

# Primjena proširene stvarnosti u kontekstu interaktivnog e-učenja

---

**Subašić, Azra**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:692615>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-26**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
**TEHNIČKI FAKULTET**  
Diplomski studij računarstva

Diplomski rad

**Primjena proširene stvarnosti u kontekstu  
interaktivnog e-učenja**

Rijeka, studeni 2021.

Azra Subašić  
0069078274

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
**TEHNIČKI FAKULTET**  
Diplomski studij računarstva

Diplomski rad

**Primjena proširene stvarnosti u kontekstu  
interaktivnog e-učenja**

Mentor: doc.dr.sc. Sandi Ljubić

Rijeka, studeni 2021.

Azra Subašić  
0069078274

Umjesto ove stranice umetnuti zadatak  
za završni ili diplomski rad

## Izjava o samostalnoj izradi rada

U skladu s prvom stavkom članka 13. Pravilnika o diplomskom radu, diplomskom ispitu i završetku diplomskih sveučilišnih studija Tehničkog fakulteta u Rijeci, izjavljujem da sam samostalno izradila diplomski rad prema opisu zadatka za 2021. godinu.

Rijeka, studeni 2021.

-----  
Ime Prezime

# Zahvala

Zahvaljujem se mentoru, doc. dr. sc. Sandi Ljubiću na vremenu, zalaganju i savjetima prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Posebice se zahvaljujem svojoj obitelji i svim svojim prijateljima na bezuvjetnoj podršci, strpljenju i razumijevanju tijekom studiranja.

# Sadržaj

<b>Popis slika</b>	<b>ix</b>
<b>Popis tablica</b>	<b>xi</b>
<b>1 Uvod</b>	<b>1</b>
<b>2 Poširena stvarnost</b>	<b>3</b>
2.1 Što je proširena stvarnost? . . . . .	3
2.2 Povijest proširene stvarnosti . . . . .	4
2.3 Sklopovlje za sustave proširene stvarnosti . . . . .	9
2.3.1 Pametni telefoni i tableti . . . . .	9
2.3.2 Headsetovi za proširenu stvarnost . . . . .	10
2.3.3 Naočale za proširenu stvarnost . . . . .	12
2.4 Programska potpora za sustave proširene stvarnosti . . . . .	14
2.4.1 Platforme za proširenu stvarnost . . . . .	14
2.5 Primjena proširene stvarnosti . . . . .	17
2.5.1 Zabava . . . . .	17
2.5.2 Medicina . . . . .	18
2.5.3 Marketing . . . . .	18
2.5.4 Edukacija . . . . .	19

<b>3</b>	<b>Proširena stvarnost u edukaciji</b>	<b>20</b>
3.1	Proširena stvarnost u knjigama . . . . .	21
3.2	Edukativne AR igre i aplikacije . . . . .	22
3.3	Učenje na temelju otkrivanja . . . . .	24
3.4	Modeliranje objekata . . . . .	25
3.5	Stjecanje vještina . . . . .	26
<b>4</b>	<b>Implementacija aplikacije EduAR</b>	<b>27</b>
4.1	Cilj i opis aplikacije . . . . .	27
4.2	Korištene tehnologije . . . . .	27
4.2.1	Unity . . . . .	28
4.2.2	AR Foundation . . . . .	28
4.2.3	XR Dodaci . . . . .	29
4.3	Osnovne komponente aplikacije . . . . .	29
4.3.1	AR Session Origin . . . . .	29
4.3.2	AR Session . . . . .	29
4.3.3	AR Plane Manager . . . . .	30
4.3.4	AR Raycast Manager . . . . .	30
4.4	Prikazivanje i manipuliranje virtualnim elementima . . . . .	31
4.4.1	Prepoznavanje slike i prikaz virtualnih elemenata . . . . .	31
4.4.2	Oblici virtualnih elemenata . . . . .	33
4.4.3	Interakcija s virtualnim elementima . . . . .	34
4.5	Implementiranje interaktivnih edukacijskih aktivnosti . . . . .	35
4.5.1	Postavljanje modela na površinu . . . . .	35
4.5.2	Edukacijske aktivnosti . . . . .	37



## Sadržaj

<b>5</b>	<b>Istraživanje prihvatljivosti AR tehnologije u edukacijskom kontekstu</b>	<b>43</b>
5.1	Cilj istraživanja . . . . .	43
5.2	Model prihvaćanja tehnologije . . . . .	43
5.3	Primjena TAM-a . . . . .	46
5.3.1	Anketa . . . . .	46
5.3.2	Hipoteze . . . . .	47
5.4	Rezultati i analiza . . . . .	49
5.4.1	Potvrдна faktorska analiza (CFA) . . . . .	49
5.4.2	Modeliranje strukturalnih jednađbi i testiranje hipoteza . . . . .	51
<b>6</b>	<b>Zaključak</b>	<b>54</b>
	<b>Bibliografija</b>	<b>56</b>
	<b>Pojmovnik</b>	<b>60</b>
	<b>Sažetak</b>	<b>60</b>
<b>A</b>	<b>Anketa - Korištenje proširene stvarnosti u edukaciji</b>	<b>62</b>

# Popis slika

2.1	Razlika između proširene, virtualne i mješovite stvarnosti . . . . .	4
2.2	Tom Cruise u filmu <i>Minority Report</i> - primjer korištenja proširene stvarnosti i kontrole pokretom . . . . .	5
2.3	Sensorama uređaj za simulaciju . . . . .	6
2.4	Damoklov mač . . . . .	7
2.5	Louis Rosenberg testira <i>Virtual Fixtures</i> , jedan od prvih sustava proširene stvarnosti ikada razvijenih (1992.) . . . . .	7
2.6	Hibridni sustav sintetičkog vida . . . . .	8
2.7	Microsoft HoloLens 2 . . . . .	11
2.8	Radna površina prikazana koristeći Meta 2 headset . . . . .	11
2.9	Kirurzi u dječjoj bolnici UC Davis koriste Magic Leap kako bi pomogli u planiranju razdvajanja rijetkih beba blizanaca kraniopagusa - blizanaca spojenih na glavi . . . . .	12
2.10	Primjer korištenja Epson Moverio BT-300 pametnih naočala s dronom	13
2.11	Primjer korištenja proširene stvarnosti u Tvrđavi Barone u Šibeniku	18
3.1	AR knjiga za učenje geologije . . . . .	22
3.2	Elements 4D aplikacija . . . . .	23
3.3	Merge EDU aplikacija . . . . .	24
3.4	Wikitude aplikacija . . . . .	25
3.5	Modeliranje u AR-u . . . . .	26

