Razvoj obrazovne aplikacije za učenje geometrijskih tijela uporabom tehnologije miješane stvarnosti

Mikulić, Katarina

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:168:811089

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-22**

Repository / Repozitorij:

FER Repository - University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing repozitory

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. 1562

RAZVOJ OBRAZOVNE APLIKACIJE ZA UČENJE GEOMETRIJSKIH TIJELA UPORABOM TEHNOLOGIJE MIJEŠANE STVARNOSTI

Katarina Mikulić

Zagreb, lipanj 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. 1562

RAZVOJ OBRAZOVNE APLIKACIJE ZA UČENJE GEOMETRIJSKIH TIJELA UPORABOM TEHNOLOGIJE MIJEŠANE STVARNOSTI

Katarina Mikulić

Zagreb, lipanj 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

Zagreb, 4. ožujka 2024.

ZAVRŠNI ZADATAK br. 1562

Pristupnica:	**Katarina Mikulić (0036543177)**
Studij:	Elektrotehnika i informacijska tehnologija i Računarstvo
Modul:	Računarstvo
Mentorica:	prof. dr. sc. Lea Skorin-Kapov

Zadatak: **Razvoj obrazovne aplikacije za učenje geometrijskih tijela uporabom tehnologije miješane stvarnosti**

Opis zadatka:

Miješana stvarnost (eng. Mixed Reality, skr. MR) kombinira stvarni svijet s digitalnim elementima, omogućujući korisnicima interaktivno manipuliranje 3D virtualnim objektima postavljenim u stvarnom prostoru. U obrazovne svrhe, tehnologija miješane stvarnosti pruža učenicima interaktivno iskustvo učenja koje potiče angažman, vizualizaciju i praktičnu primjenu koncepta. Vaš je zadatak razviti obrazovnu aplikaciju za MR naočale koja koristi tehnologiju miješane stvarnosti kako bi olakšala učenje geometrijskih tijela. Potrebno je oblikovati aplikaciju tako da korisnicima omogući interaktivno istraživanje 3D modela različitih geometrijskih tijela, poput kocke, valjka i piramide. Kroz razdvajanje geometrijskih tijela na dijelove, korisnicima treba pomoći u savladavanju znanja o tome kako se računa površina i volumen svakog tijela. Nadalje, potrebno je implementirati kviz unutar aplikacije radi provjere stečenog znanja. Na kraju, potrebno je provesti korisničku studiju kako biste procijenili korisničko iskustvo prilikom korištenja razvijene aplikacije.

Rok za predaju rada: 14. lipnja 2024.

Zahvaljujem se mentorici ..... na strpljivosti i razumijevanju te pomoći stručnim savjetima i sugestijama bez kojih ne bi bila u mogućnosti završiti ovaj rad. Od srca, hvala! Zahvaljujem se svim profesorima Fakulteta elektrotehnike i računarstva na stručnom i profesionalnom odnosu. Zahvaljujem se svojim roditeljima i sestri Stanki koji su mi cijelo vrijeme podrška u mom školovanju.

Sadržaj

1. Uvod **3**

2. Miješana stvarnost **5**

2.1. Povijest miješane stvarnosti 5

2.2. Karakteristike miješane stvarnosti 6

2.2.1. Miješanje slike 8

2.2.2. Slijeđenje 9

2.3. Primjene miješane stvarnosti 10

3. Dizajn aplikacije **16**

4. Korištene tehnologije **19**

4.1. HoloLens 2 19

4.2. Unity 20

4.3. Mixed Reality Toolkit 3 (MRTK3) 20

4.4. Blender 21

4.5. Microsoft Visual Studio 21

5. Razvoj aplikacije **23**

5.1. Inicijalizacija projekta 23

5.2. Implementacija rješenja 25

5.2.1. Izrada modela u Blenderu 25

5.2.2. Izrada scene u Unity editoru 26

5.3. Implementacija kviza 28

5.4. Puštanje u pogon 29

6. Prikaz rada aplikacije **30**

6.1. Prikaz oplošja geometrijskih tijela 30
6.2. Prikaz volumena geometrijskih tijela 32
6.3. Prikaz kviza za provjeru znanja 33
6.4. Moguća proširenja aplikacije 37

Literatura **40**

Sažetak **44**

Abstract **45**

1. Uvod

Stereometrija je grana geometrije koja se bavi trodimenzionalnim modelima poput kocke, kvadra, prizme, piramide, valjka, stošca i sfere – oblicima koji čine prostor oko nas. Razumijevanje ovih geometrijskih tijela zahtijeva sposobnost mentalnog preoblikovanja trodimenzionalnog prostora, što često predstavlja izazov u učenju. Učenici i nastavnici tradicionalno koriste primitivne metode, poput crtanja na papiru ili izrade papirnatih modela, kako bi bolje razumjeli trodimenzionalni prostor.

Miješana stvarnost (engl. *mixed reality*, skr. MR) omogućuje preslikavanje virtualnog sadržaja u stvarni prostor, omogućujući korisnicima interakciju s virtualnim i stvarnim objektima u stvarnom vremenu. Kako bi se korisnicima približila geometrija kroz tehnologije proširene, miješane i virtualne stvarnosti, stvorene su aplikacije: *Math VR App* [1] u kojoj se kroz virtualnu stvarnost uči korisnike o matematici, posebno geometriji, *GeoGebra Augmented Reality* [2] u kojoj se proučava najviše geometrija kroz proširenu stvarnost. Osim aplikacija, postoje i knjige, kao *AR Books LibrARy - Geometry* [3] uz koju dolazi aplikacija za mobilne uređaje i tablete kako bi se prikazali objekti uporabom tehnologije proširene stvarnosti..

Cilj ovog rada je razviti obrazovnu aplikaciju nazvanu "GeoMetRy", koja koristi tehnologiju miješane stvarnosti, posebno Microsoftove HoloLens 2 naočale, kako bi korisnike naučila izračunavanju oplošja i volumena sedam poznatih geometrijskih tijela. Aplikacija će korisnicima, nakon svakog obrađenog geometrijskog tijela, omogućiti provjeru znanja rješavanjem kviza.

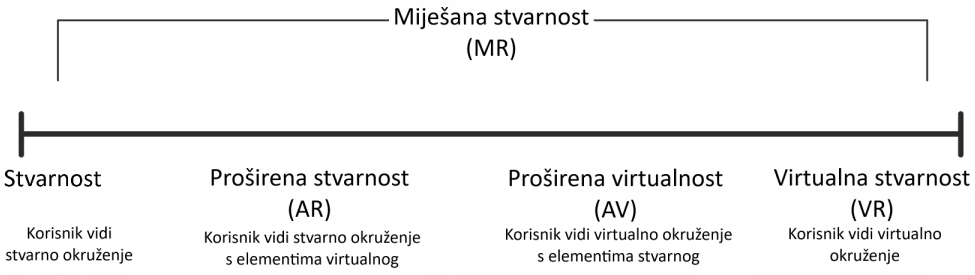
Rad je koncipiran u šest poglavlja. U drugom dijelu definirana je miješana stvarnost kao i ostali oblici dograđene stvarnosti (engl. *extended reality*, XR), njena povijest, karakteristike miješane stvarnosti, primjena u današnjici. Treće poglavlje opisuje dizajn

aplikacije. U četvrtom poglavlju navedene su i opisane tehnologije koje su korištene za izradu aplikacije. Peto poglavlje prikazuje razvoj aplikacije kroz inicijalizaciju projekta, izradu modela u Blenderu i scene u Unity editoru, implementaciju kviza i na kraju puštanje u pogon. Šesto poglavlje prikazuje rad aplikacije kroz HoloLens 2 naočale te mogućnosti za proširenje aplikacije. U završnom dijelu nalazi zaključak, popis korištene literature i sažetak.

2. Miješana stvarnost

Dograđena stvarnost (engl. *eXtended Reality*, skr. XR) [4] je pojam koji zapravo obuhvaća virtualnu, proširenu i miješanu stvarnost. XR tehnologija proširuje stvarnost u kojoj se nalazimo i na neki način ju modificira.

Postoje tri načina na koja se stvarnost može proširiti, slika 2.1. Jedno od njih je ubacivanje korisnika u virtualno okruženje koristeći virtualnu stvarnost (engl. *Virtual Reality*, skr. VR), drugo je virtualno proširivanje korisnikova okruženja pomoću proširene stvarnosti (engl. *Augmented Reality*, skr. AR), te treće je istovremeno korištenje virtualne stvarnosti u virtualnom okruženju i njeno obogaćivanje elementima iz stvarnog svijeta pomoću miješane stvarnosti (engl. *Mixed Reality*, MR).



Slika 2.1. Kontinuum virtualnosti, prilagođeno iz [5]

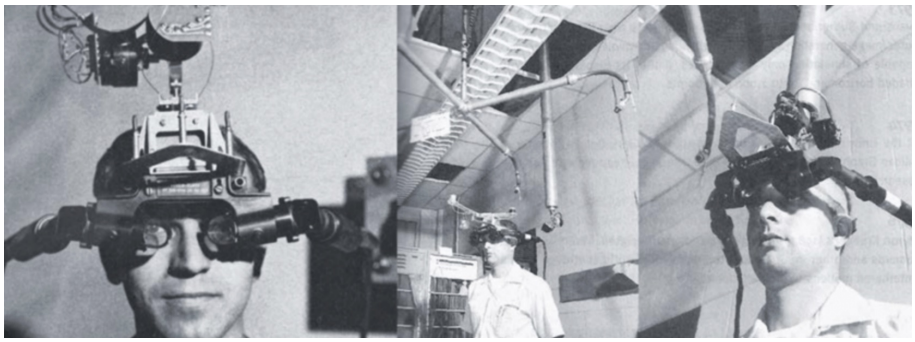
Miješana stvarnost [6] spaja stvarni i virtualni svijet, omogućujući korisnicima interakciju s virtualnim i stvarnim elementima na različite načine, neovisno o prisutnosti zaslona. Ova inovativna tehnologija imala je značajan utjecaj na različite sektore, uključujući zabavu, obrazovanje, zdravstvo, građevinarstvo, inženjering i dr.

2.1. Povijest miješane stvarnosti

Korijeni miješane stvarnosti sežu unatrag do rada Stevea Manna o posredovanoj stvarnosti (engl. *mediated reality*) u 1970-ima [7]. Mann je istraživao načine za poboljšanje

ljudske percepcije putem digitalnih slojeva unutar stvarnog svijeta.

Miješana stvarnost usko je povezana s razvojem virtualne stvarnosti i proširene stvarnosti. U šezdesetim i sedamdesetim godinama prošlog stoljeća, Ivan Sutherland i drugi istraživači razvijali su prve VR sustave, uključujući *Sword of Damocles* [8].To je jedan od prvih uređaja za projiciranje računalno generiranih slika u stvarni svijet, kao što je prikazano na slici 2.2.



Slika 2.2. Prvi VR sustav *Sword of Damocles*, preuzeto s [8]

U 1980-ima, proširena stvarnost pojavila se s istraživačima koji su stvorili sustave koji prekrivaju digitalne informacije u stvarnom svijetu, kao što je Louis Rosenbergov sustav *Virtual Fixtures*, omogućujući korisnicima manipulaciju virtualnim objektima u stvarnom okruženju [9]. U 1990-ima Thomas Caudell i David Mizell iz Boeinga razvili su prvi optički prozirni HMD (head-mounted display) - zaslon montiran na glavu, stvarajući pojam proširena stvarnost [7].

U istraživačkom radu iz 1994. pod nazivom *Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays*, miješana stvarnost prvi put dobiva svoj termin [10]. Ovdje se miješana stvarnost definira kao jedna od komponenti "kontinuuma virtualnosti", spajajući iskustva proširene stvarnosti (AR) i virtualne stvarnosti (VR) kako bi stvorila jedinstvenu cjelinu. Paul Milgram i Fumio Kishino, autori ovog istraživanja, promatrali su miješanu stvarnost kao kombinaciju vizualnih prikaza koji povezuju stvarna i virtualna okruženja na način da svaki element međusobno komunicira.

2.2. Karakteristike miješane stvarnosti

Miješana stvarnost je tehnologija koja koristi senzore kako bi računalu omogućila uvid u stvarni svijet, omogućujući korisniku percepciju različitih informacija o okolini. Ostale

tehnologije koje podržavaju miješanu stvarnost uključuju računalni vid, računarstvo u oblaku, sustave unosa, grafičku obradu i tehnologije prikaza.

Računalni vid (engl. *computer vision*) znanstvena je i tehnološka disciplina koja se bavi teorijom i izradom samog sustava koji služe dobivanju informacija iz slika, bilo to iz jedne ili više fotografija, videouradaka. Uz to cilj računalnog vida je prepoznavanje i praćenje objekata, detekcija unaprijed zadanih događaja, rekonstrukcija slike i sl.

Računarstvo u oblaku (engl. *cloud comouting*) omogućuje pristup softveru, sustavima ili datotekama putem oblaka, poput *Azure Remote Rendering-a*, koji nudi grafičku obradu po potrebi. Sustavi unosa omogućuju korisnicima interakciju s okolinom miješane stvarnosti putem kontrolera.

