](#)
- [53] MJ Jones-Dellaportas, JA Keitley: Major traumatic injury sustained during use of a virtual reality (VR) headset, 2023, <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/>
- [54] L Li - Information Systems Frontiers: Reskilling and upskilling the future-ready workforce for industry 4.0 and beyond, 2022, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10796-022-10308-y>
- [55] KA Mills, L Scholes, A Brown: Virtual reality and embodiment in multimodal meaning making, 2022, <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/07410883221083517>

Internetske stranice:

- [56] DOM BARNARD, History of VR - Timeline of Events and Tech Development, 2023, [History of VR - Timeline of Events and Tech Development \(virtualspeech.com\)](https://virtualspeech.com)
- [57] Aleksha McLoughlin, The best VR headsets in 2023, <https://www.engadget.com/best-vr-headsets-140012529.html>
- [58] ZHVR Group, <https://www.zhvrgroup.com/about>
- [59] DIRTT, <https://www.dirtt.com/about/>
- [60] Foster+Partners, <https://www.fosterandpartners.com/projects/bloomberg>
- [61] Skanska, <https://www.usa.skanska.com/what-we-deliver/services/innovation/immersive-experiences/>
- [62] Helsinki 3D, <https://www.hel.fi/en/decision-making/information-on-helsinki/maps-and-geospatial-data/helsinki-3d>
- [63] Serpentine Pavilion 2018 by Frida Escobedo, <https://www.youtube.com/watch?v=JfMy27Zcvuk>
- [64] The Scope of Virtual Reality Architecture Education, [Virtual Reality Architecture Education \(ixrlabs.com\)](https://ixrlabs.com)
- [65] Matterport, <https://matterport.com/industries/real-estate>
- [66] Insight, <https://www.autodesk.com/products/insight/overview>
- [67] Thornton Tomasetti, <https://architizer.com/blog/inspiration/stories/amazing-engineering/>
- [68] SoundLab, <https://www.wired.com/2016/05/arup-soundlab-vr-sound/>
- [69] Rome Reborn, <https://www.digitalmeetsculture.net/article/rome-reborn-original-project-and-new-apps/>
- [70] HMC Architects, [Revolutionizing School Design with Virtual Reality \(VR\) \(hmcarchitects.com\)](https://hmcarchitects.com)
- [71] Hyperform, <https://www.archpaper.com/2019/06/hyperform-augmented-reality-design-software-bjarke-ingels-group-big-unstudio/>
- [72] 15 Examples of the Use of Virtual Reality (VR) in Architecture, [15 Examples of the Use of Virtual Reality \(VR\) in Architecture - Capsule Sight](https://www.15examples.com)