## *Popis slika*

4.1	Primjer detektiranja površine koristeći ARCore . . . . .	31
4.2	Primjer ciljne slike u Vuforia . . . . .	32
4.3	Metoda za postavljanje objekta u scenu dodirrom zaslona . . . . .	36
4.4	Metoda za nasumičan raspored puzzli . . . . .	38
4.5	Metoda za akciju ‘povuci i spusti’ . . . . .	39
4.6	Virtualna slagalica . . . . .	39
4.7	Osi zakretanja mobilnog uređaja . . . . .	40
4.8	Funkcija za kotrljanje loptice korištenjem očitavanja akcelerometra . . . . .	41
4.9	Kviz ‘Kotrljanje loptice’ . . . . .	41
4.10	Povezivanje pojmova s animacije . . . . .	42
5.1	Konceptualni model prihvaćanja tehnologije . . . . .	44
5.2	Model prihvaćanja tehnologije . . . . .	45
5.3	Konceptualni model istraživanja i hipoteze . . . . .	49

# Popis tablica

5.1	Čestica "Očekivana korisnost" . . . . .	47
5.2	Čestica "Očekivana jednostavnost uporabe" . . . . .	47
5.3	Čestica "Stav prema korištenju" . . . . .	47
5.4	Čestica "Namjera korištenja" . . . . .	48
5.5	Rezultati CFA - faktorska opterećenja . . . . .	50
5.6	Cronbach alpha koeficijent pouzdanosti . . . . .	50
5.7	Prosječna ekstrahirana varijanca . . . . .	51
5.8	Procijenjeni koeficijenti korelacije i njihova signifikantnost u modelu istraživanja . . . . .	52
5.9	Potvrđene i nepotvrđene hipoteze istraživanja . . . . .	53

# Poglavlje 1

## Uvod

Proširena stvarnost (engl. *Augmented reality* - AR) je oblik iskustva u kojem se stvarni svijet obogaćuje računalno generiranim sadržajem. Proširena stvarnost omogućuje da se digitalni sadržaji isprepliću i miješaju s našom percepcijom stvarnog svijeta, tj. omogućuje da se stvarni svijet s dodanim virtualnim elementima doživi kao jedinstveno okruženje. AR sadržaj može biti dvodimenzionalan (2D) poput teksta, fotografija, video materijala ili trodimenzionalan (3D) poput animacija, objekata i sl.

Razvoj AR programske potpore i alata za stvaranje AR aplikacija te sveprisutnost pametnih mobilnih telefona u svijetu učinila je proširenu stvarnost dostupnom gotovo svima. Proširena stvarnost ima primjenu u raznim područjima, pa tako i u obrazovanju. Putem AR-a učenici mogu dobiti neposredan pristup širokom rasponu informacija prikupljenih i dostavljenih iz različitih izvora. Značajke AR-a mogu dovesti do raznih pozitivnih učinaka na učenje; interaktivne edukacijske aktivnosti te nastavni materijali obogaćeni animiranim 3D modelima, video i audio objašnjenjima, poveznicama, bilješkama i sl. u AR-u imaju potencijal poboljšati iskustvo učenja. Kako oprema postaje pristupačnija i škole imaju veći pristup tehnologiji, raste i interes za korištenje virtualne i proširene stvarnosti kao obrazovnih alata.

U ovom radu predstavljen je pregled proširene stvarnosti, od najosnovnije definicije i klasifikacije, preko povijesti razvoja i primjene tehnologije sve do pregleda sastavnih hardverskih i softverskih dijelova koji zajedno čine ovu tehnologiju mogu-

## Poglavlje 1. Uvod

ćom. Poseban naglasak stavljen je na primjenu proširene stvarnosti kao novog medija u edukaciji te mogućnosti i prednosti koje ista donosi. Objašnjene su osnovne tehnologije i komponente koje se koriste u implementaciji sustava i višeplatformskih aplikacija proširene stvarnosti.

U praktičnom dijelu rada predstavljen je ogledni sustav za interaktivno e-učenje koristeći proširenu stvarnost. Sustav omogućava interakciju s nastavnim materijalima obogaćenim virtualnim elementima poput teksta, slika, zvuka i 3D modela pomoću prepoznavanja i praćena slika (engl. *image recognition*) iz nastavnih materijala. Implementirani su različiti modeli interakcije s virtualnim elementima poput manipuliranja veličinom, pozicijom i orijentacijom u prostoru koristeći dodirne geste. Također su implementirane edukacijske aktivnosti koje se prikazuju na detektiranoj površini kao što su virtualne slagalice, pitalice i sl.

Provedeno je istraživanje kojim se ispituje prihvaćanje novih tehnologija, u ovom slučaju korištenje proširene stvarnosti u edukaciji kako bi saznali u kojoj mjeri će nova tehnologija biti prihvaćena i korištena. Primijenjeni model istraživanja je model prihvaćanja tehnologije (engl. *Technology acceptance model* - TAM). Kao glavni mjerni instrument ovog istraživanja upotrijebljen je anketni upitnik. Prikupljeni podaci analizirani su korištenjem faktorske analize, modeliranjem strukturalnih jednadžbi i testiranjem hipoteza pomoću koeficijenata puta.

Nakon provedene analize, utjecaj očekivane jednostavnosti uporabe prema očekivanoj korisnosti i utjecaj očekivane korisnosti i stava prema korištenju pokazao se naročito važan u kontekstu namjere korištenja, tj. stvarnog korištenja sustava proširene stvarnosti u edukaciji za poboljšanje ishoda učenja i produktivnosti u nastavi. Rezultati istraživanja predviđaju da prihvatljivost proširene stvarnosti u edukacijskom kontekstu raste kako raste pozitivan stav prema korištenju sustava, odnosno zbog njihove signifikantne povezanosti, korisnost sustava, kao i rast jednostavnosti uporabe zbog njene signifikantne povezanosti s korisnošću sustava.