Grafički procesorski uređaji (engl. *graphics proccessing units*, GPU-ovi) koriste grafičku obradu za renderiranje 3D grafike [11]. Ova komponenta miješane stvarnosti omogućuje renderiranje digitalnih slika u fizičkom prostoru. GPU-ovi obrađuju složene grafičke operacije brže i efikasnije od standardnih procesora, što omogućuje stvaranje visoko kvalitetnih i realističnih 3D prikaza. U kontekstu miješane stvarnosti, GPU-ovi su ključni za stvaranje spoja između digitalnih i fizičkih elemenata, omogućujući interaktivna iskustva korisnicima.

Tehnologije prikaza izrađuju vizualne informacije, poput televizijskih ekrana, računalnih zaslona pametnih telefona, koji su često potrebni za pregled digitalnog sadržaja u miješanoj stvarnosti. Sveukupno, miješana stvarnost koristi različite tehnologije kako bi stvorila pozitivna iskustva za korisnike.

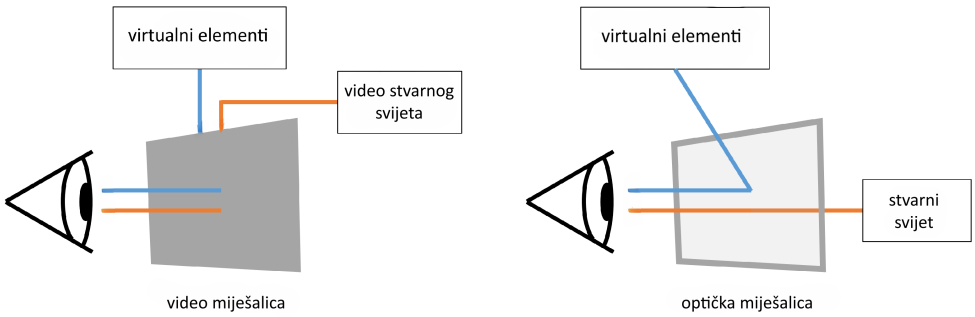
Za postizanje boljeg iskustva miješane stvarnosti, ključno je pratiti nekoliko početnih komponenti u MR rješenju: detekcija fizičkih objekata kroz prostorno mapiranje i ograničavajuće okvire, percepcija stvarnog okoliša radi stvaranja računalno generiranih replika, ulazni uređaji kao što su kamere, upravljači pokretima, odijela i podovi za trčanje, prepoznavanje objekata radi detekcije i klasifikacije objekata stvarnog svijeta i njihovih kategorija, praćenje lokacija i položaja u oba fizička i virtualna okruženja radi registracije odnosa, te virtualna svjetla za dodatni realizam pri prikazu virtualnog sadržaja [12].

2.2.1. Miješanje slike

Miješanje slike je pojam kojim se opisuje kako spojiti virtualnu sliku sa stvarnim svijetom. Miješanje slike za miješanu stvarnost može se ostvariti video miješanjem i optičkim miješanjem.

Video miješanje (engl. *video see-through*) kombinira stvaran svijet, snimljen kamerom ispred zaslona, s digitalno stvorenim virtualnim elementima [13]. Virtualna slika se generira na računalu, a zatim se kombinira sa stvarnom slikom u video miješalici, kao što je prikazano na slici 2.3. Ovaj proces omogućuje potpunu prilagodbu signala za različite efekte, poput usklađivanja vremenskog kašnjenja i kontrole osvjetljenja. Također je moguće potpuno prekriti stvarne objekte virtualnim, pružajući bogatije iskustvo. Analizom stvarnih slika moguće je pratiti položaj korisnika. Video miješanje se može primijeniti na različite vrste zaslona, uključujući HMD i pomične zaslone.

Optičko miješanje (engl. *optical see-through*) koristi optičku miješalicu, poluprovidno ogledalo, za istovremeni prikaz stvarnog svijeta i virtualne scene s ekrana postavljenog pod odgovarajućim kutem, obično 90 stupnjeva, kao na slici 2.3. Precizno praćenje pokreta korisnikove glave je ključno za usklađivanje virtualne slike sa stvarnim svijetom. Prednosti ovog pristupa su visoka razlučivost slike stvarnog svijeta i mogućnost da se ona vidi čak i kada je uređaj isključen, što je posebno korisno za uređaje poput zaslona na glavi. Optičko miješanje omogućuje i stereoskopski prikaz koristeći zasebne zaslone za svako oko ili zasebne optičke miješalice. Različite vrste zaslona, poput zaslona na ruci, zaslona na glavi i statičnih zaslona iza većih poluprozirnih ogledala, omogućuju implementaciju ovog pristupa.



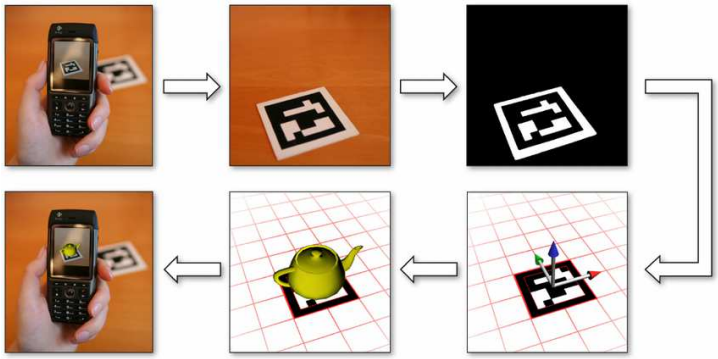
Slika 2.3. Ilustrativni prikaz video i optičkog miješanja, prilagođeno iz [14]

2.2.2. Slijeđenje

Slijeđenje (engl. *tracking*) je postupak dobivanja položaja i orijentacije predmeta u stvarnom vremenu, što je osnova poravnavanja (engl. *registration*) [13]. Radi se o usklađivanju stvarnih i virtualnih objekata, ne samo na zaslonu, već i u trodimenzionalnom prostoru. Glavne tehnologije slijeđenja uključuju elektromagnetsko, akustično, optičko, mehaničko i inercijsko slijeđenje. U proširenoj stvarnosti često se koriste i GPS lociranje te hibridne metode koje kombiniraju nekoliko metoda slijeđenja.

Istovremena lokalizacija i mapiranje (engl. *simultaneous locaization and mapping*, skr. SLAM) je tehnologija koja omogućava uređajima poput robota i samovozećih automobila da stvore kartu svoje okoline i odrede svoju lokaciju unutar nje. To im omogućava navigaciju i razumijevanje okoline u stvarnom vremenu. SLAM se koristi u iskustvima miješane stvarnosti, omogućujući uređajima poput pametnih telefona i naočala da točno postave virtualne objekte unutar fizičkih prostora. Na primjer, u MR aplikaciji, naočale mogu točno postaviti virtualni stol i omogućiti interakciju s virtualnim objektima.

Slijeđenje s oznakama (engl. *marker-based tracking*) je jednostavnija metoda, najpoznatija po AR ToolKit. U ovoj metodi se u scenu postavljaju orijentacijske oznake ili markeri (engl. *fiducials* ili *markers*), koje se lako lociraju analizom slike. Oznake se postavljaju na precizno izmjerena mjesta u prostoru, omogućujući postavljanje virtualnih predmeta prema oznakama, kao što je prikazano na slici 2.4.



Slika 2.4. Prikaz rada slijeđenja s oznakom, preuzeto iz [15]

Slijeđenje bez oznaka (engl. *marker-less tracking*) je složenija metoda računalnog vida, koja ne zahtijeva nikakve oznake ili dodatke stvarnoj sceni. Slijeđenje bez oznaka funkcionira tako što se istodobno lokalizira kamera u prostoru te se stvara 3D mapa scene (SLAM). Iz videa stvarnog svijeta moguće je locirati nekoliko točaka (engl. *features*) od

interesa, npr. rubove stvari, kutove, promjene teksture, itd. Te točke u slici se onda slijede iz slike u sliku i iz njihove korespondencije izračunava se 3D lokacija kamere. Kako svaka takva točka uz 2D lokaciju u slici ima i 3D lokaciju u prostoru, moguće je iskoristiti sve te lokacije za stvaranje 3D mape prostora.

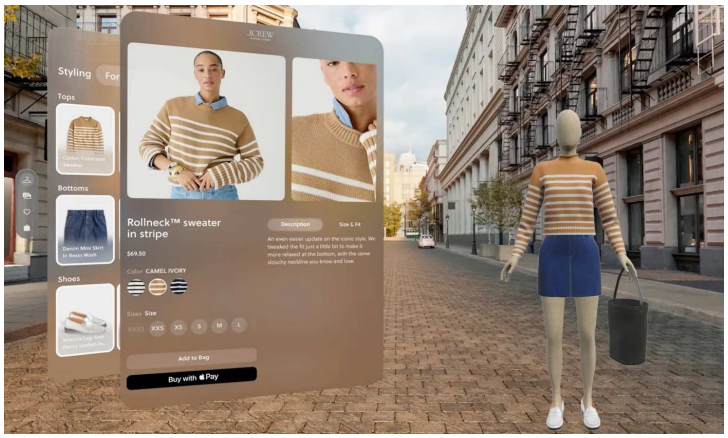
Sa GPS slijeđenjem može se odrediti položaj korisnika uz korištenje diferencijalnog GPS-a. U kombinaciji s drugim tehnikama, najčešće s inercijskim sljednicima, dobija se lokacija i orijentacija korisnika. GPS je metoda koja omogućava da se relativno jednostavno slijedi mobilni korisnik na duljim vanjskim relacijama.

2.3. Primjene miješane stvarnosti

Miješana stvarnost u marketingu

Miješana stvarnost može značajno poboljšati online kupovinu pružajući osobnije i praktičnije iskustvo [16]. Korištenjem MR-a može se virtualno isprobati odjeća u digitalnoj garderobi koja nudi točne mjere i rasvjetu, omogućujući korisniku da se vidi kako mu odjeća stoji bez fizičkog isprobavanja. Također, može se vizualizirati kako bi različiti predmeti za uređenje doma ili aparati izgledali i uklopili se u prostor, olakšavajući donošenje odluka o kupnji.

Aplikacija Mytheresa za Vision Pro pokazuje kako se kupovina mijenja [17]. Ova aplikacija pruža virtualna iskustva kupovanja koja korisnike prenose u Pariz s realističnim zvukovima. Koristeći kontrole očima i rukama, kupci mogu pregledavati pažljivo odabrane kolekcije i obaviti kupnju putem Apple Pay-a, što se vidi na slici 2.5.



Slika 2.5. Aplikacija Mytheresa, preuzeto s [17]

Miješana stvarnost u igrama

Miješana stvarnost predstavlja revolucionarnu promjenu u iskustvu igranja videoigara [18]. Integrirajući stvarna okruženja igrača u igru, MR omogućuje imerzivna iskustva igranja u njihovom vlastitom dnevnom boravku, obližnjem parku ili čak na gradskim ulicama. Osim što omogućuje unos igre u stvarni svijet, MR igre također poboljšavaju uronjenost i interakciju. Igračevi pokreti, geste i pogled imaju izravan utjecaj na svijet igre. Spajanje stvarnih i digitalnih svjetova otvara nove mogućnosti za mehanike igre, omogućavajući igračima da se bore protiv vanzemaljaca u svom dvorištu ili rješavaju misterije u svom dnevnom boravku, pružajući potpuno novu dimenziju iskustvu igranja.

Robo Raid se ističe kao jedna od impresivnijih aplikacija koja jasno pokazuje što sve miješana stvarnost može pružiti. Ova svemirska pucačka igra na prvi pogled, zapravo je mnogo više od toga, slika 2.6. Robo Raid uvodi igrače u čaroliju tehnologije miješane stvarnosti kroz demonstraciju tehnike skeniranja prostora i superpoziciju igračkih elemenata na stvarni prostor korisnika.

Slika 2.6. Primjena miješane stvarnosti u zabavi, preuzeto s [19]

Miješana stvarnost u zdravstvu

MR simulacije stvaraju hologramski učinak stvarnih dijelova ljudskog tijela, kao što se vidi na slici 2.7. [20]. Lebdenje mobilnog uređaja iznad određenog područja stvara 3D interaktivne modele organa kako bi se razumjelo njihovo funkcioniranje. Također je postala moćno sredstvo za obuku medicinskih stručnjaka, studenata i daljinsko operiranje terenskim medicinskim tehničarima.

U radiologiji, kirurzi mogu koristiti MR pogon za rendgenski vid kako bi vidjeli kroz pacijentovu kožu i identificirali krvne žile i kosti. Miješana stvarnost može biti izuzetno

učinkovita u primjeni tijekom kritičnih operacija i čak spasiti živote.

