

Razvoj aplikacije za elektroničko učenje primjenom tehnika prividne stvarnosti

Kanižaj, Sebastian

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:211:504225>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported / Imenovanje-Nekomercijalno-Dijeli pod istim uvjetima 3.0](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

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



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

Sebastian Kanižaj

**Razvoj aplikacije za elektroničko učenje
primjenom tehnika prividne stvarnosti**

ZAVRŠNI RAD

Varaždin, 2024.

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

Sebastian Kanižaj

Matični broj: 0016154862

Studij: Informacijski i poslovni sustavi

**Razvoj aplikacije za elektroničko učenje primjenom tehnika
prividne stvarnosti**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Božidar Kliček

Varaždin, studeni 2024.

Sebastian Kanižaj

Izjava o izvornosti

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

Autor potvrdio prihvaćanjem odredbi u sustavu FOI-radovi

Sažetak

Ovaj završni rad temeljito istražuje primjenu prividne stvarnosti u elektroničkom učenju, s posebnim naglaskom na analizu prednosti, nedostataka i trenutnih trendova u istraživanju ove tehnologije. Fokus je na razvoju jednostavne VR aplikacije za učenje unutar formalnog obrazovanja, koristeći prikladne alate i uređaje. Rad dokumentira razvojni proces, identificira potencijalne probleme te formuliira smjernice za uspješnu primjenu razvijene aplikacije u obrazovnom sustavu. Zaključak naglašava doprinos razvoja aplikacije u unapređenju elektroničkog učenja kroz primjenu tehnika prividne stvarnosti.

Ključne riječi: e-učenje; animacije; Unity; MockHMD; trendovi; VR; interaktivnost

Sadržaj

Sadržaj	iii
1. Uvod	1
2. Metode i tehnike rada	2
3. Prividna stvarnost	3
3.1. Povijest prividne stvarnosti	3
3.1.1. Morton Heilig	3
3.1.2. Ivan Sutherland	3
3.1.3. NASA Ames	4
3.2. Primjene prividne stvarnosti	5
3.2.1. Javno zdravstvo	5
3.2.2. Zabava	6
3.2.3. Društvena interakcija	6
4. E-učenje	7
4.1. Vrste e-učenja	8
4.2. Korištenje VR tehnologije u e-učenju	10
4.2.1. Trendovi	12
5. VR aplikacija	13
5.1. Unity	14
5.2. Razvoj aplikacije	15
5.2.1. Upravljanje	17
5.2.2. Izgled i raspored elemenata unutar VR aplikacije	19
5.2.3. Implementacija Interaktivnih gumba i animacija u virtualnoj učionici	20
5.3. Usporedba moje VR aplikacije s drugim e-learning platformama	28
5.3.1. Usporedba s Google Expeditions	28
5.3.2. Usporedba s Labster	29
6. Zaključak	31
Popis literature	32
Popis slika	34

1. Uvod

Napredak digitalnih alata donio je velike promjene u načinu na koji se učenici podučavaju različitim konceptima i vještinama. E-učenje je postalo sve otvorenije i ozbiljnije, omogućujući svima učinkovito učenje na mjestu i u vrijeme kada to žele. Jedna od najnaprednijih tehnologija poput drugih, virtualna stvarnost (VR), pruža dodatna iskustva koja povećavaju učinkovitost učenja.

Virtualna stvarnost omogućuje stvaranje imerzivnih i interaktivnih okruženja, u kojima učenici mogu doživjeti nešto nalik Holodecku: okruženje usmjereno na jedan koncept u kojem mogu aktivno i kreativno sudjelovati (s različitim stupnjevima slobode). Ova tehnologija nam pruža neviđenu sposobnost razvoja iskustava koja su prethodno bila nemoguća u običnim učionicama, poput složenih simulacija, virtualnih učionica i laboratorija, te disekcija i rekonstrukcija.

Rad se sastoji od dva dijela. Prvi dio bavi se razinama i trendovima u primjeni virtualne stvarnosti u obrazovanju, zajedno s nekim studijama slučaja koje uključuju dobre prakse. Drugi dio rada detaljno opisuje projekt stvaranja i testiranja PhEVRock aplikacije, prateći sve faze od dizajna do implementacije i ocjene. Nakon toga slijedi interpretacija rezultata i prijedlozi za budući razvoj i korištenje VR tehnologije u obrazovanju.

Rad također doprinosi novim perspektivama za buduća istraživanja i razvoj obrazovnih tehnologija, pružajući korisne uvide i smjernice za nastavnike i programere. Osim toga, nudi detaljne analize i preporuke koje mogu pomoći u učinkovitijoj implementaciji i primjeni prividne stvarnosti u obrazovnim ustanovama, čime se potiče inovativnost i unapređuje kvaliteta obrazovnog procesa.

2. Metode i tehnike rada

U ovom poglavlju opisane su metode i tehnike koje su korištene pri razradi teme, uključujući razvoj VR aplikacije, izbor tehnologija, i način implementacije funkcionalnosti. Proces istraživanja započeo je pregledom relevantne literature kako bi se steklo temeljno razumijevanje o primjeni virtualne stvarnosti (VR) u obrazovanju i razvoju e-učenja. Pregled literature pomogao je u identifikaciji trenutnih trendova, prednosti i izazova primjene VR-a u obrazovnom kontekstu.

Za razvoj VR aplikacije odabran je Unity zbog njegove fleksibilnosti, jednostavnosti korištenja i široke podrške za različite platforme. Unity omogućuje jednostavno upravljanje 3D modelima i animacijama, što je ključno za stvaranje interaktivnog i vizualno bogatog sadržaja. Unity je također podržan velikom zajednicom korisnika, što je omogućilo brži razvoj kroz dostupnost resursa i tutorijala.

Osim korištenja tehnologija i alata, u razvoju su korišteni i besplatni 3D modeli preuzeti s internetskih stranica. Ovi modeli omogućili su ubrzani razvoj vizualnog izgleda aplikacije, pružajući raznolikost i kvalitetu bez dodatnih troškova, što je dodatno unaprijedilo estetiku i funkcionalnost virtualne učionice.

Kako bi se olakšala implementacija VR funkcionalnosti, korišten je Mock HMD XR Plugin. Ovaj plugin je odabran jer omogućuje simulaciju rada VR headsetova bez potrebe za stvarnim fizičkim uređajem, što je ključno za razvoj i testiranje aplikacija na običnim računalima. Mock HMD XR Plugin simulira osnovne funkcionalnosti koje bi inače pružao fizički uređaj, uključujući praćenje pokreta glave i ruku, čime se omogućuje realistično testiranje i iteracija u ranim fazama razvoja.

3. Prividna stvarnost

Prividna stvarnost ili virtualna stvarnost je tehnologija koja omogućuje stvaranje trodimenzionalnog okruženja i svijeta pomoću velikih naočala ili headsetova. To je tehnologija koja omogućuje stvaranje iluzija koje korisnicima daju osjećaj da su na različitim mjestima, uključujući fantastične i izvanzemaljske okoline, te u različitim tijelima [1].

Virtualna stvarnost (VR) koristi računalno modeliranje i simulaciju kako bi omogućila korisnicima interakciju s umjetnim trodimenzionalnim (3D) vizualnim ili drugim senzornim okruženjem [2].

Ukratko prividna stvarnost je tehnologija koja simulira trodimenzionalni sadržaj koji neki računalni program generira i koristi posebne naočale koje omogućuju interakciju korisnika s samim generiranim, umjetnim svijetom. Tehnologija omogućuje doživljavanje različitih lokacijama uključujući nestvarnih i izvanzemaljskih okruženja.

3.1. Povijest prividne stvarnosti

Postoji nekoliko izvanrednih povijesnih doprinositelja VR-u koji zaslužuju posebno priznanje.

3.1.1. Morton Heilig

1962. godine, Morton Heilig razvio je prvo pravo VR iskustvo sa Sensoramom, gdje su korisnici mogli jahati na „motoru“ uz trodimenzionalnu sliku; iskustvo je uključivalo i vjetar, različite mirise te vibracije motora [3, 4].

3.1.2. Ivan Sutherland

Ivan Sutherland je pionir u području računalne grafike. Godine 1965. napisao je o "ultimativnom prikazu", koji je uključivao interaktivnu grafiku i uređaje s povratnim informacijama o sili. Sutherland je također razvio Sketchpad kao dio svoje doktorske disertacije na MIT-u 1963. godine, za što je 1988. godine osvojio Turingovu nagradu [4, 5].

3.1.3. NASA Ames

U 1984. godini, Dr. Mike McGreevy i Jim Humphries iz NASA Amesa razvili su VIVED (Virtual Visual Environment Display) za evaluaciju monokromatskog zaslona na glavi za astronaute [4].

Kasnije je projekt VIEW (Virtual Interactive Environment Workstation) stvorio višenamjenski simulator s praćenjem glave i ruku, monokromatskim stereo zaslonima, prepoznavanjem govora, 3D audio izlazom i instrumentiranom rukavicom [4].



Slika 1 Prikazuje VIVED sustav, dizajniran i izgrađen 1984. godine od strane Dr. Mike McGreevyja i Jima Humphriesa

3.2. Primjene prividne stvarnosti

U raznim industrijama, prividna stvarnost ima široku upotrebu. U području obrazovanja nudi novu vrstu učenja simulacijom stvari i virtualnim obilascima. Zabava je još jedno unosno područje za VR. Ova tehnologija omogućuje igrama da budu realističnija i nudi drugačija iskustva. Može se koristiti i na koncertima. Medicinske primjene uključuju kirurške simulacije, terapiju fobija i posttraumatskog stresnog poremećaja te rehabilitaciju pacijenata. Virtualni modeli zgrada postoje u području arhitekture: u industriji se koriste za obuku zaposlenika, testiranje proizvoda i sigurnosne protokole. Za turizam, on-line VR vidi idilične poglede na destinacije; vojno osoblje se uči boriti se u lažnim bitkama.