# Poglavlje 2

## Poširena stvarnost

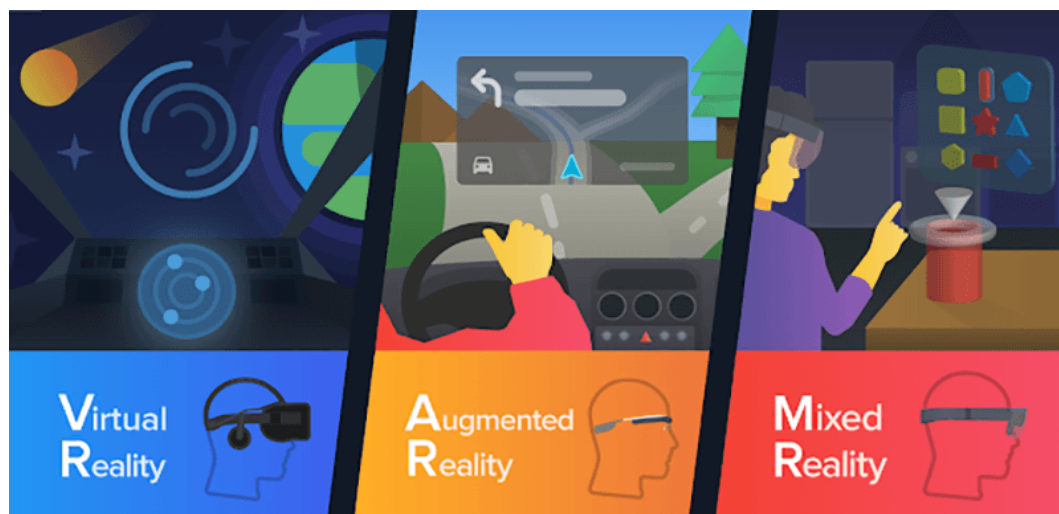
### 2.1 Što je proširena stvarnost?

Poširena stvarnost (engl. *Augmented reality* - AR) je oblik interaktivnog iskustva u kojem je stvarni svijet obogaćen računalno generiranim sadržajem. AR tehnologija nam omogućuje da kroz zaslon nekog uređaja, najčešće mobilnog telefona, vidimo elemente koji ne postoje u našem stvarnom okruženju. Na taj način ‘proširujemo’ stvarnost, odakle potječe i sam naziv. Virtualni elementi prezentirani u proširenoj stvarnosti mogu biti dvodimenzionalni (2D) poput teksta, slika, zvuka, videa i trodimenzionalni (3D) poput objekata, animacija i sl.

Proširena stvarnost usko je povezana s virtualnom stvarnošću (engl. *Virtual reality* - VR), pošto se proširena stvarnost razvila upravo kao produžetak tj. varijacija virtualne stvarnosti. Razlike između AR-a i VR-a svode se na način korištenja, potrebne uređaje i na sam oblik virtualnog iskustva [1]. AR je stvarni svijet obogaćen virtualnim elementima, dok je virtualna stvarnost potpuno simulirana tehnologijom tj. okruženje je u potpunosti virtualno te uključuje sustave koji su računalno generirani. Za razliku od proširene stvarnosti, za virtualnu stvarnost je nužno koristiti naočale kroz koje korisnik ne vidi ništa oko sebe, već samo virtualno stvoreni svijet.

Valja spomenuti pojam mješovite stvarnosti (engl. *Mixed Reality* - MR) koji označava rezultat miješanja fizičkog i digitalnog svijeta. Time u mješovitu stvarnost spadaju proširena stvarnost i proširena virtualnost [2]. Razlika između proširene,

virtualne i mješovite stvarnosti prikazana je na Slici 2.1



Slika 2.1 Razlika između proširene, virtualne i mješovite stvarnosti

## 2.2 Povijest proširene stvarnosti

Sve veća prisutnost proširene stvarnosti rezultat je duge razvojne putanje. Razumijevanje ove vremenske crte ključno je za naglašavanje vrijednosti koju proširena stvarnost može ponuditi u različitim područjima.

Proširena stvarnost prvo je zamišljena kao znanstveno-fantastični koncept koji podržava kreativnu naraciju u filmovima, knjigama i predstavama. Mašta nas je odvela do vizualizacije digitalno prikazanih informacija "u zraku", no to nitko nije mogao provesti u djelo. Tehnologija je prešla dug put od začeca svojih mogućnosti. Više nismo ograničeni svojom maštom jer je proširena stvarnosti postala stvarni i široko primjenjiv fenomen.

Primjer znanstveno-fantastičnog koncepta koji je postao referenca tehnolozima u krugovima proširene i virtualne stvarnosti jest film *Minority Report* iz 2002. godine prikazan na Slici 2.2. Temeljen na istoimenoj kratkoj priči iz 1956. Philipa K. Dicka,



## Poglavlje 2. Poširena stvarnost

film je prikazao brojne izmišljene buduće tehnologije koje su se pokazale predviđanjima na temelju razvoja u svijetu. Prije početka produkcije filma, redatelj Steven Spielberg pozvao je petnaestak stručnjaka da razmisle o tehnologijama koje će se razviti do 2054. godine [3].



Slika 2.2 Tom Cruise u filmu *Minority Report* - primjer korištenja proširene stvarnosti i kontrole pokretom

Početak povijesti razvijanja sustava proširene i virtualne stvarnosti bio bi 1957. godine. Te godine je snimatelj Morton Heilig izumio *Sensoramu*, uređaj prikazan na Slici 2.3, koji je gledatelju dostavljao vizuale, zvukove i mirise putem zaslona u boji, ventilatora, odašiljača mirisa, stereo-zvučnog sustava i pokretnog stolca. Smatra se jednim od najranijih poznatih primjera imerzivne, multisenzorne tehnologije. Nepotrebno je reći da ovo nije podržano računalnom tehnologijom, ali je nesumnjivo bio pokušaj dodavanja novih podataka kako bi se poboljšao doživljaj stvarnog svijeta [4].

Ivan Sutherland, američki informatičar koji se smatra pionikom računalne gra-

## Poglavlje 2. Poširena stvarnost



Slika 2.3 Sensorama uređaj za simulaciju

fike, 1968. godine izumio je prvi uređaj koji se smatra prvim *head-mounted display* (HMD) sustavom proširene stvarnosti - *Damoklov mač*, prikazan na Slici 2.4. Uređaj i njegovo korisničko sučelje bilo je primitivno. Grafika virtualnog okruženja sadržavala je nedetaljan i jednostavan prikaz (engl. *wireframe*) sobe. Sutherlandov sustav prikazao je izlaz iz računalnog programa na stereoskopskom zaslonu [5].