Slika 2.7. Primjena miješane stvarnosti u zdravstvu, preuzeto s [21]

Miješana stvarnost u građevinarstvu ili inženjeringu

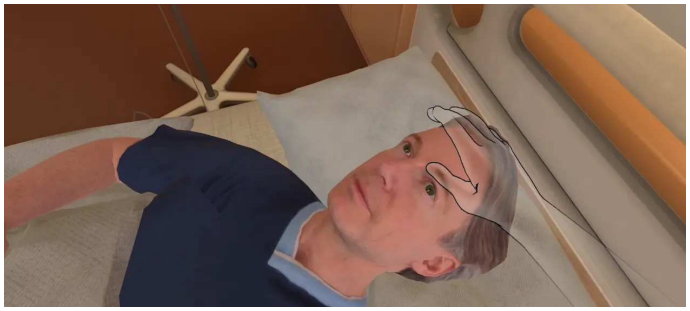
MR uređaji mogu stvarati virtualne karte gradilišta za inženjere, arhitekte i radnike na licu mjesta koji rade izvanredno, slika 2.8. Uz softver za 3D modeliranje, dizajneri i arhitekti ilustriraju svoje projekte putem holograma miješane stvarnosti.

Slika 2.8. Primjena miješane stvarnosti u građevinarstvu preuzeto s [22]

Miješana stvarnost može se koristiti za konceptualizaciju građevinskih struktura u raznim oblicima bez putovanja na dugim udaljenostima za posjete gradilištima. Bilo da su oznake stupova netočne, boja nije prikladna ili je potrebno mijenjati plodlogu, miješana stvarnost pruža uvid u sve.

Miješana stvarnost za obuku

Miješana stvarnost može biti alat za obuku i edukaciju, kako u učionici tako i za pružanje obuke na radnom mjestu. Umjesto sudjelovanja u složenim ili opasnim vježbama obuke, instruktori i studenti mogu izvršiti simulirane vježbe obuke. Kroz primjer obuke medicinskih sestara, slika 2.9., prikazat će se prednost korištenja imerzivnih tehnologija.



Slika 2.9. Primjena miješane stvarnosti u obučavanju medicinskih sestara, preuzeto s [23]

Obuka medicinskih sestara u virtualnoj stvarnosti donosi niz ključnih prednosti [23]. Jedna od njih je mogućnost ponavljanja rijetkih ili složenih scenarija koliko god puta je potrebno. Kroz ovakav pristup, medicinske sestre mogu postići veće samopouzdanje i unaprijediti svoje vještine bez rizika za pacijente. Posebno je korisno u situacijama kao što je umetanje PEG cijevi, gdje je svaka greška od presudne važnosti. Vježbanje u virtualnom okruženju omogućuje medicinskim sestrama da usavrše svoju tehniku prije nego što je primijene na stvarnom pacijentu.

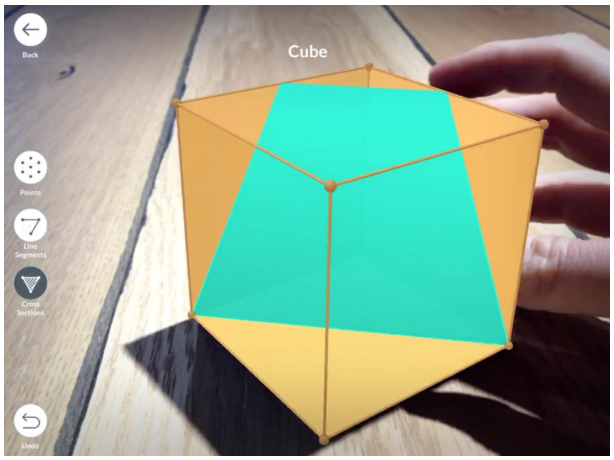
Druga ključna značajka VR obuke je korištenje virtualnih pacijenata koji se ponašaju i reagiraju kao pravi pacijenti te pruža autentično iskustvo i maksimalnu imerziju. Uzimanje u obzir ljudskog faktora ključno je u zdravstvenoj njezi. Reakcije virtualnih pacijenata na različite tretmane i postupke mogu se prilagoditi, što omogućuje medicinskim sestrama učenje iz svojih grešaka i poboljšaju kvalitetu svoje njege.

Miješana stvarnost u obrazovanju

Miješana stvarnost omogućuje poboljšano učenje kroz interaktivno iskustvo koje pojačava razumijevanje kompleksnih koncepta i eksperimenata [24]. Personalizirano učenje postaje moguće putem prilagođenih informacija i trenutnih povratnih informacija, dok se proširuje dostupnost obrazovnog materijala i istraživanja putem interaktivnih okruženja, slika 2.10. Uz to, miješana stvarnost podržava kontinuirano učenje putem distribuiranih znanja i mogu stvoriti sveprisutno učenje, poboljšavajući angažman i uspjeh u učenju. Miješana stvarnost pruža inovativne mogućnosti za istraživanje s učenicima zahvaljujući svojim imerzivnim značajkama.

Slika 2.10. Primjena miješane stvarnosti u obrazovanju, preuzeto s [21]

Ona privlači pažnju učenika, osobito onih koji se teže koncentriraju, te pruža priliku za povećanje angažmana tijekom nastave korištenjem tehnologija poput 3D-a koje omogućuju imerzivno iskustvo dodira i osjeta, slika 2.11. Miješana stvarnost okuplja učenike bez obzira na njihove socijalne ili ekonomske razlike te potiče interakciju između učenika i nastavnika. Može se koristiti za podučavanje bilo kojeg predmeta i teme, a nema ograničenja u tome što se može pretvoriti u imerzivnu metodu.



Slika 2.11. Primjena miješane stvarnosti u geometriji [25]

U istraživanju A. Estapa i L. Nadolny provedenom u srednjoj školi u Iowi, sudjelovalo je 61 učenik, podijeljenih u dvije grupe: jednu koja je koristila tehnologiju proširene stvarnosti (AR) i drugu koja je koristila web stranicu [26]. Istraživanje je započelo s uvodnim testiranjem, tijekom kojeg su učenici rješavali 10 pitanja koristeći pisani materijal. Nakon toga, učenici su koristili AR ili web tehnologiju za učenje, nakon čega je proveden posttest, koji je pokazao značajne rezultate. Također je proveden odgođeni posttest

nakon određenog vremenskog razdoblja kako bi se utvrdilo koliko su učenici zadržali naučeno.

Rezultati istraživanja pokazali su da su učenici koji su koristili AR bili više angažirani i zainteresirani za lekciju u usporedbi s onima koji su koristili web stranicu. Također, učenici koji su koristili AR pokazali su veći napredak u razumijevanju dimenzijske analize i pretvorbi jedinica u odnosu na one koji su koristili web.

Pored toga, istraživanje je identificiralo da je AR okruženje omogućilo dublje uključivanje učenika u matematičko učenje, potičući kreativnost i inicijativu u rješavanju problema. Oba su testna postupka pokazala napredak u bodovima učenika, iako je došlo do blagog smanjenja učinkovitosti nakon provedenog posttesta, što se nadoknadilo na odgođenom posttestu.

Osim toga, učenici su izrazili više interesa i znatiželje za AR lekciju, dok su oni koji su koristili web stranicu izrazili veće samopouzdanje. Općenito, AR lekcija ocijenjena je kao zanimljiva i korisna, dok je lekcija putem weba smatrana manje izazovnom.

Zaključno, istraživanje je pokazalo da AR tehnologija podržava matematičko učenje učenika, pružajući interaktivne i zanimljive prilike za učenje. Međutim, daljnja istraživanja potrebna su kako bi se bolje razumjelo kako AR tehnologija utječe na učenje, kao i kako se može optimizirati za poboljšanje i tehničkog i konceptualnog razumijevanja matematike putem tehnologije.

Korištenjem uređaja za miješanu stvarnost, učenici i nastavnici mogu putovati kroz vrijeme ili posjetiti bilo koje mjesto te interaktivno komunicirati s povijesnim lokalitetima, životinjama ili ljudima koji više ne postoje. Ovo pomaže učenicima da steknu novu i realističniju sliku, a granica je samo njihova mašta.

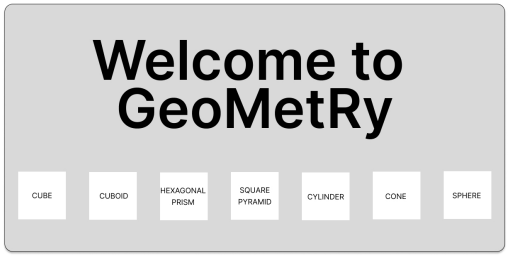
3. Dizajn aplikacije

U današnje vrijeme brzih tehnoloških promjena predstavlja veliki izazov kako učenike motivirati za usvajanja znanja i stjecanja kompetencija koje su im neophodne za rad i život. Tradicionalni oblik nastave učenja matematike u kojem se koriste samo ploča i kreda kod učenika izaziva odbojnost i nezainteresiranost. Digitalna tehnologija omogućuje stvaranje okruženja koje je učenicima ugodno i poticajno za rad.

U sklopu ovog rada razvijena je aplikacija GeoMetRy koja je namijenjena učenicima, a i nastavnicima u osnovnim i srednjim školama u dijelu geometrije koja se bavi prostorom – stereometrija. Odlikuje je jednostavnost za korištenje. Aplikacija unaprjeđuje nastavni proces obrađujući nastavne sadržaje koristeći prednosti MR tehnologije s uređajem HoloLens 2. Korisnici imaju mogućnost istraživanja modela mreže i tijela geometrijskih oblika na vrlo intuitivan način. Mogu pomicati i skalirati modele u prostoru, što im omogućuje potpunu interakciju s oblicima koje proučavaju.

Aplikacija počinje srdačnom porukom koja poziva korisnike da istraže svijet oplošja i volumena geometrijskih tijela. Na glavnom sučelju, nalazi se sedam gumba, svaki posvećen jednom od sedam geometrijskih tijela: kocki, kvadru, šesterostranoj prizmi, četverostranoj piramidi, valjku, stošcu i kugli, kao na slici 3.1. Za svaki od ovih tijela, pripremljen je model mreže i tijela. Model mreže osmišljen je kako bi olakšao razumijevanje oplošja geometrijskih oblika, dok je model tijela za volumen.

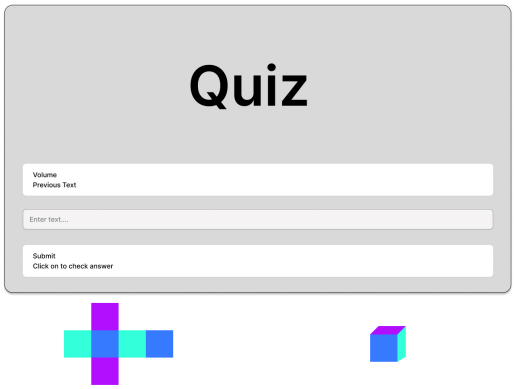
Pritiskom na odgovarajući gumb, prikazat će se model mreže geometrijskog tijela uz tekst o izračunu oplošja. Pored teksta, nalazi se gumb koji omogućuje prikaz modela tijela s dodatnim tekstom o izračunu volumena. U sučelju volumena, pored modela tijela, nalaze se još dva gumba: jedan za povratak na prethodni tekst o oplošju s pripadajućim modelom mreže, a drugi za pokretanje kviza provjere znanja, što se vidi na slici 3.2.



Slika 3.1. Prikaz glavnog sučelja

Slika 3.2. Prikaz sučelja za oplošje i volumen

Kviz je dizajniran tako da prikazuje modele mreže i tijela odabranog geometrijskog oblika. Sastoji se od tri pitanja na koja je potrebno točno odgovoriti kako bi se uspješno riješio kviz. Na panelu za svako pitanje, osim ponuđenog teksta, nalaze se gumbi koji omogućuju korisniku povratak na tekst o volumenu tijela ako želi osvježiti sjećanje o formulama za izračun, te gumb za predaju odgovora, kao na slici 3.3.



Slika 3.3. Prikaz sučelja kviza provjere znanja

Tijekom prikaza kviza, prikazani su modeli mreže i tijela odabranog geometrijskog tijela. Na ekranu se prikazuje pitanje na koje korisnik treba odgovoriti. Korisnik unosi

svoje moguće rješenje putem virtualne tipkovnice. Nakon što korisnik pošalje svoj odgovor na provjeru, ako je odgovor netočan, korisnik će dobiti povratnu informaciju o pogrešnom odgovoru i bit će mu omogućen novi pokušaj. Ako je odgovor točan, korisnik dobiva sljedeće pitanje. Kada korisnik točno odgovori na sva tri pitanja, bit će obaviješten da je kviz uspješno završen te može nastaviti učenje na sljedećem geometrijskom tijelu.

4. Korištene tehnologije

4.1. HoloLens 2

HoloLens 2, razvijen od strane Microsofta, slika 4.1., je HMD uređaj za miješanu stvarnost s naprednim tehničkim karakteristikama koje omogućuju visoko kvalitetno MR iskustvo [27]. Koristi napredni optički sustav s maksimalnom razlučivošću od 2K, omogućujući prikaz virtualnih elemenata na prozirnom zaslonu, čime korisnici mogu vidjeti stvarni svijet zajedno s virtualnim sadržajem.

Ključna značajka HoloLens 2 je praćenje korisničkih gesta pomoću senzora i kamera, što omogućuje intuitivno upravljanje virtualnim objektima. Također, uređaj prati korisnički pogled i prilagođava prikaz virtualnih elemenata u skladu s korisnikovim smjerom pogleda, poboljšavajući MR iskustvo.