Brz napredak VR tehnologija ukazuje na obećavajuću budućnost sa sve sofisticiranijim aplikacijama. Unatoč njihovim potencijalnim prednostima, VR suočava se s izazovima poput visokih troškova, tehničkih ograničenja te zabrinutosti oko sigurnosti i privatnosti korisnika.

3.2.1. Javno zdravstvo

Virtualna stvarnost (VR) postaje sve popularnija metoda u području javnog zdravstva, osobito s napretkom tehnologija poput "thin computing" i sve većom dostupnošću uređaja za VR, kao što su head-mounted display (HMD). VR omogućuje stvaranje računalno generiranih realnih ili simuliranih okruženja u kojima korisnici mogu istraživati i manipulirati trodimenzionalnim senzornim okruženjima i objektima u stvarnom vremenu [6].

Jedna od ključnih prednosti VR-a u javnom zdravstvu je mogućnost stvaranja imerzivnih iskustava koja simuliraju rizične situacije. Ova tehnologija omogućuje stvaranje sigurnog okruženja u kojem korisnici mogu proživjeti situacije koje bi inače bile preopasne za simulaciju u stvarnom svijetu, poput evakuacija tijekom požara ili hitnih medicinskih intervencija [6].

Drugi ključan razvoj proizašlih iz konvergencije VR-a i interaktivnih digitalnih igara je ono što se naziva "pokretom igara za zdravlje". Ovaj pokret temelji se na uvjerenju da će osoba biti više uključena u aktivnost testiranja, liječenja ili obuke ako je motivirana sudjelovanjem u digitalnoj igri unutar virtualnog okruženja. Ova perspektiva potaknula je kliničke i istraživačke

napore da se istraže nove mogućnosti primjene VR tehnologija u rješavanju zdravstvenih potreba, osobito među djecom i osobama s poremećajima [7].

3.2.2. Zabava

Virtualna stvarnost revolucionira zabavu, pružajući imerzivna iskustva koja su neusporediva s tradicionalnim medijima. Kako tehnologija napreduje, VR se sve više integrira u razne sektore zabave, od igara i filmova do događanja uživo i društvenih interakcija [8].

VR stvara okruženje u kojem igrači više nisu samo promatrači, već aktivni sudionici unutar svijeta igre. Ova imerzivna uključenost potiče dublje emocionalne veze i intenzivnija iskustva, čineći igru ne samo raznodom već i potpuno angažirajućom aktivnošću koja može djelovati jednako stvarno kao i fizički svijet [8].

Filmska industrija također je pred transformacijom, s VR-om koji omogućuje gledateljima da zakorače u samu priču. Ova razina imerzije može značajno poboljšati pripovijedanje, čineći ga interaktivnijim i osobnijim [8].

Događaji uživo, poput koncerata ili sportskih događanja, mogu se doživjeti iz udobnosti vlastitog doma, ali s dojmom kao da ste zapravo prisutni na mjestu događaja. VR može prenijeti obožavatelje u prvi red koncerta ili na rub igrališta tijekom sportske utakmice, pružajući iskustvo koje je i intimno i prostrano, rušeći fizičke barijere koje tradicionalno ograničavaju veličinu publike i angažman [8].

3.2.3. Društvena interakcija

Virtualna stvarnost (VR) otvara nove mogućnosti za društvenu interakciju u digitalnim okruženjima, pružajući korisnicima priliku da se povežu s drugima na načine koji su prije bili nezamislivi. Kroz korištenje VR-a, ljudi mogu komunicirati s avatarima, digitalnim prikazima sebe, unutar virtualnih svjetova koji repliciraju socijalne norme stvarnog svijeta. Ove interakcije mogu biti toliko realistične da korisnici odgovaraju na virtualne osobe kao da su stvarne, poštujući osobni prostor, pravila razgovora i neverbalne signale poput pogleda i gesti [9, 10].

Osim toga, VR omogućuje transformaciju izgleda, ponašanja i okoline u kojoj se odvija interakcija. To znači da se socijalne interakcije mogu prilagoditi i optimizirati za različite ciljeve,

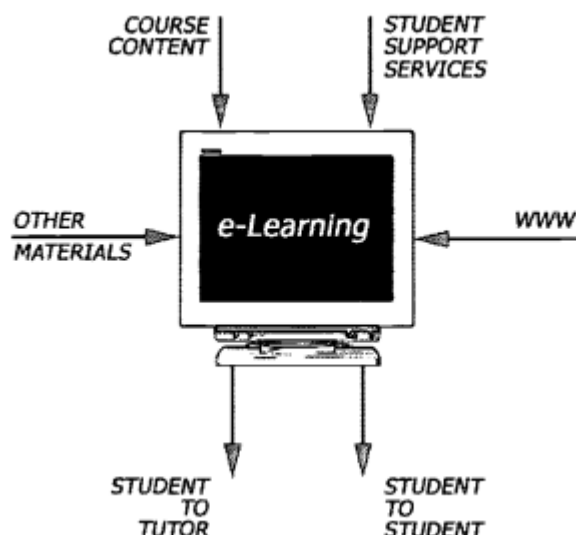
bilo da je riječ o izgradnji povjerenja, timskom radu ili jednostavno uživanju u zajedničkom iskustvu [9, 10].

Zbog tih jedinstvenih svojstava, VR je postao moćan alat za socijalnu interakciju, osobito u kontekstu gdje fizička prisutnost nije moguća ili praktična. Bilo da se koristi za povezivanje ljudi koji su geografski udaljeni, za terapiju osoba s poteškoćama u socijalnoj interakciji ili za istraživanje novih oblika društvenih odnosa, VR pruža inovativne načine za interakciju i komunikaciju u digitalnom dobu [9, 10].

4. E-učenje

E-učenje je postalo neizostavan dio suvremenog obrazovnog sustava, omogućujući široki raspon edukativnih mogućnosti koje prelaze tradicionalne granice učionica. Prema istraživanjima, e-učenje omogućuje studentima pristup obrazovnim materijalima i resursima bez obzira na njihovu geografsku lokaciju, čime se značajno smanjuju obrazovne nejednakosti. To je osobito važno u ruralnim i udaljenim područjima gdje fizička prisutnost u obrazovnim institucijama često nije moguća. Digitalne platforme pružaju priliku za personalizirano učenje, omogućujući studentima da prilagode svoj ritam učenja prema individualnim potrebama, što je posebno korisno za zaposlene osobe i one s posebnim potrebama [11].

Jedna od ključnih prednosti e-učenja je fleksibilnost koju pruža učenicima i nastavnicima. Tradicionalni obrazovni modeli često zahtijevaju strogo pridržavanje rasporeda, što može biti prepreka za mnoge studente. S druge strane, e-učenje omogućuje učenicima da uče u vrijeme koje im najviše odgovara, bilo da je to rano ujutro ili kasno navečer. Ova fleksibilnost također omogućuje studentima da balansiraju između svojih obrazovnih obveza i drugih životnih odgovornosti, poput posla ili obitelji. Osim toga, platforme za e-učenje često koriste multimedijske sadržaje, uključujući videozapise, interaktivne kvizove i virtualne simulacije, koje pomažu u boljem razumijevanju kompleksnih tema [12].



Slika 2 Prikaz komponenti e-učenja u žičanom virtualnom okruženju.

E-učenje ne samo da olakšava pristup obrazovanju, već također podržava koncept cjeloživotnog učenja. U današnjem dinamičnom okruženju, gdje tehnološki napredak i tržišni zahtjevi brzo evoluiraju, potreba za kontinuiranim usavršavanjem postaje sve važnija. E-učenje pruža okvir za kontinuirani profesionalni razvoj, omogućujući zaposlenicima da se educiraju i stječu nove vještine bez napuštanja svojih radnih mjesta. Na taj način, e-učenje ne samo da smanjuje društvene nejednakosti već također promiče održivi razvoj pružajući jednaku priliku za obrazovanje svim članovima društva [13].

Uz tehnološki napredak, e-učenje je postalo integrirano s mobilnim uređajima, čime se obrazovanje dodatno demokratizira. Studenti sada mogu pristupiti edukativnim sadržajima putem pametnih telefona i tableta, što im omogućuje učenje u pokretu. Ova mogućnost osobito je korisna u kontekstu pandemije COVID-19, kada je fizički pristup obrazovnim ustanovama bio ograničen. E-učenje je tada pokazalo svoju otpornost i sposobnost prilagodbe novim izazovima, osiguravajući kontinuitet obrazovanja unatoč globalnim krizama [11, 12].

4.1. Vrste e-učenja

Mobilno učenje (m-učenje) predstavlja evoluciju e-učenja koja koristi bežične tehnologije i mobilne uređaje poput pametnih telefona i tableta. Ova metoda učenja omogućuje pristup edukativnim sadržajima bilo gdje i bilo kada, što je ključno za povećanje dostupnosti obrazovanja, posebno u kontekstu visokoškolskih institucija. Kroz mobilne sustave za upravljanje učenjem (m-LMS), studenti i nastavnici mogu pristupiti tečajevima i materijalima u

pokretu, čime se stvara fleksibilno i personalizirano okruženje za učenje. Studije pokazuju da m-učenje pozitivno utječe na uspjeh učenika i njihovu motivaciju, pružajući priliku za personalizirano učenje prilagođeno individualnim potrebama [14].