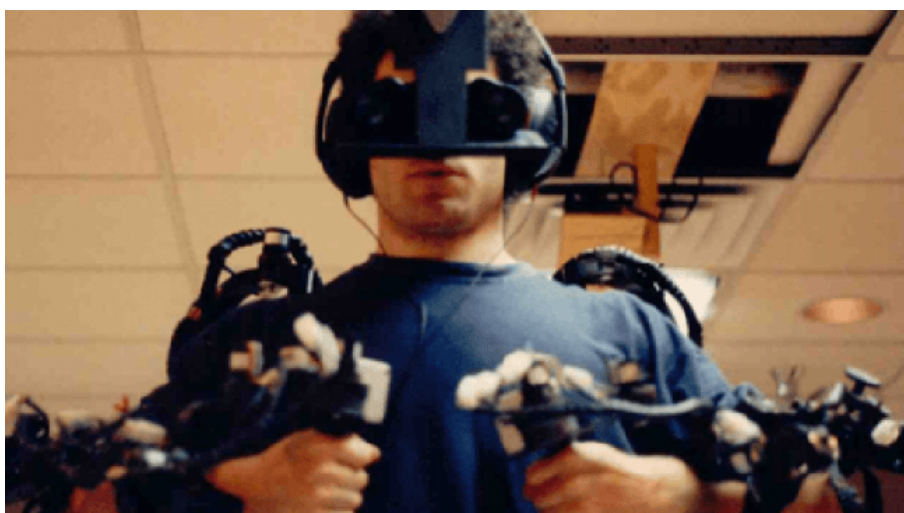
Pojam "proširena stvarnost" prvi put su spomenuli Thomas Caudell i David Mizell, istraživači tvrtke *Boeing Computer Services, Research and Technology*, u svom radu "*Augmented Reality: An Application of Heads-Up Display Technology to Manual Manufacturing Processes*" iz 1992. godine [6]. Iste godine, Louis Rosenberg u laboratoriju *USAF Armstrong*, razvio je prvi uspješan i potpuno funkcionalan sustav proširene stvarnosti, *Virtual Fixtures* - složen robotski sustav namijenjen za upotrebu američkog zrakoplovstva kao alat za obuku pilota američkih zračnih snaga

Poglavlje 2. Poširena stvarnost



Slika 2.4 Damoklov mač

i drugih vojnih odjela, prikazan na Slici 2.5.



Slika 2.5 Louis Rosenberg testira *Virtual Fixtures*, jedan od prvih sustava proširene stvarnosti ikada razvijenih (1992.)

Devedesetih godina AR je napredovao prema usvajanju masovnih potrošača. *Glow Puck* donio je pravu AR tehnologiju u domove stotina milijuna tako što je

## Poglavlje 2. Poširena stvarnost

učinio gledanje hokeja ugodnijim. Naime, gledati hokej na televiziji je teško jer je pak izrazito sitan. *Glow Puck* je upotrijebio trik s kamerom kako bi ostavio trag tamo gdje je pak putovao. Ova je tehnologija do danas ugrađena u tog emitiranje sporta. 1999. godine NASA je instalirala hibridni sustav sintetičkog vida na letjelicu X-38 prikazan na Slici 2.6. Sustav je koristio AR za preklapanje podataka karte na zaslonu pilota radi pružanja poboljšane vizualne navigacije.



Slika 2.6 Hibridni sustav sintetičkog vida

Ulaskom u 21. stoljeće bilo je gotovo nemoguće pronaći futurističku viziju tehnologije u kojoj proširena stvarnost nije bila središte ideje.

Bilo je mnogo drugih otkrića u proširenoj stvarnosti između ovdje i danas; od kojih su najznačajniji:

- 2000. godine Hirokazu Kato razvio je softversku biblioteku otvorenog koda pod nazivom ARToolKit koji služi drugim programerima u izradi programa za proširenu stvarnost. Također je te godine Bruce Thomas razvio mobilnu AR igru na otvorenom pod nazivom ARQuake 2000 - prva AR igra na otvorenom.
- 2009. godine Magazin Esquire prvi je put upotrijebio proširenu stvarnost u tiskanim medijima čime se proširena stvarnosti približila svakodnevnim koris-

nicima mobilnih telefona.

- 2013. godine Volkswagen je predstavio aplikaciju MARTA koja je tehničarima dala korak-po-korak upute za popravak unutar servisnog priručnika - ta primjena AR tehnologije bila je revolucionarna jer se mogla primijeniti na mnoge različite industrije radi usklađivanja i pojednostavljenja procesa.
- 2015. godine Microsoft je najavio podršku za proširenu stvarnost i njihov headset za proširenu stvarnost HoloLens
- 2016. godine Pokémon GO donio je proširenu stvarnost masama i promijenio način na koji prosječni potrošači razmišljaju o tehnologiji u nastajanju.
- 2017. godine IKEA je izdala svoju aplikaciju za proširenu stvarnost pod nazivom IKEA Place koja je zauvijek promijenila maloprodajnu industriju.

Dosad se razvio velik broj aplikacija i uređaja za proširenu stvarnost koji se koriste u gotovo svakom području industrije. S obzirom na dosadašnji napredak i primjenu, možemo zaključiti da će usvajanje tehnologije proširene stvarnosti nastaviti rasti.

## **2.3 Sklopovlje za sustave proširene stvarnosti**

Proširena stvarnost zastupljena je u više grana industrije kroz razne headsetove, pametne naočale i pametne telefone u vidu raznih aplikacija. Za razliku od virtualne stvarnosti, nije vezana samo za headset i primjenjiva je svugdje, od mobilnih telefona do nosivih uređaja poput pametnih satova, pa čak i na projektorima [7].

### **2.3.1 Pametni telefoni i tableti**

Pomoću pametnih telefona ne možemo iskusiti punu mogućnost svijeta proširene stvarnosti. Iako je tako, mobilna proširena stvarnost jedna je od trenutno najvećih područja razvoja AR aplikacija. Razlog tome jest rasprostranjenost i pristupačnost hardverske baze, poput pametnih telefona i tableta.

Razvojem ARKit i ARCore razvojnih paketa za izgradnju aplikacija temeljenih

## *Poglavlje 2. Poširena stvarnost*

na AR-u za iOS i Android, olakšana je izrada proširene stvarnosti na pametnim telefonima. Pametni telefoni koji podržavaju proširenu stvarnost ovisе o operacijskom sustavu; ARCore minimalna verzija operacijskog sustava je Android 7.0 (Android Nougat), dok je ARKit minimalna verzija operacijskog sustava iOS 11.0., tj. pametni telefoni kupljeni od cca 2016. nadalje [8]. 2021. godine, broj korisnika pametnih telefona u svijetu danas je 6.378 milijardi, što znači da 80,76% svjetske populacije posjeduje pametni telefon. Uzevši u obzir da svatko tko ima pametni telefon može na njemu prikazati neki oblik proširene stvarnosti, možemo zaključiti da je sveprisutnost pametnih mobilnih telefona u cijelom svijetu učinila proširenu stvarnost dostupnom gotovo svima [9].