Slika 4.1. Microsoft HoloLens 2, preuzeto s [28]

Opremljen različitim senzorima, HoloLens 2 stvara detaljan trodimenzionalni prikaz okoline i precizno integrira virtualne objekte sa stvarnim svijetom. Snažan procesor i 4 GB RAM-a osiguravaju glatko izvođenje aplikacija, dok *Windows Holographic OS* omogućuje samostalno funkcioniranje uređaja s mogućnostima povezivanja na Wi-Fi,

preuzimanja aplikacija i pretraživanja Interneta [29]. Uređaj podržava bežično povezivanje putem Wi-Fi i Bluetooth, te ima USB Type-C priključak za fizičko povezivanje s računalom ili drugim vanjskim uređajima.

4.2. Unity

Unity nije samo alat, već i platforma koja omogućava kreiranje interaktivnih iskustava, uključujući igre, aplikacije i virtualne simulacije [30]. Sposoban je podržati razvoj na različitim platformama, kao što su računala, mobilni uređaji i konzole. Za projekte poput GeoMetRy, ključno je imati podršku za miješanu stvarnost (MR), a upravo tu se ističe Unity.

Sa svojim raznovrsnim setom alata i resursa, Unity olakšava proces razvoja aplikacija. Kroz intuitivan uređivač, elementi se lako manipuliraju principom povuci i spusti, a razvijatelji imaju mogućnost pisanja vlastitih skripti u jeziku C#, što omogućava ostvarenje naprednih funkcionalnosti. Također, Unity Asset Store dodatno obogaćuje ponudu, nudeći različite resurse i alate koji mogu biti od koristi [31].

Zahvaljujući svojim tehničkim mogućnostima, fleksibilnosti i podršci zajednice, Unity je postao preferirani izbor za razvojne timove i programere širom svijeta. Upravo zbog svoje sveobuhvatnosti i prilagodljivosti, Unity se ističe kao idealno rješenje za kreiranje visokokvalitetnih aplikacija, uključujući i GeoMetRy, gdje se koristi verzija Unityja 2022.3.27f1.

4.3. Mixed Reality Toolkit 3 (MRTK3)

MRTK3, treća generacija Mixed Reality Toolkit-a za Unity, otvoreni je projekt dizajniran kako bi ubrzao razvoj miješane stvarnosti na različitim platformama u Unityju [32]. Ova verzija temelji se na Unityjevom XR Interaction Toolkitu (XRI) i OpenXR-u, te donosi brži, čišći i modularniji pristup razvoju s olakšanim radnim procesom zahvaljujući OpenXR-u i Unity Input Systemu.

Ključna poboljšanja uključuju arhitekturu izgrađenu na Unity XR Interaction Toolkitu i Unity Input Systemu, s posebnim naglaskom na podršku za OpenXR i fleksibilnost

za druge XRSDK platforme. Otvorene i proširive paradigme interakcije preko različitih uređaja, platformi i aplikacija također su dio ovih poboljšanja.

Što se tiče performansi, većina značajki i sustava je prepravljena i redizajnirana za maksimalnu učinkovitost, s nultom alokacijom memorije po okviru, što je posebno optimizirano za HoloLens 2 i druge mobilne platforme s ograničenim resursima. U području korisničkog sučelja, MRTK3 donosi nove modele interakcije poput gaze-pinch indirektne manipulacije, ažuriranje dizajna jezika za miješanu stvarnost, te proizvodnu dinamičku automatsku raspodjelu elemenata korisničkog sučelja uz jedinstveni ulaz za 2D i 3D sadržaj te podršku za prilagođenost pristupačnosti. Što se tiče zahtjeva, MRTK3 zahtijeva Unity verziju 2021.3.21 ili noviju, te je potrebno koristiti Mixed Reality Feature Tool za Unity kako bi se pronašli, preuzimali i dodavali paketi u projekt.

Podržani uređaji uključuju Microsoft HoloLens 2, Magic Leap 2, Meta Quest 1/2, te eksperimentalnu podršku za Windows Mixed Reality, SteamVR, Oculus Rift na OpenXR-u, Varjo XR-3 i tradicionalne flat-screen desktop računalne platforme pod sustavom Windows.

4.4. Blender

Blender je besplatni i open source alat za 3D kreaciju, podržavajući cijeli 3D proces od modeliranja do uređivanja videa i kreiranja igara [33]. Cycles je Blenderov moćni ugrađeni mehanizam koji nudi ultra-realistično renderiranje. Blenderov široki spektar alata za modeliranje omogućuje lako kreiranje, transformiranje i uređivanje modela, uključujući podršku za N-Gone, napredne alate za skulpturiranje, multi-rezoluciju, dinamičku podjelu i 3D slikanje. Njegovi napredni alati za rigging i animaciju koriste se u brojnim projektima. Blenderovo sučelje je fleksibilno i kontrolirano Python skriptama, omogućujući prilagodbu izgleda, boja, veličine i fontova, te podržava Hi-res/Retina ekrane i crtanje preko OpenGL prikaza [34].

4.5. Microsoft Visual Studio

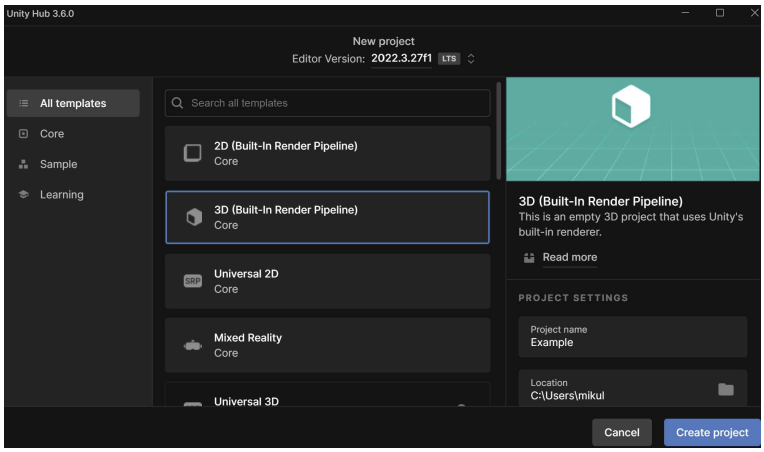
Microsoft Visual Studio je integrirano razvojno okruženje (engl. integrated development editor, IDE) koje se koristi za razvoj softverskih rješenja [35]. Visual Studio podržava raz-

ličite programske jezike, uključujući C#, koji je ključan za razvoj u Unityju. Nudi snažne alate za uređivanje koda, pronalaženje grešaka u kodu, testiranje i implementaciju aplikacija. Integracija s Unityjem omogućuje brze iteracije i testiranje unutar Unity okruženja. Visual Studio također nudi bogatu kolekciju proširenja i dodataka, čime se dodatno povećava produktivnost i prilagodljivost radnog okruženja specifičnim potrebama projekta GeoMetRy.

5. Razvoj aplikacije

5.1. Inicijalizacija projekta

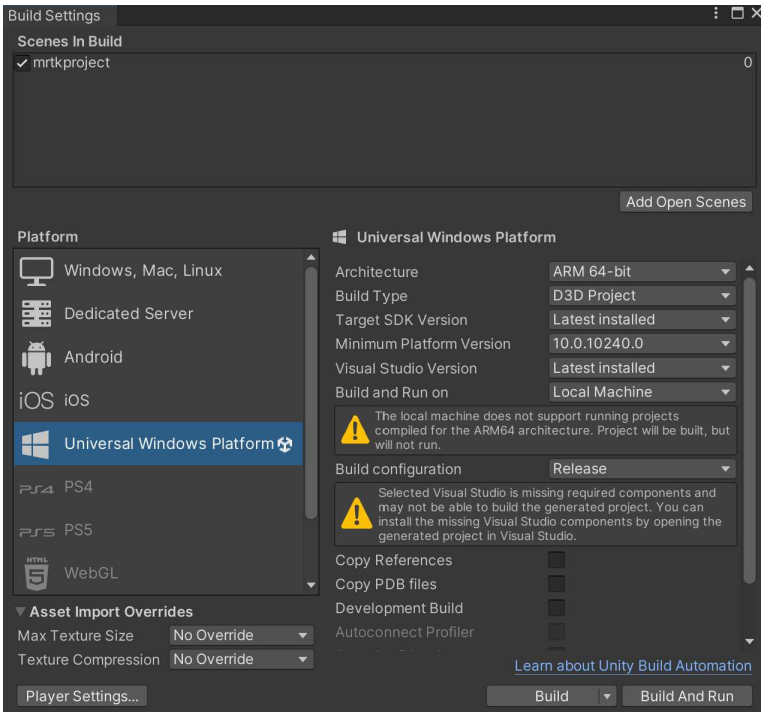
Za potrebe aplikacije, prvo se preuzme i instalira Unity verzija 2022.3.27f1 koja podržava verziju za izgradnju MR aplikacija. Potrebno je provjeriti jesu li uključeni moduli: *Universal Windows Platform Build Support* i *Windows Build Support (IL2CPP)*. U Unity Hub-u klikne se na gumb *New Project*, odabere se 3D predložak i verzija Unity editora. Odebere se ime projekta i mjesto spremanja projekta, kao na slici 5.1.



Slika 5.1. Inicijalizacija projekta za aplikaciju GeoMetRy

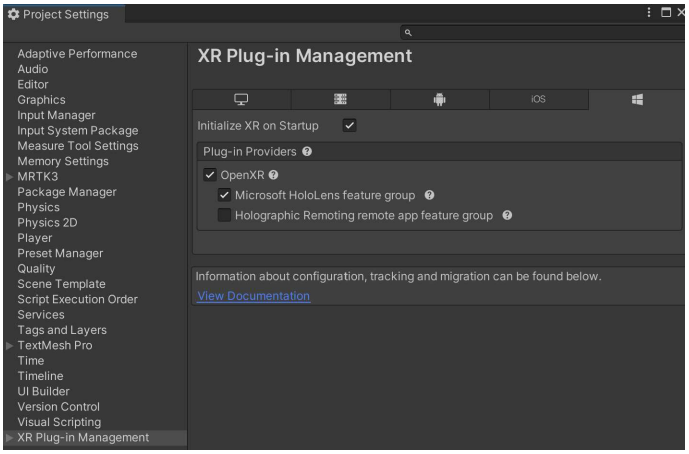
Unutar Unity editora treba prilagoditi postavke kako bi se omogućila podrška za uređaj HoloLens 2. Pritiskom na gumb alatne trake *File*, nalazi se *Bulid Settings* unutar kojeg se kofiguriraju postavke za uređaj HoloLens 2. Postavke se prilagode na *Universal Windows Platform (UWP)*, pritisne se gumb *Add Open Scene* kako bi se dodale sve potrebne scene. Dodatno, postavlja se arhitektura na ARM 64-bit, slika 5.2.

Zatim, potrebno je dodati određene pluginove i konfiguracije za miješanu stvarnost. Nakon preuzimanja Microsoftovog *Mixed Reality Feature Tool-a*[36], alat se pokreće te se klikne na *Start*.



Slika 5.2. *Build Settings* za aplikaciju GeoMetRy

U sekciji *Project Path* odabire se datoteka u kojoj se nalazi projekt. Potom se klikne na *Discover Features* kako bi se otvorio izbornik sa svim MRTK komponentama. U izborniku odabiru se komponente *Mixed Reality OpenXR Plugin*, *MRTK Foundation*, *MRTK tools* i *MRTK Extensions*, koje se dodaju u projekt klikom na *Get Features*. Nakon toga u *Project Settings* klikne se na *XR Plug-in Management*, a zatim se odabere kartica *UWP settings*, prikazano na slici 5.3.



Slika 5.3. *XR Plug-in Managemen* za aplikaciju GeoMetRy

Ako se prikaže upozorenje, potrebno je kliknuti na ikonu upozorenja i odabrati opciju *Fix All*. Klikom na karticu *Windows, Mac, Linux XR Plug-in Management Settings*, pa

ponovno na ikonu upozorenja, odabere se *Fix All* kako bi se riješili eventualni problemi. Ako se pojavi poruka "At least one interaction profile must be added.", klikne se na *Edit* i dodaju se *Eye Gaze Interaction Profile* i *Microsoft Hand Interaction Profile*.