Gamifikacija u obrazovanju se odnosi na primjenu mehanizama igre u obrazovnim kontekstima kako bi se povećala angažiranost, motivacija i učinkovitost učenika. Integracija elemenata igre, kao što su bodovi, značke, razine i rang liste, omogućuje učenicima da se natječu, surađuju i istražuju, čineći učenje dinamičnijim i privlačnijim. Ovaj pristup ne samo da poboljšava rezultate učenja, već i omogućava personalizaciju obrazovnog iskustva, prilagođavajući se potrebama i interesima svakog učenika [15, 16].

Primjena gamifikacije također podržava razvoj vještina ključnih za 21. stoljeće, kao što su kreativnost, kritičko mišljenje, komunikacija i suradnja. Kroz interaktivne igre i simulacije, učenici mogu primijeniti teorijsko znanje u praktičnim situacijama, što povećava njihovu pripremljenost za stvarni svijet. Gamifikacija potiče učenike na aktivno sudjelovanje u obrazovnom procesu, omogućujući im da preuzmu veću odgovornost za vlastito učenje [15, 16].

Osim toga, gamifikacija doprinosi stvaranju pozitivnog i poticajnog okruženja za učenje, gdje učenici osjećaju zadovoljstvo i postignuće kroz postavljanje i dosezanje ciljeva. Ovakav pristup također može smanjiti osjećaj tjeskobe i stresa povezan s učenjem, pretvarajući obrazovni proces u iskustvo koje je ne samo edukativno, već i zabavno [15, 16].

Video-based learning (VBL) predstavlja ključnu metodu u suvremenom obrazovanju koja koristi snagu vizualnih medija za poboljšanje učenja i angažiranja učenika. VBL omogućuje učenicima da prate sadržaje vlastitim tempom, ponavljaju dijelove koje ne razumiju i prilagode svoje obrazovno iskustvo individualnim potrebama. Ovaj pristup je posebno učinkovit u online tečajevima, gdje studenti mogu surađivati, razmjenjivati ideje i zajednički rješavati probleme putem video komentara i diskusija. Studije su pokazale da VBL može poboljšati postignuća i zadovoljstvo učenjem, osobito kada se koristi u kombinaciji s interaktivnim metodama učenja [17].

Međutim, VBL se suočava s određenim izazovima, uključujući potrebu za kvalitetnim dizajnom video materijala i pedagoškom podrškom. Samo korištenje video sadržaja nije uvijek dovoljno za postizanje željenih ishoda; potrebno je integrirati video s odgovarajućim

obrazovnim strategijama. Iako postoje dokazi o prednostima VBL-a, učinkovitost ove metode može varirati ovisno o kontekstu i načinu implementacije [18].

Virtualna stvarnost (VR) u obrazovanju predstavlja revolucionarni pristup učenju, pružajući učenicima iskustvo koje kombinira praktično učenje, vizualizaciju koncepata i simulacije unutar digitalnih okruženja. Ove virtualne sredine omogućuju učenicima da interaktivno sudjeluju u obrazovnim aktivnostima, što može značajno poboljšati njihovo razumijevanje i zadržavanje znanja. Iako su prednosti ove tehnologije očite, suočavamo se s izazovima kao što su visoki troškovi implementacije i potrebna tehnička podrška. U kasnijim dijelovima rada detaljnije ćemo istražiti kako VR može transformirati obrazovne procese i koje su specifične koristi i prepreke vezane uz njegovo korištenje u učionicama [19].

4.2. Korištenje VR tehnologije u e-učenju

Virtualna stvarnost (VR) unijela je revolucionarne promjene u način na koji percipiramo i koristimo e-učenje. Korištenjem VR-a u obrazovanju stvoreni su uvjeti za potpuno novo iskustvo učenja koje nadilazi ograničenja tradicionalnih obrazovnih metoda. VR omogućuje učenicima da urone u simulirane okoline koje repliciraju stvarne svjetove ili stvaraju potpuno nove, omogućujući im interaktivno iskustvo koje se temelji na praksi i eksperimentiranju. Primjena VR-a u e-učenju posebno je učinkovita u disciplinama koje zahtijevaju praktične vještine, poput medicine, inženjerstva, prirodnih znanosti, pa čak i umjetnosti. U ovim disciplinama, VR omogućuje učenicima da eksperimentiraju, analiziraju i usavršavaju svoje vještine bez straha od grešaka koje bi mogle imati ozbiljne posljedice u stvarnom svijetu [19, 20, 21].

Virtualna stvarnost (VR) u e-učenju donosi značajne prednosti, od kojih je jedna od najvažnijih povećanje angažiranosti učenika. Kroz visok stupanj interaktivnosti i imerzije, VR omogućuje učenicima da se potpuno urone u sadržaj, što rezultira većom motivacijom i boljim razumijevanjem složenih koncepata. Na primjer, umjesto pasivnog slušanja predavanja, učenici mogu aktivno sudjelovati u simulacijama i eksperimentima, što im omogućuje da istraže složene teme iz prve ruke. Također, VR omogućuje stvaranje sigurnog okruženja za učenje, gdje učenici mogu prakticirati vještine i primjenjivati teorijsko znanje bez rizika za sebe ili druge, što je posebno korisno u područjima poput medicine ili zrakoplovstva. Još jedna prednost korištenja VR-a u e-učenju je individualizacija obrazovnog iskustva. Tehnologija omogućuje prilagodbu sadržaja potrebama i sposobnostima svakog učenika, omogućujući im da napreduju vlastitim tempom i fokusiraju se na područja koja im predstavljaju izazov. Osim

toga, VR pomaže u razvoju prostornih i tehničkih vještina potrebnih u mnogim stručnim područjima, kao što su arhitektura i inženjering, gdje učenici mogu pregledavati i interaktivno raditi s 3D modelima. Također, VR može značajno doprinijeti inkluzivnosti u obrazovanju, pružajući prilike za učenje studentima s različitim sposobnostima. Na primjer, studenti s fizičkim invaliditetom mogu koristiti VR za sudjelovanje u aktivnostima koje im inače ne bi bile dostupne, čime se povećava dostupnost obrazovanja za sve [19, 20, 21].

VR tehnologija također pruža jedinstvene mogućnosti za kolaborativno učenje. U virtualnim okruženjima, učenici iz različitih dijelova svijeta mogu se sastajati i surađivati u stvarnom vremenu, bez obzira na njihove fizičke lokacije. Ova mogućnost globalne suradnje ne samo da obogaćuje obrazovni proces nego i promiče međukulturno razumijevanje i razmjenu znanja. Primjerice, učenici iz različitih zemalja mogu zajedno raditi na projektima, razmjenjivati ideje i razvijati rješenja za globalne izazove, čime se potiče kreativnost i inovativnost. VR također omogućuje stvaranje simuliranih okruženja koja repliciraju stvarne radne ili istraživačke uvjete, čime se učenicima pruža prilika za stjecanje iskustava koja bi inače bila teško dostupna [19, 20].

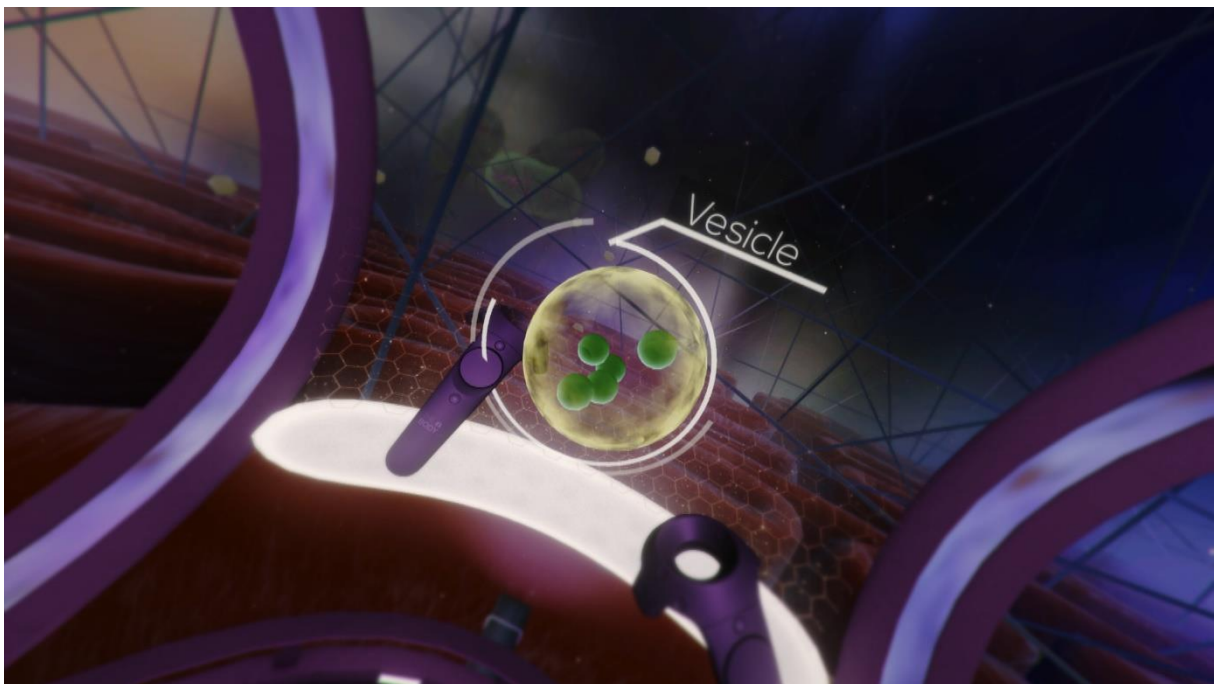
Jedan od najvažnijih aspekata korištenja VR-a u e-učenju je mogućnost simulacije složenih i opasnih situacija u sigurnom okruženju. U medicini, na primjer, studenti mogu koristiti VR za simulaciju kirurških zahvata ili hitnih medicinskih intervencija, što im omogućuje stjecanje iskustava i vještina bez rizika za stvarne pacijente. Slično tome, u inženjerskim disciplinama, studenti mogu koristiti VR za simulaciju dizajna i testiranje konstrukcija prije nego što se one izgrade u stvarnom svijetu. Ovakve simulacije ne samo da poboljšavaju razumijevanje i primjenu teorijskih znanja, već i razvijaju kritičko razmišljanje i sposobnost donošenja odluka u stvarnim situacijama [19, 21].