### **2.3.2 Headsetovi za proširenu stvarnost**

AR headsetovi su uređaji koji se nose na glavi i omogućavaju gledateljima vidjeti digitalne elemente postavljene preko stakla na stvarno okruženje. Najpoznatiji takvi headsetovi su Microsoft HoloLens 2, Meta 2 i Magic Leap koji se mogu ubrojiti i među MR uređaje.

#### **Microsoft HoloLens**

Microsoft HoloLens je AR headset s prozirnim lećama prikazan na slici 2.7, koje je razvio Microsoft. Koristi niz senzora i visoko razvijenu optiku za dodavanje AR sadržaja u stvarni svijet. HoloLens također ima nekoliko mikrofona, HD kameru, svjetlosni senzor, softver za praćenje oka i pokreta ruku i “jedinicu za holografsku obradu“ koja je odgovorna za omogućavanje interakcije korisnika s 3D hologramima koji su prikazani kao dio fizičkog svijeta.

#### **Meta 2**

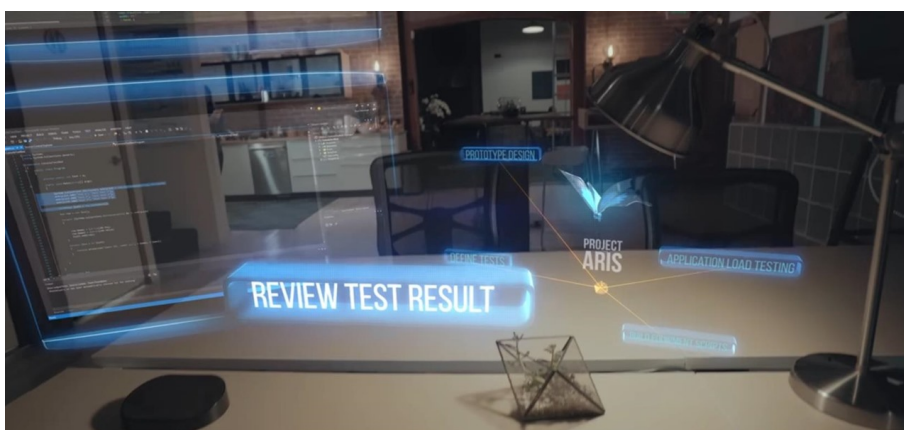
Meta 2 je headset sličan HoloLens-u. Koristi razne senzore i visokofrekventnu kameru te omogućuje praćenje pozicije da bismo vidjeli, primili i pomicali holograme baš kao i fizičke predmete. Drugim riječima, Meta mapira ne samo ruke već i okolinu u kojoj

## Poglavlje 2. Poširena stvarnost



Slika 2.7 Microsoft HoloLens 2

se nalazimo pomoću napredne senzorske tehnologije. Na Slici 2.8 prikazana je jedna od glavnih funkcionalnosti ovog headseta, a to je zamjena radne površine računala, odnosno prozirni ekran koji prikazuje virtualnu radnu površinu.



Slika 2.8 Radna površina prikazana koristeći Meta 2 headset

## Magic Leap

Ovaj futuristički AR uređaj pokreće malo računalo pod nazivom *Lightpack* koje se može pričvrstiti na remen ili džep. Slično kao i Hololens, računalno generirani sadržaj reagira na svoju okolinu dopuštajući korisniku interakciju s njim. Razlika je u načinu interakcije korisnika s virtualnim sadržajem. Umjesto gesta i kretanja očiju, MagicLeap radi s kontrolerom koji se koristi s velikim gumbom i dodirnom podlogom. Primjer korištenja Magic Leap headset-a prikazan je na Slici 2.9.



Slika 2.9 Kirurzi u dječjoj bolnici UC Davis koriste Magic Leap kako bi pomogli u planiranju razdvajanja rijetkih beba blizanaca kraniopagusa - blizanaca spojenih na glavi

### 2.3.3 Naočale za proširenu stvarnost

Naočale za proširenu stvarnost, odnosno pametne naočale, su nosivi uređaj koji snima i obrađuje fizičko okruženje korisnika te dodaje virtualne elemente. Najpraktičniji su nosivi uređaj zbog svoje jednostavnosti. Dizajnirane su na način da korisnika ne



## Poglavlje 2. Poširena stvarnost

ometaju u njegovim svakodnevnim radnjama. Trenutno su na tržištu najpoznatije naočale Solos, Epson Moverio BT-300 i Vuzix Blade.

### Solos

Solos su pametne naočale napravljene za sportske potrebne, posebice bicikliste i trkače. Omogućuju korisniku da vidi ključne metrike trčanja i vožnje bicikla kao što su tempo, broj otkucaja srca i snaga bez potrebe da skida pogled s ceste, prepoznavaju glasovne naredbe i imaju zvučnike. Prilagođene su iOS-u i Androidu.

### Epson Moverio BT-300

Epson Moverio BT-300 su pametne naočale koje se mogu koristiti sa kamerom drona, prikazano na Slici 2.10. Redefiniraju *First-person view* (FPV), s prozirnim zaslonom koji olakšava gledanje video sadržaja drona i ključne statistike leta, a pritom drže dron na vidiku. Zaslone prikazuje snimke u stvarnom vremenu koje ne blokiraju pogled. To pomaže osigurati sigurno iskustvo leta bez ometanja.



Slika 2.10 Primjer korištenja Epson Moverio BT-300 pametnih naočala s dronom

## Vuzix Blade

Vuzix Blade pametne naočale služe za svakodnevnu upotrebu. Ukoliko instaliramo potrebne aplikacije, mogu prepoznavati namirnice u trgovini, restorane, prikazivati ponudu restorana, recenzije i sl. Podržavaju Wi-Fi i LTE, stereo zvučnike i mikrofone za poništavanje buke, Alexu, slikanje i snimanje. Imaju kontrole dodira s bočne (desne) strane pametnih naočala koje se temelje na gestama koje podržava Android i iOS za upravljanje pratećim mobilnim aplikacijama.

## 2.4 Programska potpora za sustave proširene stvarnosti

AR programska potpora radi u kombinaciji s uređajima poput pametnih telefona, tableta i headseta, odnosno općenito s uređajima koji sadrže senzore i digitalne projektore. To nam omogućuje reprodukciju računalno generiranih objekata u stvarni svijet u kojem korisnici mogu s njima vršiti interakciju.