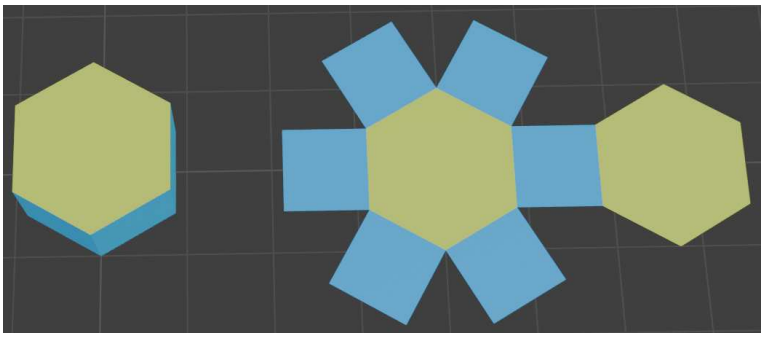
MRTK XR Rig i *MRTK Input Simulator* su ključne komponente Mixed Reality Toolkit-a koje treba postaviti u početnu scenu za MR iskustvo. MRTK XR Rig služi za upravljanje XR okruženjem, omogućujući interakcije putem ruku, pogleda i kontrolera, dok MRTK Input Simulator omogućava simulaciju ulaza i interakcija bez fizičkog MR uređaja. Obje komponente povlače se iz Mixed Reality Feature Tool-a u projekt. Na alatnoj traci, treba pronaći *Mixed Reality*, odabrati *Project Validation Settings* te staviti opciju *HoloLens 2 Application (UWP)*

5.2. Implementacija rješenja

5.2.1. Izrada modela u Blenderu

Implementacija rješenja započinje izradom modela u Blenderu, verzija 4.0. Ovdje su geometrijska tijela i njihove pripadajuće mreže oblikovani s ciljem realizacije aplikacije. Prilikom stvaranja modela, prvo je otvorena nova scena u Blenderu, odabirom opcije *General* nakon pristupa alatnoj traci putem *File* izbornika.

U ovisnosti o željenom obliku tijela, koriste se različiti *Mesh* oblici kao što su *Plane*, *Cube*, *Circle*, *Cylinder*, *UV Sphere* i *Cone*. *Plane* i *Circle*, uz odgovarajuće modifikacije, koriste se za izradu mreže tijela, dok su ostali oblici i njihove modifikacije služe za izradu samih tijela. Ovaj proces stvaranja modela u Blenderu omogućio je detaljnu izradu geometrijskih oblika potrebnih za daljnju implementaciju aplikacije, slika 5.4.



Slika 5.4. Gotov model šesterostrane prizme i njene mreže

5.2.2. Izrada scene u Unity editoru

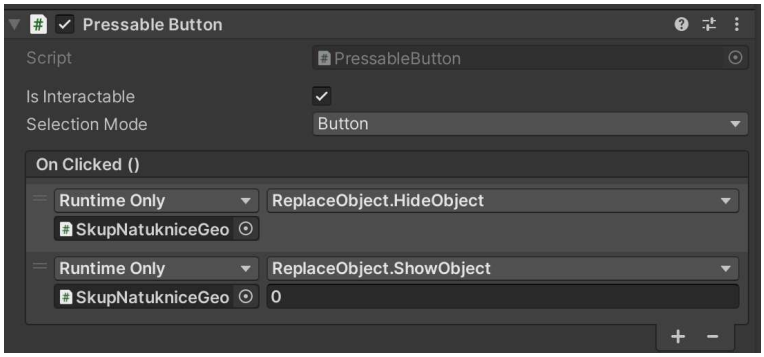
Nakon stvaranja svih geometrijskih tijela u Blenderu, sljedeći korak je njihovo dodavanje u projekt u Unityju. To se postiže stvaranjem novog direktorija pod nazivom *Meshes* unutar *Assets* direktorija i dodavanjem svih tijela u taj direktorij. U prozoru *Hierarchy* u Unity editoru stvara se prazan objekt nazvan *SkupNatukniceGeo*, unutar kojeg se kreiraju sedam praznih objekata koji predstavljaju sedam geometrijskih tijela. Ovom objektu se dodaje skripta *ReplaceObject* koja omogućuje upravljanje prikazom i skrivanjem pojedinih tijela, slika 5.5.

```
using UnityEngine;

public class ReplaceObject : MonoBehaviour
{
    public GameObject[] objects;

    private void Start()
    {
        foreach (GameObject obj in objects)
        {
            obj.SetActive(false);
        }
    }

    public void ShowObject(int index)
    {
        if (index >= 0 && index < objects.Length)
        {
            objects[index].SetActive(true);
            objects[index].transform.position =
                transform.position;
        }
    }

    public void HideObject()
    {
        foreach (GameObject obj in objects)
        {
            obj.SetActive(false);
        }
    }
}
```

Slika 5.5. Skripta *ReplaceObject*

Zatim, u *Hierarchy* se dodaje novi prazan objekt koji se preimenuje u *WelcomeMenu*. Unutar tog objekta nalazi se panel s tekstom dobrodošlice i sedam gumba za prikaz sedam geometrijskih tijela. Nad gumbima su već postavljene odgovarajuće skripte, jer su dio MRTK komponenti koje su uvezene u projekt. U skripti *PressableButton* je dio *OnClicked()* metode postavljen tako da pokreće dvije funkcije koje omogućuju prikazivanje

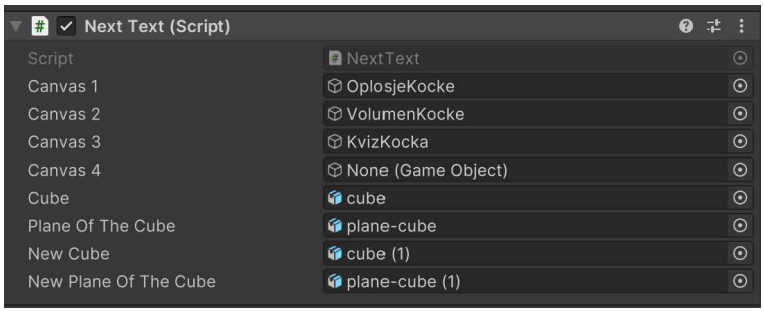
i skrivanje tijela na sceni, slika 5.6. Na taj način, sva tijela na sceni se najprije skrivaju, a zatim se dodaje element s određenim indeksom koji odgovara indeksu objekta geometrijskog tijela unutar objekta *SkupNatukniceGeo*.



Slika 5.6. Postavljanje metoda iz skripte *ReplaceObject*

Unutar objekta *SkupNatukniceGeo* stvoreno je sedam praznih objekata koji su preimenovani u imena koja odgovaraju geometrijskim tijelima, na primjer, prvi objekt nazvan je *ParentCube*.

Za daljnju funkcionalnost koristi se primjer objekta *ParentCube*. Unutar njega nalaze se tri *Canvas* modela za prikaz teksta o oplošju, volumenu i kvizu, kao i model tijela kocke i njene mreže. Na svakom *Canvasu* nalaze se određeni gumbi koji omogućuju prikazivanje teksta i modela kocke i mreže. Svaki *canvas* ima nadodanu skriptu *NextText* koja upravlja prikazom i skrivanjem elemenata ovisno o akcijama korisnika, slika 5.7.



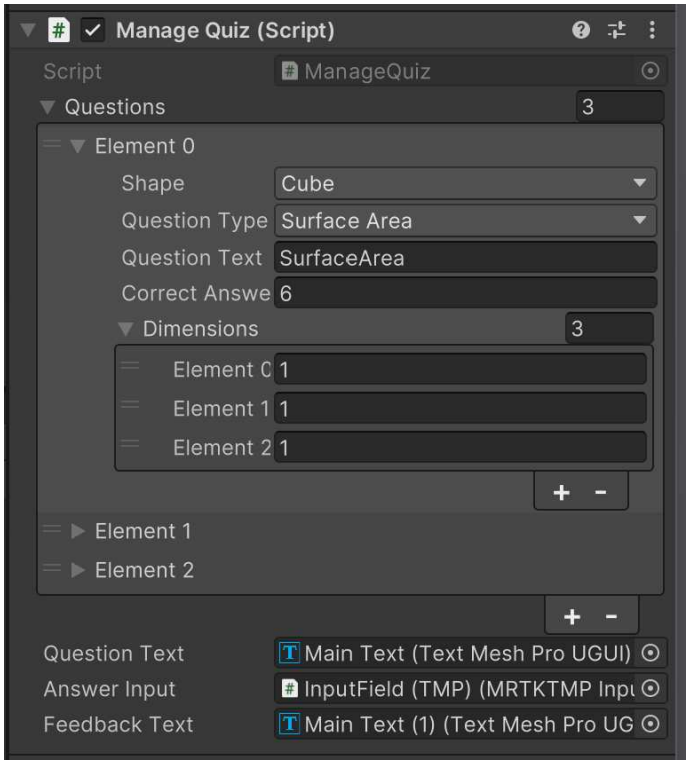
Slika 5.7. Postavljanje metoda iz skripte *NextText*

Prvo se prikazuje tekst o oplošju tijela i mreža tijela. Zatim, klikom na gumb *Volume*, prikazuje se tekst o volumenu kocke te model tijela kocke. Uz to, postoje dva gumba: *Surface Area*, koji omogućuje ponovni prikaz oplošja tijela, te *Quiz*, koji prikazuje tekst o kvizu zajedno s modelima mreže i tijela kocke.

5.3. Implementacija kviza

Za kviz stvorene su dvije skripte: *ManageQuiz* i *Question*. Skripta *Question* definira dvije enumeracije (*GeometricShape* i *QuestionType*) koje predstavljaju različite geometrijske oblike i tipove pitanja. Također, sadrži klasu *Question* koja opisuje strukturu jednog pitanja u kvizu, uključujući oblik, tip pitanja, tekst pitanja, točan odgovor i dimenzije potrebne za izračunavanje.

Unutar objekta *ParentCube* nalazi se još i objekt *QuizManager* na kojeg je postavljena skripta *ManageQuiz*. Ova skripta upravlja kvizom. Učita pitanja i prikazuje ih korisniku jedno po jedno. Korisnik unosi odgovor na svako pitanje, a skripta provjerava točnost unosa. Ako je odgovor točan, prelazi se na sljedeće pitanje; Inače, korisniku se daje povratna informacija da pokuša ponovo. Skripta također pruža povratne informacije o točnim i netočnim odgovorima, osiguravajući interaktivno i obrazovno iskustvo, slika 5.8.



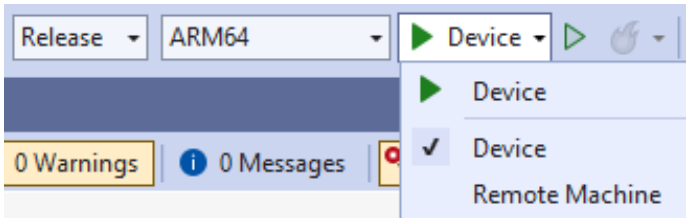
Slika 5.8. Postavljanje metoda iz skripte *ManageQuiz*

5.4. Puštanje u pogon

Za puštanje aplikacije u pogon (engl. *deployment*) potrebno je izvršiti nekoliko jednostavnih koraka. U Unityju se otvori prozor *Build Settings*, gdje se nalaze postavke za puštanje u pogon koje su postavljene tijekom inicijalizacije projekta. Zatim klikom na gumb *Build* čeka se završetak procesa. U direktoriju gdje je aplikacija izgrađena, nalazi se datoteka *My Project.sln* koju treba otvoriti u alatu Visual Studio.

Prije daljnjih koraka u Visual Studio-u, potrebno je osigurati da je HoloLens 2 uređaj spojen na računalo na kojem se aplikacija pušta u pogon. To se može osigurati na dva načina: žično i bežično. Za ovaj projekt korišten je žični način. Prvi korak u postupku spajanja HoloLens 2 uređaja s računalom je osigurati da su oba uređaja povezana USB-C kabelom.

Zatim, u alatnoj traci se postavljaju postavke za uređaj na koji se aplikacija pušta u pogon. Potrebno je odabrati *Release*, *ARM64* i u padajućem izborniku odabrati *Device* te pokrenuti puštanje u pogon klikom na gumb *Device* kao što je prikazano na slici 5.9. Nakon kratkog čekanja, aplikacija će biti na HoloLensu i spremna za korištenje.

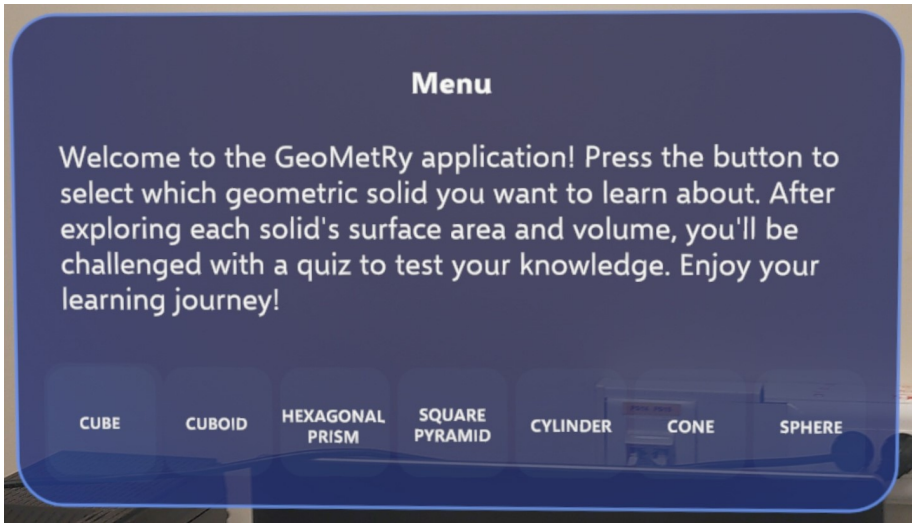


Slika 5.9. Puštanje u pogon aplikacije GeoMetRy

6. Prikaz rada aplikacije

Za korištenje aplikacije GeoMetRy potrebno je prvo pokrenuti aplikaciju. Otvara se početna scena generirana preko Unity editora.