Međutim, korištenje VR-a u e-učenju dolazi i s nizom izazova. Jedan od glavnih nedostataka su visoki troškovi implementacije. Nabavka VR opreme, razvoj specifičnih edukativnih sadržaja i održavanje tehnologije zahtijevaju značajna financijska ulaganja, što može biti prepreka za mnoge obrazovne institucije. Ovi troškovi mogu biti posebno problematični u zemljama s ograničenim proračunom za obrazovanje, gdje resursi za uvođenje VR-a možda nisu dostupni. Osim financijskih troškova, tehnička složenost i zahtjevi predstavljaju dodatni izazov. Korištenje VR-a zahtijeva visokotehnološku infrastrukturu, uključujući snažna računala i stabilne internetske veze, što može biti izazovno, osobito u područjima s lošijom tehnološkom infrastrukturom. Također, potrebna je kontinuirana tehnička podrška za rješavanje problema koji se mogu pojaviti tijekom korištenja VR-a, što dodatno povećava troškove i složenost korištenja. Zdravstveni problemi povezani s dugotrajnom

upotrebom VR-a također su značajan nedostatak. Dugotrajna uporaba VR opreme može dovesti do problema kao što su naprezanje očiju, glavobolje i mučnina, što može ograničiti vrijeme koje učenici provode u virtualnom okruženju. Ovi negativni učinci mogu zahtijevati dodatne mjere kako bi se smanjili potencijalni zdravstveni rizici za učenike. Napokon, iako VR može simulirati socijalne interakcije, one se razlikuju od stvarnih interakcija licem u lice. Nedostatak fizičke prisutnosti može ograničiti razvoj socijalnih vještina i osjećaj zajedništva među studentima. Ovo može dovesti do osjećaja izolacije ako se učenici previše oslanjaju na virtualna okruženja za interakciju s drugima [19, 20, 21].

4.2.1. Trendovi

Virtualna stvarnost (VR) postaje sve prisutnija u obrazovnom sektoru, pružajući inovativne mogućnosti za e-učenje koje nadilaze tradicionalne metode podučavanja. Korištenjem VR-a, obrazovni sustavi mogu simulirati složene scenarije i situacije koje bi inače bile nepristupačne ili previše opasne za učenje u stvarnom svijetu. Na primjer, VR se koristi u



Slika 3 Prikaz vesikula unutar stanice u igri "The Body VR: Journey Inside a Cell," koja koristi VR za interaktivno učenje biologije.

medicinskoj edukaciji za simuliranje kirurških zahvata, omogućujući studentima da steknu praktične vještine u kontroliranom okruženju. Slično, inženjerski programi koriste VR za modeliranje i testiranje konstrukcija, pružajući studentima priliku da unaprijede svoje tehničke sposobnosti prije nego što primijene svoje znanje u stvarnim projektima [19, 20].

Jedan od ključnih trendova u primjeni VR-a u obrazovanju je njegova sposobnost da stvori kolaborativna virtualna okruženja u kojima učenici mogu surađivati bez obzira na geografsku lokaciju. Ova mogućnost posebno je važna u globaliziranom obrazovnom sustavu, gdje učenici iz različitih dijelova svijeta mogu zajednički raditi na projektima, razmjenjivati ideje i rješavati probleme. Kolaborativna priroda VR-a ne samo da obogaćuje proces učenja nego i potiče razvoj socijalnih i komunikacijskih vještina koje su ključne za uspjeh u modernom radnom okruženju. VR tehnologija također omogućuje personalizaciju obrazovnog procesa, omogućujući učenicima da prilagode svoje iskustvo učenja prema vlastitim potrebama i sposobnostima. Učenici mogu koristiti VR za istraživanje specifičnih tema koje ih zanimaju ili za vježbanje vještina koje zahtijevaju dodatnu praksu. Ova fleksibilnost čini VR idealnim alatom za cjeloživotno učenje, gdje učenici svih dobrih skupina mogu kontinuirano unapređivati svoje znanje i vještine prema vlastitom ritmu. Uz to, VR može poslužiti kao moćan alat za inkluzivno obrazovanje, pružajući prilike za učenje učenicima s različitim sposobnostima, uključujući one s fizičkim invaliditetom [21, 24].

Trendovi u razvoju VR-a pokazuju sve veće integracije s drugim naprednim tehnologijama poput umjetne inteligencije (AI) i proširene stvarnosti (AR). Ova integracija omogućuje stvaranje dinamičnih i prilagodljivih obrazovnih iskustava koja odgovaraju specifičnim potrebama učenika u realnom vremenu. Na primjer, VR u kombinaciji s AI može analizirati napredak učenika i automatski prilagoditi obrazovne sadržaje kako bi optimizirao proces učenja. Ovi trendovi ukazuju na budućnost u kojoj će VR postati neizostavni dio obrazovnih programa, pružajući učenicima inovativna rješenja za stjecanje znanja i vještina [23, 24].

5. VR aplikacija

Aplikacija razvijena u sklopu ovog završnog rada pruža interaktivno iskustvo učenja unutar virtualne stvarnosti, s ciljem poboljšanja razumijevanja apstraktnih podatkovnih struktura (ATP-ova) među studentima informatičkih znanosti. Osnovna funkcionalnost aplikacije temelji se na mogućnosti korisnika da u virtualnoj učionici istražuju i vizualiziraju rad različitih ATP-ova, kao što su "Stack", "List" i "Queue".

Na početku, korisnik se nalazi u središtu virtualne učionice, okružen stolovima i stolicama. Na jednom od stolova nalazi se monitor s tri interaktivna gumba, svaki od njih predstavlja određeni ATP. Klikom na bilo koji od gumba, korisnik dobiva osnovne informacije o odabranoj strukturi podataka na ploči ispred sebe. Nadalje, aplikacija omogućuje korisnicima da putem dodatnih interaktivnih gumba prikažu animacije koje ilustriraju osnovne operacije

unutar tih struktura, poput dodavanja i uklanjanja elemenata, što korisnicima omogućuje bolje razumijevanje funkcioniranja ATP-ova kroz vizualizaciju.

Za razvoj aplikacije korištena je Unity platforma uz C# programski jezik za logiku i funkcionalnost unutar aplikacije. 3D modeli koji su korišteni u aplikaciji preuzeti su s interneta, što je omogućilo bržu izradu i implementaciju vizualnih elemenata u aplikaciju. Integracija VR tehnologije ostvarena je pomoću Mock HMD XR Plugin, koji omogućuje korisnicima uranjanje u virtualno okruženje i interakciju s obrazovnim sadržajem bez korištenja fizičkog uređaja i headset-ova.

Jedna od ključnih komponenti korištenih u razvoju ove aplikacije je Mock HMD XR Plugin. Ovaj plugin je izuzetno važan za razvoj VR aplikacija jer omogućuje simulaciju rada VR headsetova bez potrebe za stvarnim fizičkim uređajem. To znači da razvojni timovi mogu testirati i razvijati VR aplikacije na običnim računalima, bez potrebe za skupom opremom, kao što su VR headsetovi. Ovaj plugin simulira osnovne funkcionalnosti koje bi inače pružao fizički uređaj, uključujući praćenje pokreta glave i ruku, što omogućuje realistično testiranje i iteraciju u ranim fazama razvoja. Ova fleksibilnost uklanja barijere za pristup VR tehnologiji, čineći je dostupnom i pristupačnom za širu populaciju, te omogućuje studentima i edukatorima da se fokusiraju na učenje i razvoj bez tehničkih ograničenja.

Cilj ove aplikacije nije samo edukacija, već i inspiracija studenata da istražuju mogućnosti koje VR tehnologija pruža u kontekstu IT-a, te da kroz vlastite projekte nastave razvijati slične alate koji bi mogli dodatno unaprijediti obrazovni proces.

5.1. Unity

Odabrao sam Unity za razvoj svoje VR aplikacije zbog njegove fleksibilnosti i široke podrške za različite platforme. Unity mi omogućuje jednostavno upravljanje 3D modelima i animacijama, što je ključno za stvaranje interaktivnog i vizualno bogatog sadržaja. Također, podržava C# programski jezik, koji olakšava integraciju složenih algoritama, što je važno za edukativne aplikacije. Uz to, Unityjeva integracija s XR pluginovima, poput Mock HMD XR Plugin, omogućuje razvoj VR aplikacija bez potrebe za fizičkim VR headsetovima, čime se proširuje dostupnost i omogućuje rad na aplikaciji i onima koji nemaju pristup skupe opreme. Unityjeva opsežna dokumentacija i aktivna zajednica također su bili ključni faktori u mom izboru, jer omogućuju brzo rješavanje problema i brži napredak u razvoju.