### 2.4.1 Platforme za proširenu stvarnost

Industrija razvoja AR-a vrlo je konkurentna s velikim tehnološkim tvrtkama koje ulažu u vlastite komplete za razvoj AR programske potpore (engl. *Software development kit* - SDK). Apple je svoj ARKit objavio još 2017., a samo godinu dana kasnije Google je predstavio ARCore. Danas postoje četiri glavna AR SDK-a:

- ARKit
- ARCore
- Vuforia
- AR Foundation

Svi SDK-ovi integrirani su u Unity i Unreal platforme za razvoj igara.

## ARKit

ARKit je skup alata koje je stvorio Apple kako bi pomogao programerima u stvaranju aplikacija proširene stvarnosti za iOS uređaje.

ARKit koristi *Visual Inertial Odometry* (VIO) za precizno praćenje svijeta, kombinirajući podatke senzora kamere s *CoreMotion* podacima. *CoreMotion* podaci su podaci o kretanju i okolišu prikupljeni s ugrađenog sklopovlja iOS uređaja (akcelerometar, žiroskop, pedometar, magnetometar i barometar). Ti podaci omogućuju iOS uređaju da točno osjeti kako se kreće unutar prostorije, eliminirajući potrebu za dodatnom kalibracijom.

Neke od ARKit značajki su:

- Okluzija ljudi: 3D sadržaj realistički prolazi iza i ispred ljudi u stvarnom svijetu
- Procjena svjetla okoline: primjenjuje se na virtualne objekte poboljšavajući iluziju da se virtualni predmet zapravo nalazi u stvarnom svijetu
- Detekcija ravnih površina
- Praćenje do tri lica odjednom
- Prepoznavanje pokreta: korištenje poza i gesta kao ulaz (engl. *input*), stvarajući sadržaj koji izravno stupa u interakciju s ljudskim pokretim
- *Reality Composer*: vizualni alat koji omogućuje brzo dodavanje 3D objekata u scene bez pretjeranog kodiranja ili modeliranja.

## ARCore

Jednostavno rečeno, ARCore je Googleov odgovor na Appleov ARKit. To je razvojna platforma za izradu aplikacija proširene stvarnosti na Android uređajima koja je objavljena početkom 2018. godine [10].

ARCore nudi tri načina za integraciju virtualnog sadržaja sa stvarnim svijetom:

- Praćenje pokreta: kako bi pametni telefon razumio i pratio svoj položaj u

## Poglavlje 2. Poširena stvarnost

stvarnom svijetu. Ključno je ne samo postaviti virtualne objekte u stvarni svijet, već i pobrinuti se da izgledaju realno iz svih kuteva. ARCore to osigurava usklađivanjem virtualne 3D kamere koja prikazuje 3D sadržaj s kamerom uređaja.

- Prepoznavanje okoline: omogućuje pametnom telefonu da otkrije veličinu i položaje drugih površina u stvarnome svijetu, detektira ravnine i značajke tako da se virtualni objekti mogu pravilno postaviti na prave, ravne površine.
- Procjena svjetlosti: pomoću kamere telefona otkriva trenutne položaje osvjetljenja u fizičkom svijetu, zatim osvjetljava virtualne objekte na isti način kao i stvarne objekte, dodajući osjećaj stvarnosti po uzoru na ARKit.

### AR Foundation

AR Foundation je paket koji omogućuje izgradnju međuplatformskih (engl. *cross-platform*) AR aplikacija u Unity3D-u. Ovaj alat uključuje i ARKit i ARCore XR pakete, što znači da se AR aplikacija može razviti u Unity3D, a zatim izgraditi za Android ili iOS. Dobra stvar je što AR Foundation može koristiti značajke iz ARCore i ARKit okvira u istom projektu [10].

### Vuforia

Vuforia je još jedna platforma za razvoj međuplatformskih aplikacija za mješovitu stvarnost. Važni koncepti Vuforije jesu: praćenje na temelju markera, slikovne mete (engl. *image targets*) i praćenje bez markera.

Vuforia koristi tehnologiju računalnog vida za prepoznavanje i praćenje markera u stvarnom vremenu. Markeri mogu biti slikovne mete, 3D modeli i sl. U trenutku kada kamera uređaja prepozna marker u stvarnom svijetu pripadajući virtualni sadržaj se prikaže nad položajem markera. Virtualni sadržaj prati položaj i orijentaciju markera u stvarnom vremenu i na taj način postiže iluziju da je dio scene stvarnog svijeta.

Aplikacije koje koriste praćenje bez markera češće su zasnovane na lokaciji ili poziciji. Ovaj oblik praćenja oslanja se na tehnologije kao što su GPS, akcelerometar,

žiroskop i složeniji algoritmi za obradu slika za postavljanje virtualnih objekata ili informacija u okruženje.

Vuforia Engine je najčešće korištena platforma za razvoj iskustava proširene stvarnosti, s podrškom za većinu AR uređaja. Olakšava dodavanje naprednih funkcionalnosti računalnog vida u AR aplikacije koje realistično stupaju u interakciju s objektima i okolinom [11].

## 2.5 Primjena proširene stvarnosti

Proširena stvarnost već se koristi u raznim područjima iako je njen razvoj u ranim počecima. Primjena proširene stvarnosti stvorila je široke mogućnosti u svakom dijelu industrije, od medicine, obrazovanja do arhitekture, turizma, umjetnosti itd.

### 2.5.1 Zabava

Mnogi vjeruju da će zabavni sadržaji (aplikacije, filmovi, igre, glazba) postati realističniji, impresivniji i interaktivniji nego ikad prije. Proširena stvarnost dodaje novu dimenziju dopuštajući korisnicima da postanu aktivni sudionici zabavnih sadržaja umjesto pasivnih.

Mobilne igre u današnje doba imaju veliki udio u ukupnim aplikacijama koje se svakodnevno koriste u zabavne i edukacijske svrhe sa godišnjim prihodima od čak 12.1 milijardi eura [12]. AR omogućuje prebacivanje iz virtualnih sfera u stvarno okruženje gdje korisnik može izvoditi aktivnosti iz stvarnog života u igri.

Dva elementa koja se često koriste jedno uz drugo za potpuni doživljaj AR-a su zabava i edukacija. Jedan od takvih primjera možemo pronaći na našim prostorima, a to je Tvrđava Barone u Šibeniku koja koristi *storytelling* tehniku prikazanu na Slici 2.11. Pomoću elemenata proširene stvarnosti poput 3D modela, animacija, videa i sl. prikazuju povijesne događaje [13].