Vidi se izbornik s tekstom: "Dobrodošli u GeoMetRy aplikaciju! Pritiskom na gumb možete izabrati o kojem geometrijskom tijelu želite naučiti. Nakon svakog prijeđenog oplošja i volumena, čeka vas kviz provjere znanja. Uživajte u svom učenju!" Tu se nalazi i sedam gumba kako bi korisnik mogao birati između sedam geometrijskih tijela, kao što se vidi na slici 6.1.

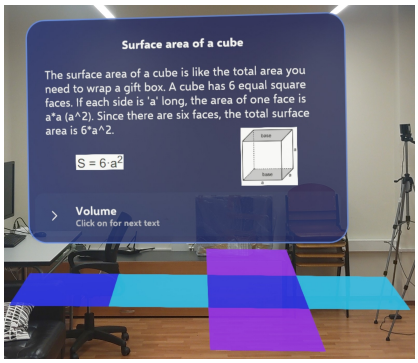


Slika 6.1. Uvod za aplikaciju GeoMetRy

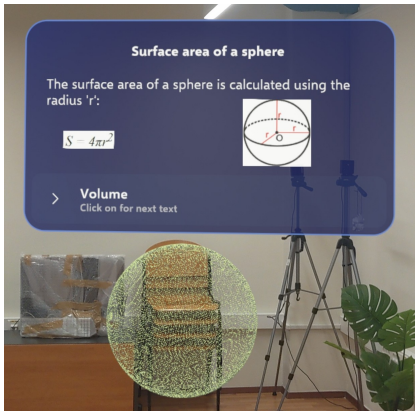
6.1. Prikaz oplošja geometrijskih tijela

Nakon što se na izborniku pritisne gumb birajući geometrijsko tijelo, prikazat će se tekst o računanju oplošja tog geometrijskog tijela zajedno s gumbom *Volume* za prikaz idućeg dijela *Volume*. Ispod toga nalazi se mreža, kao što je prikazano na slici 6.2. za mrežu kocke. Korisnik može interaktivno koristiti model mreže tako što ju pomiče u prostoru

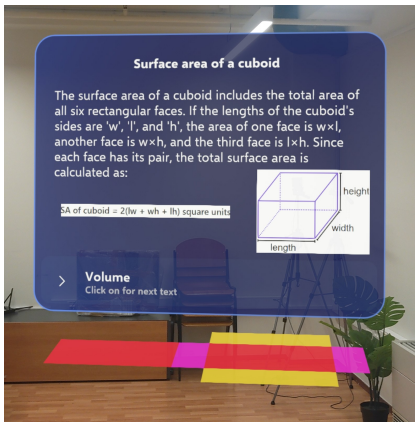
te ju povećava i smanjiva.



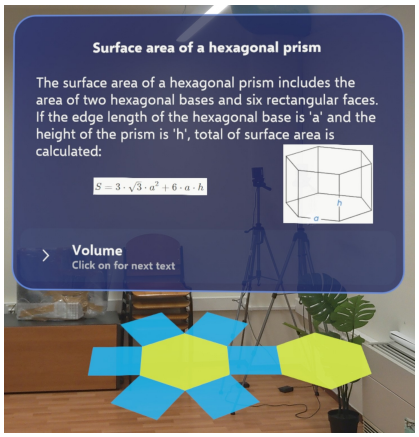
Prikaz mreže kocke i računanje oplošja



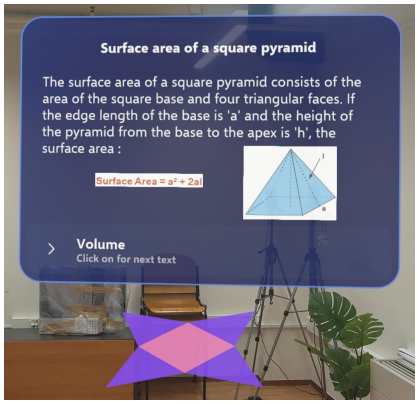
Prikaz mreže sfere i računanje oplošja



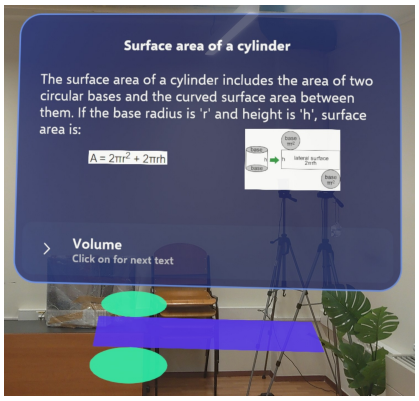
Prikaz mreže kvadra i računanje oplošja



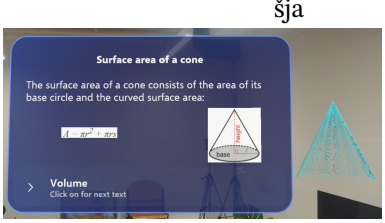
Prikaz mreže šesterostrana prizma i računanje oplošja



Prikaz mreže četverostrane piramide i računanje oplošja



Prikaz mreže valjka i računanje oplošja

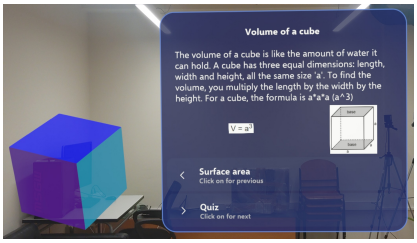


Prikaz mreže stošca i računanje oplošja

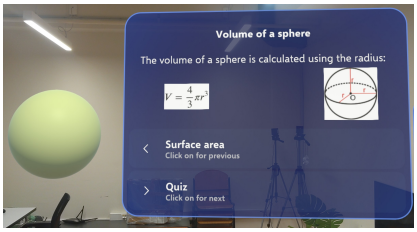
Slika 6.2. Prikaz mreže geometrijskih tijela i računanje oplošja

6.2. Prikaz volumena geometrijskih tijela

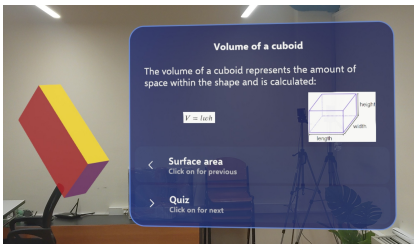
Kada se pritisne gumb *Volume*, prikazat će se tekst o računanju volumena tog geometrijskog tijela zajedno s dva gumba: prvi gumb *Surface Area* vraća na prikaz oplošja, dok drugi gumb *Quiz* vodi na sljedeći dio. Ispod toga svega nalazi se prikaz tijela, kao što je prikazano na slici 6.3. za kocku. Korisnik može interaktivno koristiti model tijela tako što ga pomiče u prostoru te ga povećava i smanjuje.



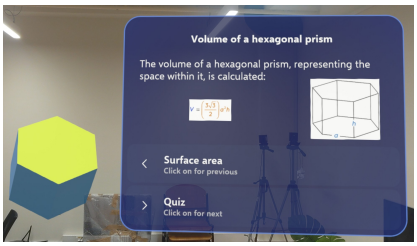
Prikaz tijela kocke i računanje volumena



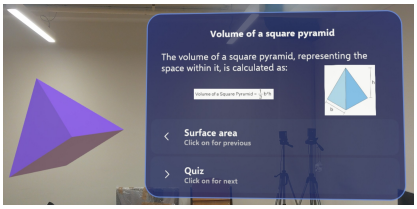
Prikaz tijela sfere i računanje volumena



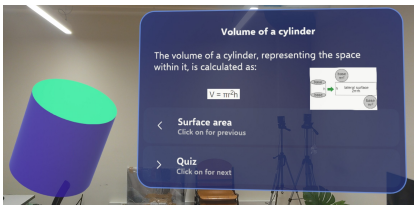
Prikaz tijela kvadra i računanje volumena



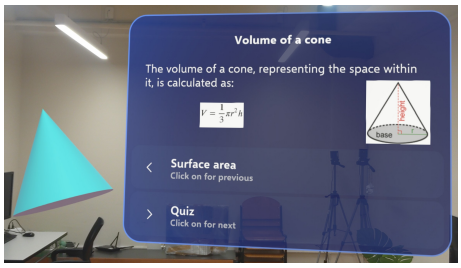
Prikaz tijela šesterostrane prizme i računanje volumena



Prikaz tijela četverostrane piramide i računanje volumena



Prikaz tijela valjka i računanje volumena

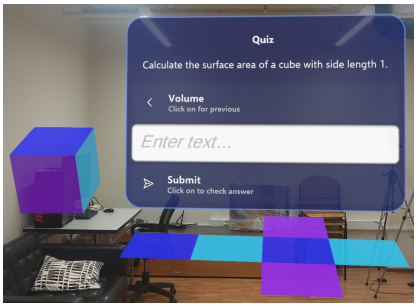


Prikaz tijela stošca i računanje volumena

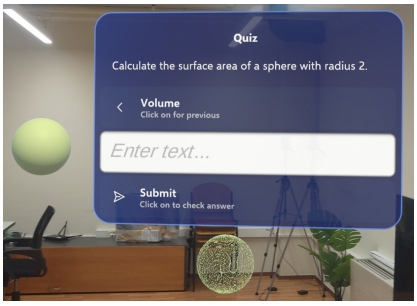
Slika 6.3. Prikaz geometrijskih tijela i računanje volumena

6.3. Prikaz kviza za provjeru znanja

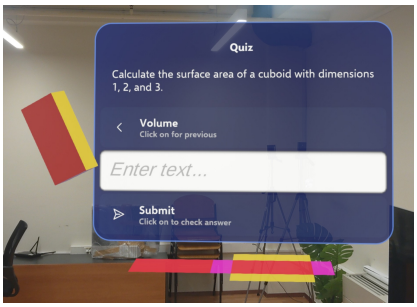
Kada se pritisne gumb *Quiz*, prikazat će se prvo pitanje iz kviza za to tijelo. Uz tekst pitanja, nalazi se gumb *Volume* s kojim se vraća na prikaz volumena, zatim postoji polje za unos odgovora, te ispod toga nalazi se gumb *Submit* s kojim se provjerava točnost unešenog odgovora. Osim tog panela kviza, nalazi se još model tijela kao i njegova mreža.



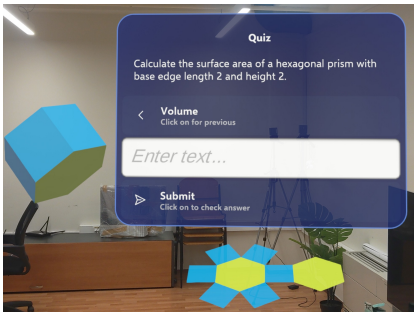
Prikaz prvog pitanja kviza za kocku



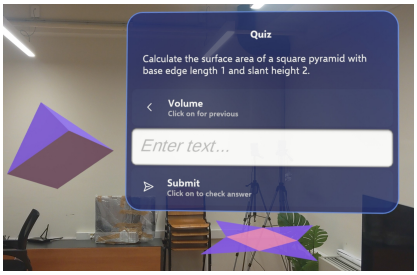
Prikaz prvog pitanja kviza za sferu



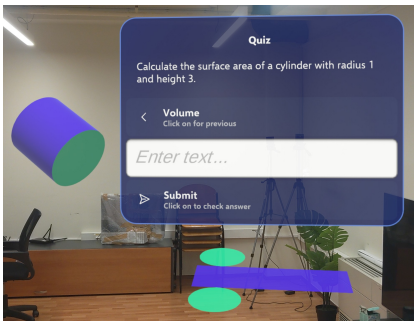
Prikaz prvog pitanja kviza za kvadar



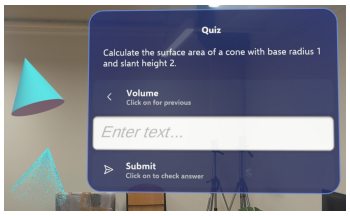
Prikaz prvog pitanja kviza za šesterostranu prizmu



Prikaz prvog pitanja kviza za četverostranu piramidu



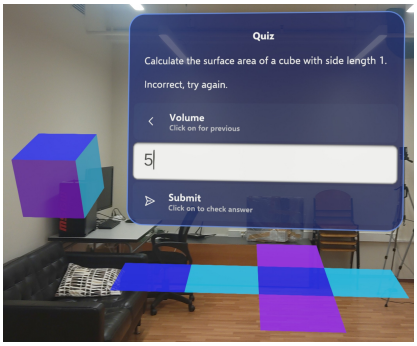
Prikaz prvog pitanja kviza za cilindar



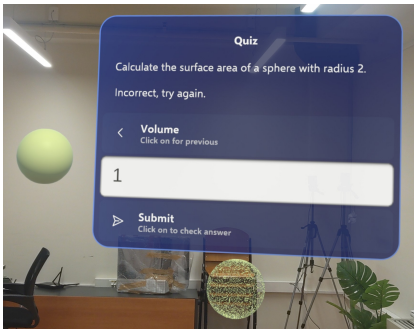
Prikaz prvog pitanja kviza za stožac

Slika 6.4. Prikaz prvog pitanja kviza

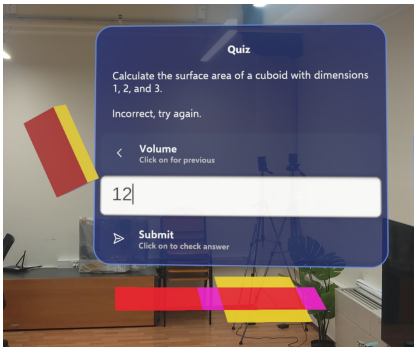
Nakon što korisnik izračuna oplošje za dano geometrijsko tijelo i upiše ga u polje za unos odgovora, pritišće gumb *Submit*. Ako je odgovor netočan, korisniku se daje informacija da je odgovor netočan i omogućuje se ponovan unos, slika 6.5.