5.2. Razvoj aplikacije

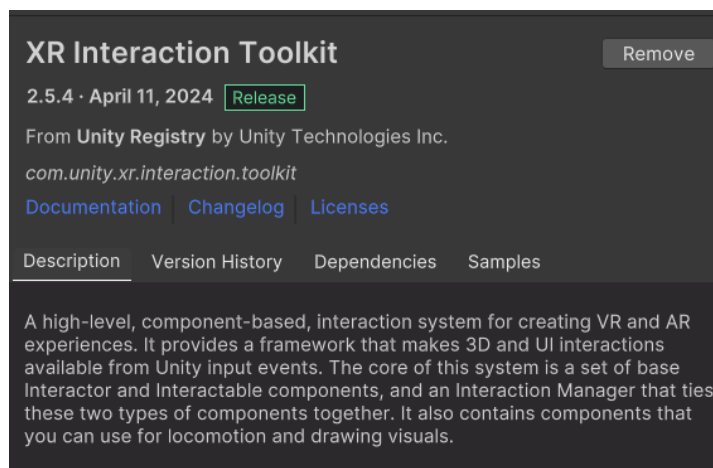
Razvoj VR aplikacije započeo je detaljnim planiranjem i definiranjem ciljeva projekta. Prvi korak bio je odabir platforme za razvoj, pri čemu je Unity izabran zbog svoje fleksibilnosti i široke podrške za VR razvoj. Početna faza uključivala je istraživanje različitih mogućnosti koje Unity nudi za izradu imerzivnih virtualnih okruženja, kao i integraciju različitih VR uređaja.

Kako bi se simulirala funkcionalnost VR headseta bez potrebe za fizičkim uređajem u ranoj fazi razvoja, korišten je Mock HMD (Head-Mounted Display). Mock HMD omogućio je razvoj i testiranje aplikacije unutar Unity okruženja, simulirajući osnovne funkcionalnosti VR headseta, poput praćenja pokreta glave i prikazivanja 3D prostora iz perspektive korisnika. To je omogućilo bržu iteraciju i testiranje bez potrebe za stalnim korištenjem stvarnog hardvera, čime je uvelike ubrzan razvojni proces.

Implementacija Mock HMD-a uključivala je konfiguriranje Unity scene tako da podržava prikaz u dva pogleda, imitirajući stereoskopski prikaz tipičan za VR uređaje. Osim toga, dodani su skripte za praćenje pokreta kamere, koje su odgovarale pokretima glave unutar virtualnog okruženja. Ovaj pristup omogućio je precizno testiranje korisničkog iskustva, kao i optimizaciju performansi aplikacije u uvjetima koji su vrlo slični onima u stvarnom VR okruženju.

Za izradu VR aplikacije u Unity-u, potrebno je instalirati XR Interaction Toolkit putem Package Managera. Ovaj alat omogućuje jednostavno kreiranje VR i AR iskustava pružajući komponente i funkcionalnosti koje su neophodne za interakciju u trodimenzionalnim prostorima. Nakon instalacije, potrebno je omogućiti korištenje XR-a u "Project Settings" odabirom opcije "Initialize XR on Startup" te aktivirati odgovarajuće "Plug-in Providers", u ovom slučaju "Mock HMD Loader", koji omogućuje testiranje VR aplikacija bez stvarnog hardverskog uređaja.

Nakon toga, dodaje se XR Origin (poznat i kao XR Rig), koji predstavlja osnovnu komponentu za praćenje pokreta glave i ruku u virtualnom prostoru. Ovaj objekt sadrži glavnu kameru (Main Camera) koja simulira pogled korisnika, te kontrolere (Left Controller i Right Controller) koji predstavljaju ruke korisnika u virtualnom okruženju. XR Origin omogućuje pravilno pozicioniranje i orijentaciju unutar virtualnog svijeta, čime se korisnicima pruža osjećaj uronjenosti i interakcije s okolinom.



Slika 4 XR Interaction Toolkit koji se koristi u ovom projektu za omogućavanje interakcije korisnika s virtualnim objektima.



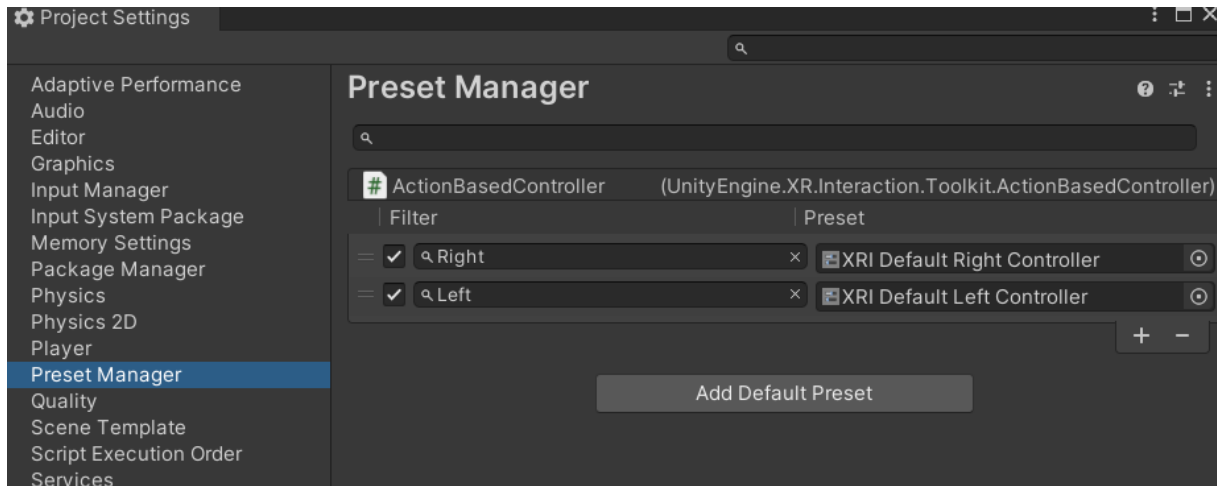
Slika 5 Struktura XR Origin (XR Rig) objekta s prikazom glavne kamere i kontrolera za simulaciju pokreta ruku u virtualnom prostoru

Za importiranje skripti za kontrolere lijeve i desne ruke, potrebno je u "Package Manageru" pod "Samples" sekcijom XR Interaction Toolkit-a odabrati i importirati "Starter Assets". Ovi resursi uključuju unaprijed definirane akcije i postavke koje olakšavaju postavljanje kontrola i interakcija unutar VR okruženja.

Nakon konfiguracije plugin-ova, sljedeći korak je dodavanje XR Origin (XR Rig) komponente u scenu. XR Origin sadrži ključne elemente za praćenje pokreta glave i ruku unutar virtualnog okruženja. Unutar XR Origin-a nalazi se Main Camera koja simulira glavu korisnika, te Left Controller i Right Controller, koji simuliraju ruke korisnika. Ova komponenta omogućuje da se korisnički pokreti točno prate i prenose unutar virtualnog okruženja, što je ključan element za stvaranje imerzivnog iskustva.

Za postizanje pune funkcionalnosti kontrolera unutar VR aplikacije, potrebno je importirati 'Starter Assets' iz XR Interaction Toolkit-a. Ovi asset-i sadrže unaprijed definirane akcije za desni i lijevi kontroler. Nakon importiranja, u postavkama Project Settings-a, unutar

Preset Manager-a, potrebno je definirati filtere za 'Right' i 'Left' kako bi se osiguralo pravilno funkcioniranje kontrolera. Ove postavke omogućuju korisnicima da prirodno interagiraju s objektima unutar virtualnog okruženja, koristeći svoje ruke za manipulaciju i interakciju.



Slika 6 konfiguracije Preset Manager-a za akcije desnog i lijevog kontrolera unutar XR Interaction Toolkit-a u Unity-u

Nakon inicijalne postavke Preset Manager-a, potrebno je izbrisati prethodni XR Origin objekt i kreirati novi. Ovaj korak omogućuje da se sve promjene i ažuriranja u konfiguraciji kontrolera pravilno primijene. S novim XR Origin-om, sve skripte i postavke vezane za kontrolere, kao što su pozicija, rotacija, praćenje stanja i interakcije, automatski se ažuriraju, osiguravajući pravilno funkcioniranje VR aplikacije. Na taj način se osigurava da svi inputi iz kontrolera budu ispravno detektirani i odgovarajuće obrađeni unutar VR okruženja.

Ovi koraci ključni su za stvaranje intuitivnog i responzivnog VR okruženja, koje korisnicima omogućuje lako snalaženje i učinkovitu interakciju unutar virtualnog svijeta.

5.2.1. Upravljanje

U mojoj VR aplikaciji kontrole su dizajnirane tako da omogućuju korisniku intuitivno i precizno upravljanje različitim aspektima interakcije unutar virtualnog okruženja. Prilikom gledanja okolo u virtualnom svijetu, korisnik koristi miša kako bi se slobodno osvrtao po okolini, omogućujući potpunu imerziju u VR okruženje.

Dodatno, aplikacija koristi tipku **Space** za kontrolu rotacije desne ruke. Kada korisnik drži pritisnutu ovu tipku, može pomoću miša rotirati desnu ruku oko zgloba, što je korisno za precizne zadatke ili manipulaciju objekata u VR svijetu. Ukoliko se umjesto Space drži pritisnuta tipka **LShift**, desna ruka se rotira zajedno s mišem.

Jedna od naprednih funkcionalnosti ove aplikacije je mogućnost promjene kontrola korištenjem tipke **R**. Pritiskom na ovu tipku, kontrole se prilagođavaju tako da sada Space omogućuje pomicanje cijele desne ruke zajedno s mišem, dok LShift preuzima kontrolu nad pomicanjem cijele lijeve ruke.