Slika 2.11 Primjer korištenja proširene stvarnosti u Tvrđavi Barone u Šibeniku

### 2.5.2 Medicina

Uloga proširene stvarnosti u medicini može biti od velikog značaja, kako kroz učenje i savladavanje vještina poput kirurgije i anatomije, tako i kroz pomoć liječnicima prilikom pripreme i izvođenja medicinskih procedura. AR može učiniti digitalne slike i kritične informacije dostupnim kirurzima unutar njihovog vidnog polja, npr. podaci o pacijentu prikazani na zaslonu pametnih naočala. Razvoj AR-a u medicini će omogućiti kirurzima da ne moraju skretati pogled s kirurškog polja kako bi pristupili ključnim informacijama koje bi im mogle biti potrebne za uspješan zahvat. Mnoga mlada poduzeća grade AR tehnologiju za podršku digitalnoj kirurgiji, 3D medicinskim slikama i specifičnim operacijama [14].

### 2.5.3 Marketing

Proširena stvarnost je trend u nastajanju u marketinškim i prodajnim strategijama. Omogućuje brendovima da kupcima pruže jedinstvena iskustva koristeći njihove mobilne uređaje. Proširena stvarnost može podići materijale za brendiranje poput posjetnica i brošura na sljedeću razinu dodavanjem virtualne komponente. Korisnici mogu skenirati tiskane materijale svojim mobilnim uređajima kako bi pristupili nizu značajki dajući im više informacija i načina da stupe u kontakt s robnom markom. Nadalje, robne marke mogu koristiti AR kako bi potrošačima omogućile isprobavanje

proizvoda prije nego što ih kupe, a dodatno iskustvo kupnje postaje sve popularnije; od testiranja šminke do testa vožnje mogućeg novog automobila. Tvrtke za dizajn namještaja i interijera, poput Ikee, također sve više koriste AR rješenja za svoje poslovanje. Korisnicima sada nude mogućnost virtualnog izlaganja novih komada namještaja u svojim dnevnim sobama i kuhinjama jednostavnim korištenjem aplikacije za mobilni telefon [15].

#### **2.5.4 Edukacija**

Primjena proširene stvarnosti u edukaciji ima značajne mogućnosti: može se koristiti u školama, muzejima, učenju na daljinu, na terenskim nastavama i sl. Kombinacija AR tehnologije s obrazovnim sadržajem stvara novu vrstu automatiziranih aplikacija i djeluje na povećanje učinkovitosti i privlačnosti načina predstavljanja nastavnih materijala. Korištenje proširene stvarnosti nije ograničeno nepristupačnom tehnologijom i može se izvoditi na pametnim telefonima i tabletima. Time njena pristupačnost, pa i interes za korištenjem u procesu učenja, stjecanju vještina i nastavi značajno raste. Pošto se ovaj rad prvenstveno bavi proširenom stvarnosti u edukaciji, više će biti opisano i razrađeno u nastavku.

## Poglavlje 3

# Proširena stvarnost u edukaciji

Primjenu proširene stvarnosti možemo zamisliti u mnogim područjima, no ipak su možda najuzbudljivije mogućnosti svojstvene obrazovanju. Značajke AR-a dovode do raznih pozitivnih učinaka na učenje. Kombinacija stvarnog i virtualnog svijeta u AR-u može omogućiti proučavanje koncepta i sadržaja koji u stvarnom svijetu nisu vidljivi ili su rijetko vidljivi (npr. povijesni likovi, anatomija ljudskog tijela, erupcija vulkana i sl.), a bogati nastavni materijali (npr. tekst, video, audio, itd.) mogu poticati motiviranost i zainteresiranost i time privući učenike na učenje [16]. Osim toga, neke literature skrenule su pozornost na društvene učinke AR-a na studente. Na primjer, korištenje AR tehnologije omogućilo je studentima više mogućnosti za komunikaciju i suradnju u stvarnom svijetu [17]. Potaknute su i društvene interakcije između učenika i učitelja te učenika i njihovih roditelja [18].

Svake godine, Inicijativa za nove tehnologije (engl. *Emerging Technology Initiative*) Novog medijskog konzorcija (engl. *New Media Consortium's - NMC's*) generira Horizon izvješće (engl. *Horizon report*) koje nastoji identificirati i razumjeti tehnologije u nastajanju koje obećavaju imati značajan utjecaj na različite sektore širom svijeta i koje pokazuju potencijal utjecaja na učenje i obrazovanje. U Horizon izvješću za 2018. godinu navode se predviđanja za sljedećih 4 do 5 godina. Nalaže se da tržište MR aplikacija eksponencijalno raste i očekuje se da će se udvostručiti u sljedećih pet godina. Kako oprema postaje pristupačnija i škole imaju veći pristup tehnologiji, raste i interes za korištenje virtualne i proširene stvarnosti kao obrazovnih alata: AR knjige, AR igre, učenje zasnovano na otkrivanju, modeliranje objekata



i stjecanje vještina [19].

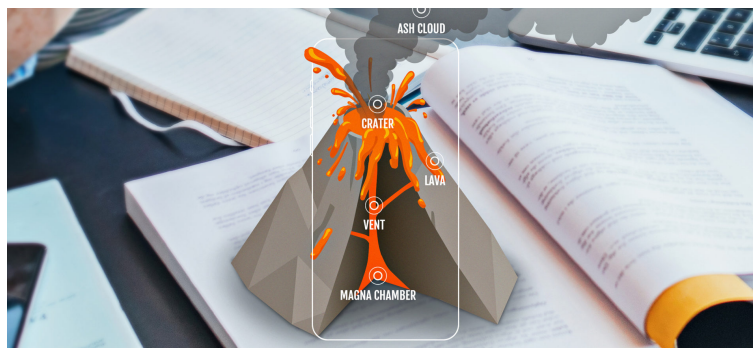
### 3.1 Proširena stvarnost u knjigama

Smatra se da će AR knjige biti zaslužne za prihvaćanje i široko usvajanje nove tehnologije u edukaciji. Knjiga koja proširuje stvarnost i uranja čitatelje u priču fizičkim angažiranjem osjetila, novi je način obrazovanja i zabave gdje čitatelji postaju sudionici [20]. Primjer AR knjige prikazan je na Slici ???. Koristeći prepoznavanje slike ili QR koda, AR omogućuje da smjestimo računalno generirani sadržaj na prepoznatu 2D površinu poput stranice knjige gdje se doima da je virtualni sadržaj pričvršćen na nju [19].