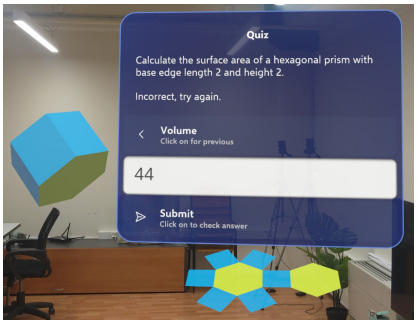
Prikaz netočno odgovorenog pitanja za kocku



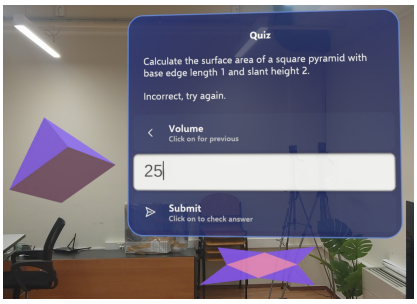
Prikaz netočno odgovorenog pitanja za sferu



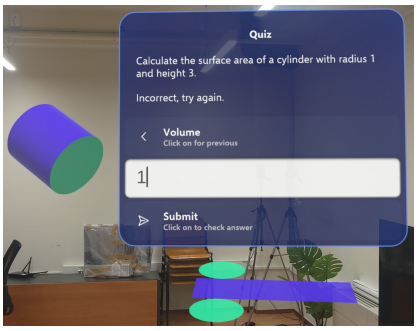
Prikaz netočno odgovorenog pitanja za kvadar



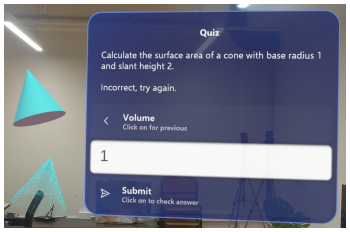
Prikaz netočno odgovorenog pitanja za šesterostranu prizmu



Prikaz netočno odgovorenog pitanja za četverostranu prizmu



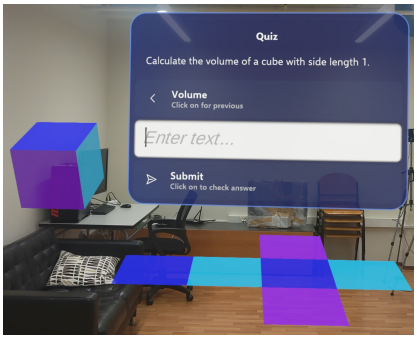
Prikaz netočno odgovorenog pitanja za valjak



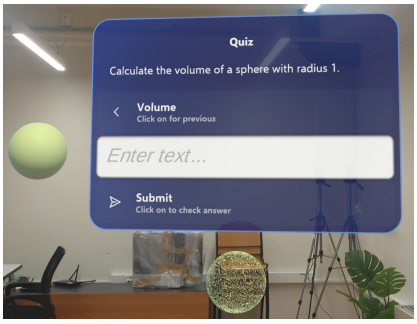
Prikaz netočno odgovorenog pitanja za stožac

Slika 6.5. Prikaz netočno odgovorenog pitanja

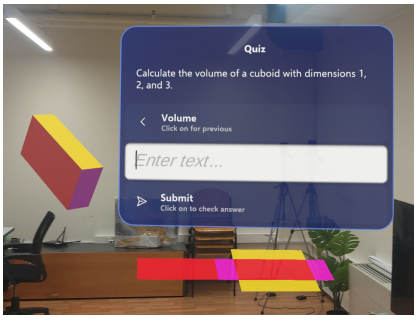
Nakon što se točno odgovori na pitanje, prelazi se na drugo pitanje, slika 6.6. Ako je korisnik točno odgovorio i na drugo pitanje, prelazi na treće pitanje, koje je ujedno i posljednje pitanje, slika 6.7.



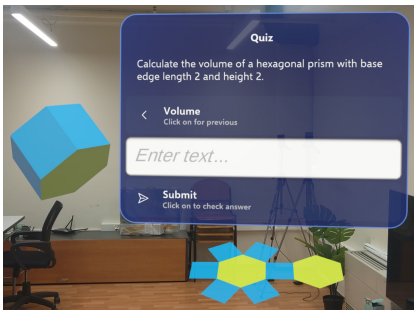
Prikaz drugog pitanja kviza za kocku



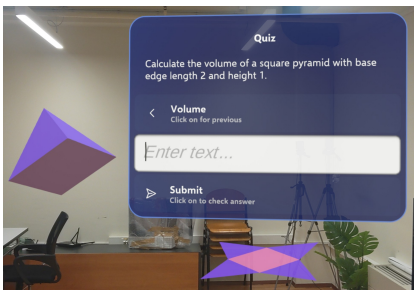
Prikaz drugog pitanja kviza za sferu



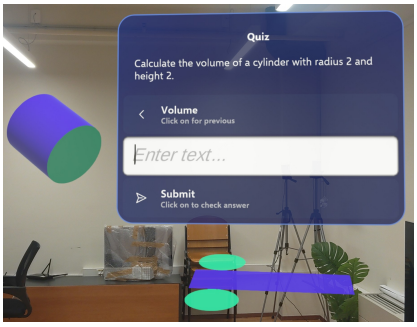
Prikaz drugog pitanja kviza za kvadar



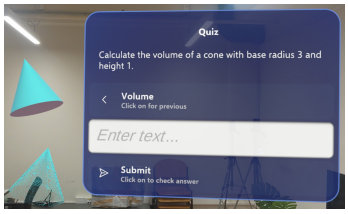
Prikaz drugog pitanja kviza za šesterostranu prizmu



Prikaz drugog pitanja kviza za četverostranu piramidu

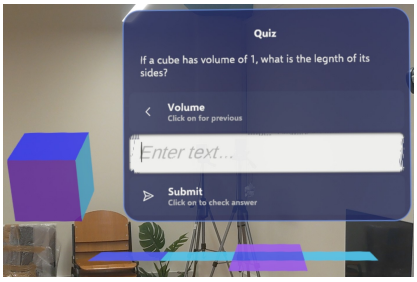


Prikaz drugog pitanja kviza za valjak

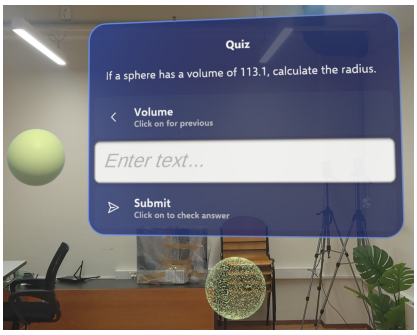


Prikaz drugog pitanja kviza za stožac

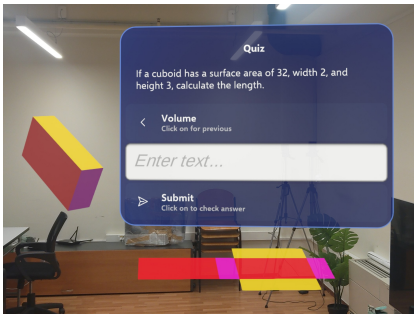
Slika 6.6. Prikaz drugog pitanja kviza



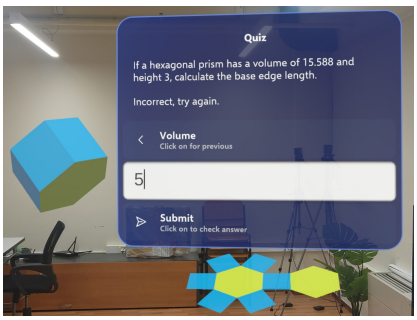
Prikaz trećeg pitanja kviza za kocku



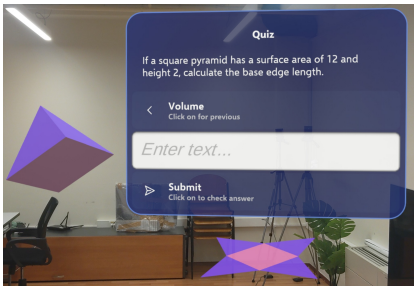
Prikaz trećeg pitanja kviza za sferu



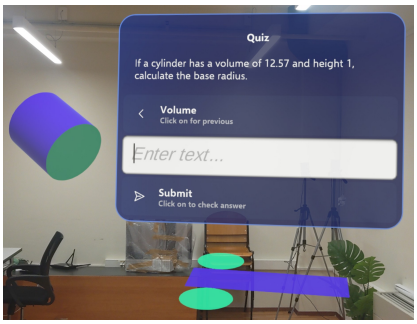
Prikaz trećeg pitanja kviza za kvadar



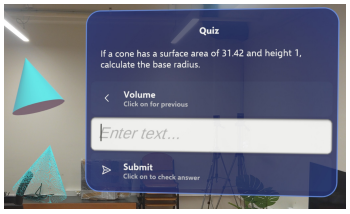
Prikaz trećeg pitanja kviza za šesterostranu prizmu



Prikaz trećeg pitanja kviza za četverostranu piramidu



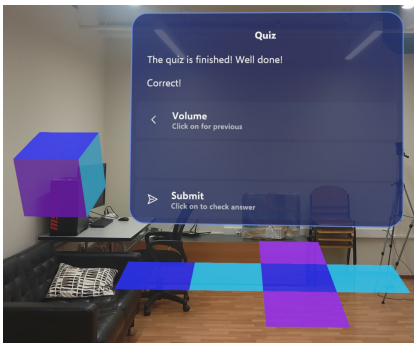
Prikaz trećeg pitanja kviza za valjak



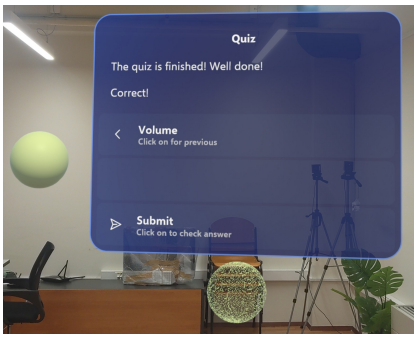
Prikaz trećeg pitanja kviza za stožac

Slika 6.7. Prikaz trećeg pitanja kviza

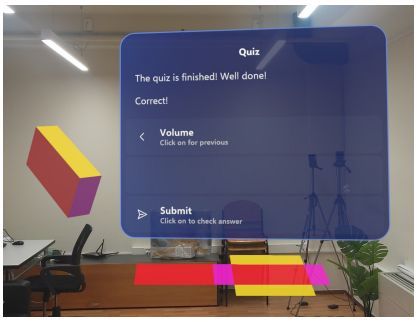
Nakon što korisnik točno odgovori na sva tri pitanja, završava se kviz, slika 6.8. Korisnik može prijeći na dalje učenje o drugim geometrijskim tijelima.



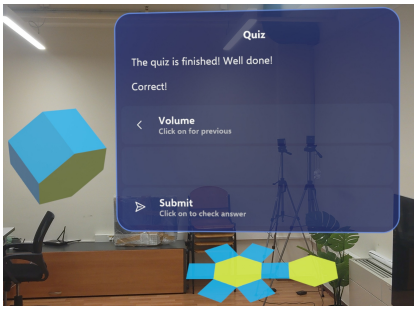
Prikaz završenog kviza za kocku



Prikaz završenog kviza za sferu

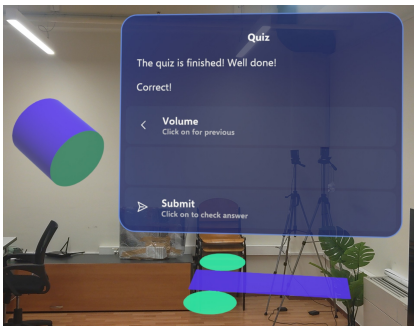


Prikaz završenog kviza kviza za kvadar

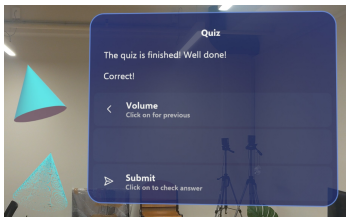


Prikaz završenog kviza za šesterostranu prizmu

Prikaz završenog kviza za četverostranu piramidu



Prikaz završenog kviza za valjak



Prikaz završenog kviza za stožac

Slika 6.8. Prikaz završenog kviza

6.4. Moguća proširenja aplikacije

Jedno od mogućih proširenja aplikacije GeoMetRy uključuje dodavanje novih geometrijskih tijela. Proširivanjem aplikacije s dodatnim tijelima, korisnici će imati priliku učiti o širem spektru oblika, čime se obogaćuje njihovo znanje o geometriji.