Na kraju, aplikacija omogućuje akciju dohvaćanja koja se aktivira kombinacijom tipki. Dok je pritisnuta bilo koja od kontrolnih tipki (**Shift** ili **Space**), pritiskom na tipku **G** pokreće se akcija dohvaćanja. Ova funkcionalnost je esencijalna za korisnike koji žele izvoditi precizne radnje poput uzimanja objekata, interakcije s virtualnim alatima ili manipulacije elementima unutar aplikacije.



Slika 7 Prikaz kontrola unutar VR aplikacije

5.2.2. Izgled i raspored elemenata unutar VR aplikacije

U ovoj fazi projekta odlučio sam koristiti besplatne 3D modele dostupne na mreži kako bih oblikovao izgled učionice u svojoj VR aplikaciji. Motivacija za izradu virtualne učionice bila je pružiti korisnicima osjećaj stvarnog prostora za učenje, s elementima poput stolova, stolica, ploče, kante za smeće i računala. Osim osnovnih elemenata učionice, dodao sam i razna svjetla, postere te ormare kako bih učionici dao realističniji izgled i stvorio ugodnu atmosferu za učenje. Ovi detalji ne samo da poboljšavaju vizualnu privlačnost aplikacije nego i doprinose cjelokupnom iskustvu korisnika, omogućujući im da se osjećaju uronjeno u obrazovno okruženje.

U sredini učionice nalazi se nekoliko stolova postavljenih u obliku pravokutnika, okruženih udobnim stolicama koje pružaju dovoljno prostora za interakciju s virtualnim sadržajem. Uz zidove učionice smješteni su ormarići i police, čime se dodatno obogaćuje prostor i stvara atmosfera prave učionice. Zidovi su ukrašeni posterima s ilustracijama i motivacijskim porukama vezanim uz računalne znanosti, čime se prostoru dodaje estetska vrijednost. Rasvjeta u učionici osigurava da je svaki kutak prostora dobro osvijetljen, s nekoliko strateški postavljenih izvora svjetlosti iznad stolova i na stropu. Učionica je također opremljena računalom na jednom od stolova, koje služi kao središnja točka za interakciju unutar aplikacije. Ploča smještena na zidu iznad stolova služi kao površina za prikazivanje informacija. U prostoru se također nalazi kanta za smeće, postavljena blizu izlaza, što dodatno doprinosi osjećaju funkcionalnosti i realnosti unutar virtualnog svijeta.



Slika 8 Prikaz virtualna učionica s računalom i pločom za interaktivno učenje.

5.2.3. Implementacija Interaktivnih gumba i animacija u virtualnoj učionici

Moja VR aplikacija usmjerena je na pružanje intuitivnog i vizualno bogatog načina za učenje osnovnih struktura podataka, poput reda (queue), stoga (stack) i liste (list). Kako bi se to postiglo, razvijene su tri ključne skripte koje upravljaju različitim aspektima interakcije korisnika s aplikacijom, kao i animacijama koje vizualno prikazuju rad tih struktura podataka.

Prva skripta, ***LockPositionRotation***, ima specifičnu funkciju unutar VR okruženja - osigurava da određeni objekti uvijek ostanu na svojim početnim pozicijama i s početnim rotacijama, bez obzira na korisničke interakcije. Ova skripta je ključna za stabilnost okruženja, jer osigurava da se objekti ne pomiču ili rotiraju, čime se korisnicima pruža konzistentno iskustvo učenja.

Skripta ***LockPositionRotation*** započinje spremanjem početnih vrijednosti pozicije i rotacije objekta kojem je pridružena. U svakoj iteraciji metode Update, pozicija i rotacija objekta se resetiraju na njihove početne vrijednosti, osiguravajući da objekt ostane fiksiran na mjestu. Ova stabilnost je ključna u edukativnim aplikacijama kako bi se korisnicima pružilo konzistentno i pouzdano iskustvo.

```

public class LockPositionRotation : MonoBehaviour
{
    private Vector3 initialPosition;
    private Quaternion initialRotation;

    void Start()
    {
        initialPosition = transform.position;
        initialRotation = transform.rotation;

        XRGrabInteractable interactable =
GetComponent<XRGrabInteractable>();
        if (interactable != null)
        {
            interactable.movementType =
XRBaseInteractable.MovementType.Kinematic;
        }
    }

    void Update()
    {
        transform.position = initialPosition;
        transform.rotation = initialRotation;
    }
}

```

Skripta **LockPositionRotation** započinje spremanjem početnih vrijednosti pozicije i rotacije objekta kojem je pridružena. U svakoj iteraciji metode **Update**, pozicija i rotacija objekta se resetiraju na njihove početne vrijednosti, osiguravajući da objekt ostane fiksiran na mjestu.

Skripta **CubeButton** zadužena je za upravljanje interakcijama između korisnika i gumbava unutar VR aplikacije. Ovi gumbavi omogućuju korisnicima da upravljaju vidljivošću određenih objekata unutar aplikacije, a pritom reagiraju na korisničke interakcije promjenom boje.

```

private Color originalColor;
public Color hoverColor = Color.red;

```

```

public Color clickColor = Color.green;

private Renderer cubeRenderer;

public GameObject[] objectsToToggle;
public GameObject[] otherObjectsToHide;

void Start()
{
    cubeRenderer = GetComponent<Renderer>();
    originalColor = cubeRenderer.material.color;

    XRGrabInteractable interactable =
    GetComponent<XRGrabInteractable>();

    interactable.hoverEntered.AddListener(OnHoverEnter);
    interactable.hoverExited.AddListener(OnHoverExit);
    interactable.selectEntered.AddListener(OnSelectEnter);
    interactable.selectExited.AddListener(OnSelectExit);

    SetInitialVisibility(false, objectsToToggle);
    SetInitialVisibility(false, otherObjectsToHide);
}

```

Ovaj dio skripte postavlja različite boje koje će se koristiti tijekom interakcije s gumbom. Kada korisnik pređe mišem (ili VR kontrolerom) preko gumba, boja se mijenja, signalizirajući da je objekt spreman za interakciju. Također, postavljaju se početna stanja objekata koji će biti prikazani ili skriveni kada se gumb pritisne. Ovaj pristup omogućava jednostavnu i vizualno intuitivnu interakciju, čime se korisniku pruža povratna informacija o njegovim radnjama.

```

private void OnHoverEnter(HoverEnterEventArgs args)

```

```

{
    cubeRenderer.material.color = hoverColor;
}

private void OnHoverExit(HoverExitEventArgs args)
{
    cubeRenderer.material.color = originalColor;
}

private void OnSelectEnter(SelectEnterEventArgs args)
{
    cubeRenderer.material.color = clickColor;
    Debug.Log(gameObject.name + " clicked!");
    ToggleObjectsVisibility();
    HideOtherObjects();
}

private void OnSelectExit(SelectExitEventArgs args)
{
    cubeRenderer.material.color = hoverColor;
}

```

Ovdje se upravlja događajima kada korisnik pređe mišem ili kontrolerom preko gumba i kada klikne na njega. Svaki od ovih događaja uzrokuje promjenu boje gumba, a klik također pokreće promjenu vidljivosti određenih objekata. Ovaj mehanizam omogućuje dinamičnu interakciju u aplikaciji, gdje korisnik može aktivno upravljati onim što vidi i s čim interagira.

```

private void ToggleObjectsVisibility()
{
    foreach (GameObject obj in objectsToToggle)
    {
        obj.SetActive(!obj.activeSelf);
    }
}

private void HideOtherObjects()
{
    foreach (GameObject obj in otherObjectsToHide)
    {
        obj.SetActive(false);
    }
}

private void SetInitialVisibility(bool state, GameObject[] objects)

```

```

{
    foreach (GameObject obj in objects)
    {
        obj.SetActive(state);
    }
}

```

Ove metode omogućuju skripti da dinamično mijenja vidljivost objekata. `ToggleObjectsVisibility` će prikazati ili sakriti objekte kada se gumb pritisne, dok će `HideOtherObjects` osigurati da se određeni drugi objekti sakriju. Ovaj pristup je posebno koristan kada korisnik želi prebacivati između različitih prikaza ili informacija unutar VR okruženja, pružajući mu kontrolu nad prikazom informacija.

Skripta ***CubeAnimationManager*** upravlja animacijama koje prikazuju kako osnovne strukture podataka (poput reda i stoga) funkcioniraju unutar VR aplikacije. Ove animacije pomažu korisnicima vizualizirati operacije kao što su dodavanje ili uklanjanje elemenata.

```

public GameObject[] queueCubes;
public GameObject enqueueButton;
public GameObject dequeueButton;
public GameObject pushButton;
public GameObject pullButton;
public GameObject addButton;
public GameObject deleteButton;

private bool isAnimating = false;
private Vector3[] originalPositions;
private Color originalColor;

public Color addedColor = Color.green;
public Color removedColor = Color.red;

void Start()
{
    originalPositions = new Vector3[queueCubes.Length];
    for (int i = 0; i < queueCubes.Length; i++)
    {
        originalPositions[i] = queueCubes[i].transform.position;
    }

    originalColor =
queueCubes[0].GetComponent<Renderer>().material.color;

    foreach (GameObject cube in queueCubes)
    {
        cube.SetActive(false);
    }

    XRGrabInteractable enqueueInteractable =
enqueueButton.GetComponent<XRGrabInteractable>();
    XRGrabInteractable dequeueInteractable =
dequeueButton.GetComponent<XRGrabInteractable>();
    XRGrabInteractable pushInteractable =
pushButton.GetComponent<XRGrabInteractable>();

```

```

        XRGrabInteractable pullInteractable =
pullButton.GetComponent<XRGrabInteractable>();
        XRGrabInteractable addInteractable =
addButton.GetComponent<XRGrabInteractable>();
        XRGrabInteractable deleteInteractable =
deleteButton.GetComponent<XRGrabInteractable>();

enqueueInteractable.selectEntered.AddListener(OnEnqueueButtonPressed);

dequeueInteractable.selectEntered.AddListener(OnDequeueButtonPressed);
        pushInteractable.selectEntered.AddListener(OnPushButtonPressed);
        pullInteractable.selectEntered.AddListener(OnPullButtonPressed);
        addInteractable.selectEntered.AddListener(OnAddButtonPressed);

deleteInteractable.selectEntered.AddListener(OnDeleteButtonPressed);
    }

```

Ovaj dio koda pohranjuje početne pozicije svih kockica koje predstavljaju elemente reda ili stoga. Također, postavlja slušatelje na različite gumbe za operacije poput dodavanja (enqueue, push) ili uklanjanja (dequeue, pull) elemenata. Svi ti slušatelji su povezani s funkcijama koje pokreću odgovarajuće animacije, čime se omogućuje vizualizacija rada s podacima.

```

private IEnumerator EnqueueAnimation()
{
    isAnimating = true;

    for (int i = 0; i < 4; i++)
    {
        queueCubes[i].SetActive(true);
    }

    queueCubes[4].SetActive(true);
    queueCubes[4].transform.position = originalPositions[3] + new
Vector3(2, 0, 0);
    queueCubes[4].GetComponent<Renderer>().material.color =
addedColor;

    Vector3 startPosition = queueCubes[4].transform.position;
    Vector3 endPosition = originalPositions[4];

    float duration = 0.5f;
    float elapsed = 0f;

    while (elapsed < duration)
    {
        queueCubes[4].transform.position =
Vector3.Lerp(startPosition, endPosition, elapsed / duration);
        elapsed += Time.deltaTime;
        yield return null;
    }

    queueCubes[4].transform.position = endPosition;

    yield return new WaitForSeconds(1f);
}

```

```

        for (int i = 0; i < queueCubes.Length; i++)
        {
            queueCubes[i].SetActive(false);
            queueCubes[i].transform.position = originalPositions[i];
            queueCubes[i].GetComponent<Renderer>().material.color =
originalColor;
        }

        isAnimating = false;
    }

```

Ova metoda animira proces dodavanja elementa na kraj reda. Kockica se najprije prikazuje na poziciji izvan reda, a zatim se glatko pomiče na svoje mjesto u redu. Ova animacija pomaže korisniku da vizualno prati proces dodavanja elementa u red.

```

private IEnumerator DequeueAnimation()
{
    isAnimating = true;

    foreach (GameObject cube in queueCubes)
    {
        cube.SetActive(true);
    }

    Vector3 startPosition = queueCubes[0].transform.position;
    Vector3 endPosition = startPosition + new Vector3(-1, 0, 0);

    float duration = 0.5f;
    float elapsed = 0f;

    while (elapsed < duration)
    {
        queueCubes[0].transform.position =
Vector3.Lerp(startPosition, endPosition, elapsed / duration);
        elapsed += Time.deltaTime;
        yield return null;
    }

    queueCubes[0].transform.position = endPosition;

    yield return new WaitForSeconds(1f);

    for (int i = 0; i < queueCubes.Length; i++)
    {
        queueCubes[i].SetActive(false);
        queueCubes[i].transform.position = originalPositions[i];
    }

    isAnimating = false;
}

```

Ova metoda prikazuje proces uklanjanja prvog elementa iz reda. Kockica se pomiče iz reda, a zatim se vraća na svoju početnu poziciju, omogućujući korisniku da jasno vidi kako red funkcionira.

Na isti način kao i prethodne dvije metode, skripta sadrži slične animacije za operacije poput "Push", "Pull", "Add" i "Delete". Svaka od ovih operacija mijenja položaj i boju kockica, čime se simulira rad s različitim strukturama podataka.

Zaključno, kôd koji je implementiran za ovu VR aplikaciju omogućava korisnicima da intuitivno i interaktivno istražuju složene koncepte poput struktura podataka u računalnim znanostima. Glavni cilj ovog koda je omogućiti vizualizaciju i animaciju operacija nad strukturama podataka poput redova i stogova u stvarnom vremenu unutar virtualnog okruženja.

Ovaj sustav korisnicima nudi jednostavan način za razumijevanje kako funkcioniraju osnovne operacije dodavanja i uklanjanja elemenata u različitim strukturama podataka. Kroz korištenje XR interakcijskih alata i precizno programiranih animacija, omogućeno je da se složene računalne operacije predstave na vizualno privlačan način.

5.3. Usporedba moje VR aplikacije s drugim e-learning platformama

Usporedba će obuhvatiti nekoliko sličnih e-learning platformi, poput Google Expeditions i drugih VR aplikacija koje koriste virtualnu stvarnost za obrazovne svrhe. Cilj je analizirati sličnosti i razlike u funkcionalnostima, načinu primjene te korisničkom iskustvu kako bi se utvrdile prednosti i moguća unapređenja moje aplikacije.

5.3.1. Usporedba s Google Expeditions

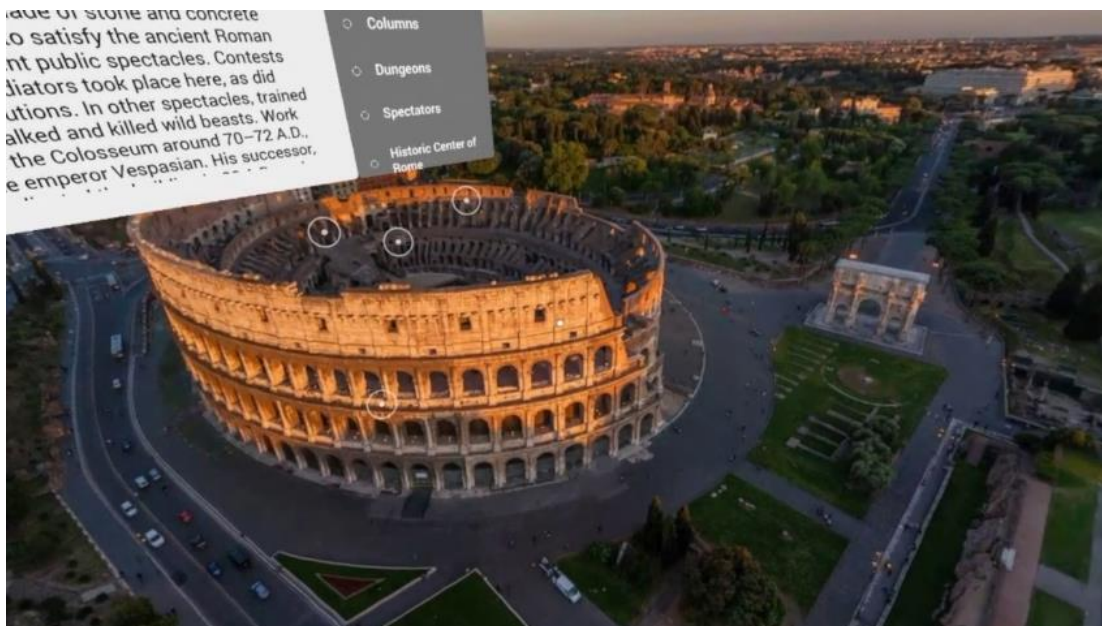
Moja VR aplikacija i Google Expeditions imaju slične ciljeve u obrazovnom kontekstu, ali koriste različite pristupe i tehnologije kako bi omogućili interaktivno učenje u virtualnoj stvarnosti (VR). Obje aplikacije koriste VR tehnologiju kako bi stvorile imerzivna okruženja u kojima učenici mogu učiti na način koji nije moguć u tradicionalnim učionicama, no postoji nekoliko ključnih razlika koje vrijedi istaknuti.

Google Expeditions prvenstveno se fokusira na pružanje virtualnih izleta i vodi učenike kroz različita stvarna i simulirana okruženja. To uključuje posjete povijesnim mjestima, prirodnim čudima i znanstvenim laboratorijima diljem svijeta. Glavni cilj Google Expeditions-a je omogućiti učenicima da vizualiziraju mjesta i okruženja koja bi inače bila nedostupna, čime se obogaćuje tradicionalni kurikulum i potiče zanimanje za nove teme. Koristeći VR headsetove, učenici mogu sudjelovati u vođenim izletima, gdje nastavnik kontrolira iskustvo, a učenici slijede sadržaj.

S druge strane, moja aplikacija ima više tehnički fokus, usmjeren na studente informatike i IT-a. Umjesto da učenike vodi kroz stvarna mjesta, moja aplikacija koristi VR za vizualizaciju i interaktivno učenje o apstraktnim podatkovnim strukturama (ATP-ovima), poput redova (queue), stogova (stack), i lista (list). Kroz simulaciju i animaciju tih struktura, studenti

moгу bolje razumjeti teorijske koncepte kroz praktičnu primjenu, što je ključno za razvoj tehničkih vještina u IT sektoru.

Obje aplikacije dijele zajednički cilj učiniti učenje interaktivnim i zabavnim ali Google Expeditions je više orijentiran na pružanje vizualnih iskustava kroz vođene izlete, dok moja aplikacija omogućuje praktično učenje kroz simulaciju i direktnu interakciju s edukativnim sadržajem.