Interaktivne animacije predstavljaju još jedno korisno proširenje. Animacije koje prikazuju kako se oplošja i volumeni mijenjaju s promjenom dimenzija tijela mogu pomoći korisnicima da bolje razumiju te koncepte. Ove animacije će omogućiti vizualno i intuitivno učenje koje je lakše pratiti i shvatiti.

Dodavanje personaliziranih profila omogućit će praćenje napretka svakog korisnika. Korisnici će moći stvarati vlastite profile, pratiti svoje napredovanje, vraćati se na nedovršene lekcije i pregledavati postignuća. Ova funkcionalnost će poboljšati korisničko iskustvo i motivirati ih za kontinuirano učenje.

Uvođenje funkcionalnosti koja omogućuje nasumično učitavanje pitanja iz ulazne datoteke svaki put kad se aplikacija pokrene moglo bi obogatiti korisničko iskustvo. Na taj način korisnici bi dobivali različita pitanja ili ih vidjeli u različitim redoslijedima, što bi potencijalno povećalo angažman korisnika i dinamiku aplikacije.

Višejezična podrška je također važan aspekt proširenja. Uvođenjem podrške za više jezika, aplikacija će biti pristupačna korisnicima širom svijeta, čime se povećava njezina upotrebljivost i doprinosi globalnom obrazovanju.

Suradnički mod omogućuje korisnicima da koriste svoje AR naočale kako bi zajedno rješavali kvizove i izazove. Ovaj tehnološki napredak omogućuje korisnicima da u isto vrijeme vide iste virtualne objekte ili informacije u stvarnom svijetu kroz svoje AR uređaje. Na primjer, dva korisnika može istovremeno vidjeti isti virtualni kviz ili zadatke, te surađivati istražujući virtualne objekte, dijeleći informacije ili rješavajući probleme u stvarnom vremenu. Ova vrsta interakcije potiče suradnju i timski rad, stvarajući interaktivno i društveno okruženje za učenje koje iskorištava potencijal AR tehnologije za poboljšanje zajedničkog iskustva u rješavanju problema i usvajanju novih vještina.

Eksport podataka je korisna funkcionalnost koja će omogućiti korisnicima da izvoze podatke o svom učenju i napretku u različitim formatima. Ova opcija će biti posebno korisna za nastavnike i edukatore koji žele pratiti i analizirati napredak svojih učenika.

Igrifikacija je još jedno zanimljivo proširenje. Uvođenjem elemenata gamifikacije, poput bodova, znački i nagrada, korisnici će biti dodatno motivirani za učenje i napredovanje kroz aplikaciju. Ova strategija će učiniti proces učenja zabavnijim i angažiranijim.

Zaključak

Miješana stvarnost (MR) kombinira stvarne i virtualne objekte kako bi dodala virtualne objekte u stvarni svijet. Iako je tehnologija miješane stvarnosti još uvijek u ranoj fazi razvoja njene karakteristike pružaju veliki potencijal. Prvu uporabu miješane stvarnosti (MR) imamo u svim granama života poput zdravstva, građevine, obrazovanja, marketinga, zabave itd. Aplikacijom GeoMetRy je učenje matematike stavljeno u svijet koji je učenicima zanimljiv. Učenicima je omogućeno vizualno učenje oplošja i volumena geometrijskih tijela. Za provjeru znanja ponuđen je kviz koji nudi prelazak na novo pitanje nakon točnog odgovora. Također, ponuđene su aktivnosti kako bi se aplikacija proširila. Jednostavnost pri korištenju MR tehnologije u obrazovanju potiče kod učenika znatiželju, kreativnost, logičko zaključivanje što je pretpostavka za život i rad u današnjem vremenu i podloga za dodatna ulaganja u inovacije i razvoj.

Literatura

[1] "Math Virtual Reality - Math Augmented Reality", https://www.ace-learning.com/app/math-vr, [Pristupljeno 11-06-2024].

[2] T. Brzezinski, "Getting Started with GeoGebra Augmented Reality", https://www.geogebra.org/m/mvjzzgdw, 2024., [Pristupljeno 10-06-2024].

[3] *AR Books LibrARy - Geometry (augmented reality book).* AR Books LibrARy, jan 2022., spiral-bound.

[4] D. Weinstein, "What Is Extended Reality?" https://blogs.nvidia.com/blog/what-is-extended-reality/, NVIDIA, [Pristupljeno 29-05-2024].

[5] "What Is the Virtuality Continuum?" https://www.interaction-design.org/literature/topics/virtuality-continuum, Interaction Design Foundation, [Pristupljeno 29-05-2024].

[6] "Mixed reality", https://learn.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/discover/mixed-reality, Microsoft, [Pristupljeno: 29-05-2024].

[7] Y. Baba, "The History of Mixed Reality", https://capsulesight.com/vrglasses/the-history-of-mixed-reality/, Capsule Sight, 2023., [Pristupljeno: 01-06-2024].

[8] D. Morelo, "Meet the Sword of Damocles, the First VR Headset in the World", https://vrsource.com/meet-the-sword-of-damocles-the-first-vr-headset-in-the-world-17233/, VRsource, 2022., [Pristupljeno 01-06-2024].

[9] A. Kwok, "The History of Mixed Reality", https://cranemorley.com/the-history-of-mixed-reality/, CraneMorley, 2023., [Pristupljeno 02-06-2024].

[10] P. Milgram i F. Kishino, “A taxonomy of mixed reality visual displays”, *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, sv. 77, br. 12, str. 1321–1329, 1994.

[11] “What Is Mixed Reality?” https://www.coursera.org/articles/what-is-mixed-reality, 2024., [Pristupljeno 08-06-2024].

[12] S. Mattoo, “What Is Mixed Reality? The Better Side of Technology”, https://learn.g2.com/mixed-reality, G2, [Pristupljeno 03-06-2024].

[13] I. S. Pandžić, T. Pejša, K. Matković, H. Benko, A. Čereković, i M. Matijašević, *Virtualna okruženja: Interaktivna 3D grafika i njene primjene*. Zagreb: Elementa, 2011.

[14] M. Doughty, N. R. Ghugre, i G. A. Wright, “Augmenting performance: A systematic review of optical see-through head-mounted displays in surgery”, *Journal of Imaging*, sv. 8, br. 7, str. 203, 2022.

[15] D. Wagner i D. Schmalstieg, “Artoolkitplus for pose tracking on mobile devices”, u *Proceedings of the 12th Computer Vision Winter Workshop*, St. Lambrecht, Austria, February 2007.

[16] A. Kozlov, “How Mixed Reality Is Transforming Marketing”, https://www.wearethereach.com/insights/how-mixed-reality-is-transforming-marketing, 2024., [Pristupljeno 08-06-2024].

[17] C. Nast, “This is what shopping looks like on Apple’s new mixed-reality headset”, https://www.voguebusiness.com/story/technology/this-is-what-shopping-looks-like-on-apples-new-mixed-reality-headset, 2024., [Pristupljeno 09-06-2024].

[18] “Mixed Reality Gaming: Blending Realities for Immersive Gameplay”, https://eventyr.pro/blog/mixed-reality-gaming-blending-realities-for-immersive-gameplay/, 2023., [Pristupljeno 10-06-2024].

[19] “6 Best Mixed Reality Apps For Microsoft HoloLens”, https://www.virtualrealityexps.com/6-best-mixed-reality-apps-for-microsoft-hololens/, Virtual Reality Experiences, 2018., [Pristupljeno 03-06-2024].

[20] N. Strochlic, “Scientists Are Turning Your Body Into Holograms — nationalgeographic.com”, https://www.nationalgeographic.com/magazine/article/explore-teaching-anaotmy-with-hololens, 2017., [Pristupljeno 13-06-2024].

[21] E. Balistreri, “How does Mixed Reality help in Education?” https://www.mixyourreality.com/insights/extended-reality-is-the-future-of-education, 2023., [Pristupljeno 10-06-2024].

[22] “Mixed Reality Brings Many Benefits to the Construction Industry -”, https://buildingpoint.ca/mixed-reality-benefits-construction/, BuildingPoint Canada, [Pristupljeno 04-06-2024].

[23] D. Kunić, “Kako virtualna stvarnost transformira obuku medicinskih sestara”, https://virtualnastvarnost.net/kako-virtualna-stvarnost-transformira-obuku-medicinskih-sestara/, 2023., [Pristupljeno 10-06-2024].

[24] S. P. Suryodiningrat, A. Ramadhan, H. Prabowo, H. B. Santoso, i T. Hirashima, “Mixed reality systems in education: a systematic literature review”, *Journal of Computers in Education*, str. 1–24, 2023.

[25] M. Burns, “Shapes 3D Augmented Reality Geometry Drawing App”, https://classtechtips.com/2018/10/30/augmented-reality-geometry/, Class Tech Tips, 2018., [Pristupljeno 04-06-2024].

[26] A. Estapa i L. Nadolny, “The effect of an augmented reality enhanced mathematics lesson on student achievement and motivation”, *Journal of STEM education*, sv. 16, br. 3, 2015.

[27] Microsoft Corporation, “Hololens 2 hardware”, https://www.microsoft.com/hr-hr/hololens/hardware}iskustva-s-dokumentima, 2019.

[28] J. Laukkonen, “How Does HoloLens 2 Compare to the Original?” https://www.lifewire.com/microsoft-hololens-2-explained-4691204, 2020., [Pristupljeno 10-06-2024].

[29] Corporation Microsoft, “Hololens 2 capabilities”, https://learn.microsoft.com/hr-hr/hololens/hololens-commercial-features}hololens-2-capabilities, [Pristupljeno:

31-5-2024].

[30] Unity Technologies, “Unity”, https://unity.com/, [Pristupljeno: 31-5-2024].

[31] U. Technologies, “Unity asset store”, https://assetstore.unity.com/, [Pristupljeno: 31-5-2024].

[32] Microsoft, “Mixed reality toolkit 3 overview”, https://learn.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/mrtk-unity/mrtk3-overview/, [Pristupljeno: 31-5-2024].

[33] Blender Foundation, “Blender”, https://www.blender.org/, [Pristupljeno: 31-5-2024].

[34] B. Foundation, “About blender”, https://www.blender.org/about/, [Pristupljeno: 31-5-2024].

[35] Microsoft, “Microsoft visual studio”, https://visualstudio.microsoft.com/vs/, [Pristupljeno: 31-5-2024].

[36] Microsoft Corporation, “Download Mixed Reality Feature Tool”, https://www.microsoft.com/en-my/download/details.aspx?id=102778, [Pristupljeno 22-05-2024].

Sažetak

RAZVOJ OBRAZOVNE APLIKACIJE ZA UČENJE GEOMETRIJSKIH TIJELA UPORABOM TEHNOLOGIJE MIJEŠANE STVARNOSTI

U sklopu ovog rada opisana je tehnologija miješane stvarnosti. Navedena je njena definicija i način na koji funkcionira te povijest razvoja. Kako bi učenicima bilo olakšano učenje geometrije prostora (stereometrije) stvorena je obrazovna aplikacija GeoMetRy koja demonstrira primjenu ove tehnologije u obrazovne svrhe. GeoMetRy aplikacija stvorena je pomoću razvojnog okruženja Unity i višeplatformske tehnologije MRTK. Korisniku s HoloLens 2 naočalama prikazana je scena koja se sastoji od teksta s gumbima za prikaz geometrijskih tijela, te kviza za utvrđivanje stečenog znanja. Korisnici su u mogućnosti dohvatiti, približiti, uvećavati i smanjivati modele geometrijskih tijela i njihove mreže. Cilj je naučiti formule kroz vizualne modele i riješiti kviz provjere znanja. Aplikacija potiče interakciju studenata i povećava motivaciju i interes.

Ključne riječi: miješana stvarnost, Unity, geometrija prostora, geometrijska tijela, HoloLens 2

Abstract

DEVELOPMENT OF AN EDUCATIONAL APPLICATION FOR LEARNING GEOMETRIC SHAPES USING MIXED REALITY TECHNOLOGY

As part of this work, the technology of mixed reality is described. Its definition, how it functions, and its development history are outlined. To facilitate students' learning of solid geometry (stereometry), an educational application called GeoMetRy was created, demonstrating the application of this technology for educational purposes. The GeoMetRy application was developed using the Unity development environment and the multi-platform MRTK technology. For a user wearing HoloLens 2 glasses, the scene displayed consists of text with buttons to show geometric shapes and a quiz to test acquired knowledge. Users can manipulate, zoom in, enlarge, and reduce models of geometric shapes and their nets. The aim is to learn formulas through visual models and solve the quiz for knowledge verification. The application encourages student interaction and increases motivation and interest.

Keywords: mixed reality, Unity, solid geometry, geometric shapes, HoloLens 2