Slika 9 Prikaz aplikacije Google Expeditions u kojoj se korisnici mogu virtualno kretati kroz povijesne lokalitete poput rimskog Koloseuma

5.3.2. Usporedba s Labster

Labster je jedna od najpoznatijih VR edukativnih platformi koja pruža virtualne laboratorijske simulacije za studente prirodnih znanosti poput biologije, kemije i fizike. Iako Labster i moja aplikacija imaju slične ciljeve; omogućiti studentima bolje razumijevanje kompleksnih koncepta kroz vizualizaciju i interaktivnost

Primarno, Labster je usmjeren na znanstvene discipline gdje studenti koriste virtualne laboratorijske alate za provođenje eksperimenata u kontroliranim simulacijama. Ciljna publika ove aplikacije su studenti prirodnih znanosti, dok moja aplikacija ima usko definiranu publiku

Tehnološka implementacija je također važna stavka. Dok se moja aplikacija oslanja na Unity engine i MockHMD XR Plugin, Labster koristi slične VR tehnologije, no s većim fokusom na napredne znanstvene simulacije i složenije interaktivne procese. Labster je prilagođen širokoj publici i globalno je dostupan na više uređaja, dok je moja aplikacija specifično prilagođena za određene edukativne programe i laboratorije, pružajući usmjereno iskustvo studentima informatike.



Slika 10 Labster VR simulacija laboratorija s interaktivnim alatima za analizu uzoraka.

6. Zaključak

Kroz ovaj završni rad, uspješno je razvijena VR aplikacija koja pruža inovativan i interaktivan način učenja za studente IT-a, s posebnim naglaskom na apstraktne podatkovne strukture. Korištenje virtualne stvarnosti omogućilo je stvaranje simuliranog okruženja u kojem studenti mogu vizualizirati i praktično primjenjivati svoje znanje, što je znatno učinkovitije u odnosu na tradicionalne metode učenja. Korištene metode i tehnike rada obuhvatile su razvoj i implementaciju VR tehnologije unutar Unity okruženja, s ciljem stvaranja edukativnog alata koji kombinira teorijsko znanje s praktičnom primjenom. Aplikacija je uspješno omogućila simulaciju i demonstraciju ključnih funkcionalnosti različitih podatkovnih struktura, pružajući studentima jedinstveno iskustvo učenja.

Rezultati rada pokazali su da primjena VR tehnologije u obrazovanju ima značajan potencijal, posebno u područjima koja zahtijevaju dublje razumijevanje kompleksnih koncepata. Razvijena aplikacija potvrdila je pretpostavke da VR može povećati angažiranost i motivaciju studenata te omogućiti učinkovitije učenje.

Ovaj rad također je pokazao kako se pomoću modernih tehnologija i besplatnih resursa može stvoriti kvalitetan edukativni alat koji studentima omogućuje bolje povezivanje teorije i prakse. U budućnosti, ovakve tehnologije mogle bi postati standard u obrazovnim institucijama, pružajući studentima nove načine za učenje i razvoj ključnih vještina za njihov profesionalni razvoj.

Popis literature

- [1] Lanier, J. (2017). Dawn of the New Everything: Encounters with Reality and Virtual Reality (pp. 10-11). Henry Holt and Co.
- [2] Henry E. Lowood (2024). virtual reality [Blog post]. Preuzeto 1.8.2024. s <https://www.britannica.com/technology/virtual-reality>
- [3] Christian Stein (2016), MediaTropes Vol VI, No 1 (pp. 53-54)
- [4] Michael A. Gigante (1993), Virtual Reality: Definitions, History and Applications (pp. 2-4)
- [5] CAVRN. (n.d.). The Sword of Damocles. Preuzeto 1.8.2024. s <https://cavrn.org/picturing-early-virtual-reality/>
- [6] Namkoong, K., Chen, J., Leach, J., Song, Y., Vincent, S., Byrd, A. P., & Mazur, J. (2024). Virtual reality for public health: a study on a VR intervention to enhance occupational injury prevention. *Journal of Public Health Research*, 13(2), 150-162.
- [7] Rizzo, A. S., Lange, B., Suma, E. A., & Bolas, M. (2011). Virtual Reality and Interactive Digital Game Technology: New Tools to Address Obesity and Diabetes. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 5(2), 256-264. Preuzeto 5.8.2024 s <https://doi.org/10.1177/193229681100500209>
- [8] Landes, T., Varghese, S., & Sargsyan, K. (2023). *Future Intelligence: The World in 2050 - Enabling Governments, Innovators, and Businesses to Create a Better Future*. Springer. Preuzeto 5.8.2024 s <https://doi.org/10.1007/978-3-031-36382-5>
- [9] Bailenson, J. N., & Yee, N. (2006). A longitudinal study of task performance, head movements, subjective report, simulator sickness, and transformed social interaction in collaborative virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 15(6), 699–716. <https://doi.org/10.1162/pres.15.6.699>
- [10] Garau, M., Slater, M., Pertaub, D.-P., & Razaque, S. (2005). The responses of people to virtual humans in an immersive virtual environment. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 14(1), 104–116. <https://doi.org/10.1162/1054746053890242>
- [11] Schulz, M. (2023). E-learning as a development tool. *Sustainability*, 15, 15012. <https://doi.org/10.3390/su152015012>
- [12] Means, B., Toyama, Y., Murphy, R., Bakia, M., & Jones, K. (2009). Evaluation of evidence-based practices in online learning: A meta-analysis and review of online learning studies. U.S. Department of Education. Preuzeto 13.8.2024 s <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED472435.pdf>

- [13] Lee, J., & Loughlin, C. (2023). E-learning strategies for sustainable development. *Educational Technology & Society*, 26(2), 102-114
- [14] Alfalah, A. A. (2023). Factors influencing students' adoption and use of mobile learning management systems (m-LMSs): A quantitative study of Saudi Arabia. *International Journal of Information Management Data Insights*. Preuzeto 13. 8. 2024. s <https://doi.org/10.1016/j.ijime.2022.100143> .
- [15] Busch, C. (2014). Proceedings of The 8th European Conference on Games Based Learning. Research and Training Center for Culture and Computer Science (FKI), University of Applied Sciences, HTW Berlin, Germany.
- [16] Huang, W. H. Y., & Soman, D. (2013). Gamification in Education: A Literature Review. Rotman School of Management, University of Toronto. Preuzeto 13. 8. 2024. s <https://mybrainware.com/wp-content/uploads/2017/11/Gamification-in-Education-Huang.pdf>
- [17] Hsu, C. K., Hwang, G. J., Chang, Y. T., & Chang, C. K. (2013). Effects of video-based learning on vocabulary acquisition. *Journal of Computer Assisted Learning*, 29(3), 234-247.
- [18] Pea, R., & Lindgren, R. (2008). Video as a tool for learning in a collaborative setting. *Educational Technology Research and Development*, 56(1), 21-30.
- [19] Bricken, M. (1991). Virtual reality learning environments: Potentials and challenges. *Computer Graphics*, 25(3), 178-184. Preuzeto 14. 8. 2024. s <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/126640.126657>
- [20] Freina, L., Bottino, R., & Tavella, M. (2016). From e-learning to VR-learning: An example of learning in an immersive virtual world. *Journal of e-Learning and Knowledge Society*, 12(2), 101-113.
- [21] Efendi, H., & Indriyanto, A. (2023). The application of virtual reality for educational purposes. *Journal of Educational Technology*, 34(4), 412-425.
- [22] Halawah, H. (2023). The Adoption and Use of (Virtual Reality/Augmented Reality) Technologies within e- Learning to Support Health & Safety Training. Preuzeto 15.8.2024. s https://www.researchgate.net/publication/379049115_The_Adoption_and_Use_of_Virtual_R_ealityAugmented_Reality_Technologies_within_e-_Learning_to_Support_Health_Safety_Training
- [23] Das, S. (2024). Research Trends of E-Learning: A Bibliometric and Visualisation Analysis. National Digital Library of India, Indian Institute of Technology Kharagpur.
- [24] Martín-Gutiérrez, J., & Mora, C. E. (2017). Virtual technologies trends in education. *EURASIA Journal of Mathematics Science & Technology Education*, 13(2), 469-486.

Popis slika

Slika 1 Prikazuje VIVED sustav, dizajniran i izgrađen 1984. godine od strane Dr. Mike McGreevyja i Jima Humphriesa	4
Slika 2 Prikaz komponenti e-učenja u žičanom virtualnom okruženju.	8
Slika 3 Prikaz vesikula unutar stanice u igri "The Body VR: Journey Inside a Cell," koja koristi VR za interaktivno učenje biologije.	12
Slika 4 XR Interaction Toolkit koji se koristi u ovom projektu za omogućavanje interakcije korisnika s virtualnim objektima.	16
Slika 5 Struktura XR Origin (XR Rig) objekta s prikazom glavne kamere i kontrolera za simulaciju pokreta ruku u virtualnom prostoru.....	16
Slika 6 konfiguracije Preset Manager-a za akcije desnog i lijevog kontrolera unutar XR Interaction Toolkit-a u Unity-u.....	17
Slika 7 Prikaz kontrola unutar VR aplikacije.....	18
Slika 8 Prikaz virtualna učionica s računalom i pločom za interaktivno učenje.	19
Slika 9 Prikaz aplikacije Google Expeditions u kojoj se korisnici mogu virtualno kretati kroz povijesne lokalitete poput rimskog Koloseuma	29
Slika 10 Labster VR simulacija laboratorija s interaktivnim alatima za analizu uzoraka.....	30