Interaktivni digitalni elementi pomoću kojih nadopunjavamo sadržaj iz knjiga su:

- animirani 3D modeli,
- video i audio objašnjenja,
- poveznice na web stranice s interaktivnim sadržajem i
- kratke bilješke o važnim činjenicama.

Navedeni elementi privlače korisnike da saznaju više o nekoj temi. Potencijal AR knjiga da se dopadnu mnogim tipovima učenika, neporeciv je i uzbudljiv za nastavnike.



Slika 3.1 AR knjiga za učenje geologije

## 3.2 Edukativne AR igre i aplikacije

AR igre imaju potencijal biti iznimno učinkovit alat za podučavanje raznim vještinama i lakše shvaćanje nastavnih materijala. Otvaraju se nove mogućnosti učenja koje bi inače bile nepraktične u stvarnom životu, kao što su virtualni obilasci lokacija diljem svijeta kao dio predavanja u učionici. Pružaju učiteljima mogućnost korištenja novog vizualnog i visoko interaktivnog oblika učenja te se u nastavku navodi par takvih primjera [21].

### Elements 4D

Elements 4D je aplikacija prikazana na Slici 3.2, ima mogućnost ilustriranja različitih kemijskih elemenata i reakcija pomoću proširene stvarnosti. Ovo je aplikacija koja je osmišljena kako bi na interaktivan način inspirirala i angažirala studente o znanosti i kemiji.

### Experience Real History

Ova aplikacija omogućuje pokretanje 3D povijesne animirane diorame. Korisnici mogu gledati kako se bitka odvija na svom uređaju iz različitih kutova i blizina kroz animirane scene i 3D fotorealne rekreacije, osmišljenih u suradnji s povjesničarima

### Poglavlje 3. Proširena stvarnost u edukaciji



Slika 3.2 Elements 4D aplikacija

za autentično iskustvo. Također omogućuje istraživanje bojnog polja i upoznavanje heroja.

#### GeoGoogle

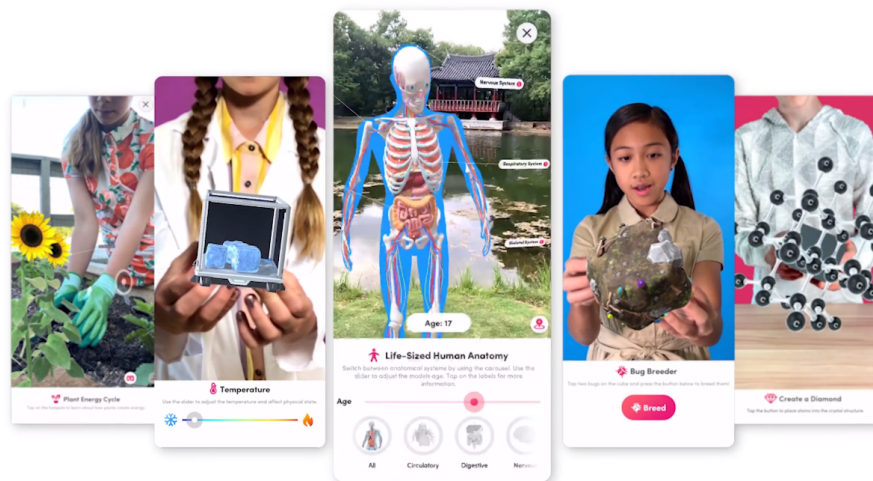
GeoGoggle se koristi u stjecanju zemljopisnih vještina i procjeni udaljenosti do određenih odredišta. Učenici mogu naučiti geografske mjere kao što su zemljopisna širina i dužina primjenom GeoGoggle-a u stvarnom okruženju. Aplikacija također omogućuje izračunavanje nadmorske visine i udaljenosti između dvije točke pomoću 3D kompasa.

#### Merge EDU

Merge EDU je platforma za digitalno učenje koja pomaže učenicima da učinkovito uče o znanstvenim i STEM temama, uz 3D objekte i simulacije koje mogu dodirivati, držati i manipulirati s njima. Neke od funkcionalnosti Merge Edu aplikacije prikazane

### Poglavlje 3. Proširena stvarnost u edukaciji

su na Slici 3.3. Mogu istraživati galaksiju na dlanu, istraživati molekulu DNK, jezgru Zemlje, secirati virtualnu žabu, držati i dijeliti vlastite 3D kreacije itd.



Slika 3.3 Merge EDU aplikacija

## 3.3 Učenje na temelju otkrivanja

AR aplikacije koje prenose informacije o mjestu u stvarnom svijetu otvaraju vrata za učenje temeljeno na otkrivanju. Trenutačno mnoga povijesna mjesta svojim posjetiteljima daju karte s povijesnim informacijama. Međutim, u bliskoj budućnosti, AR će unijeti još više uzbuđenja u povijesna mjesta kroz razne razvojne projekte. Na primjer, projekt iTacitus AR omogućit će posjetiteljima da se kreću po lokaciji dok slušaju i vide povijesni događaj. Slično, SREngine, koristit će prepoznavanje AR objekata za prikaz informacija o svakodnevnim artiklima u stvarnom svijetu, omogućujući jednostavnu usporedbu cijena tijekom kupovine, kao i prepoznavanje biljaka i životinja. Školski izleti mogu dobiti potpuno novi doživljaj korištenjem npr. Wikitude (prikazana na Slici 3.4) ili sličnih mobilnih aplikacija na način da se papirnate brošure zamijene s prikazom digitalnih informacija kada se naiđe na predmet interesa, tj. lokaciju na čijim koordinatama leži ta informacija. Također je moguće

### Poglavlje 3. Proširena stvarnost u edukaciji

skenirati objekte kroz kameru nakon čega se prikazuju najnovije informacije o istima [19].



Slika 3.4 Wikitude aplikacija

## 3.4 Modeliranje objekata

Proširena stvarnost također se može koristiti za modeliranje objekata, dopuštajući učenicima da zamisle kako bi neka stavka izgledala u različitim postavkama. Modeli se mogu brzo generirati, manipulirati i rotirati. Studenti dobivaju trenutnu vizualnu povratnu informaciju o svojim idejama i dizajnu na način koji im omogućuje da uoče nedosljednosti koje je potrebno riješiti. Istraživači u Laboratoriju za tehnologiju ljudskog sučelja na Sveučilištu Canterbury na Novom Zelandu stvorili su alat koji skice pretvara u 3D objekte i koristi proširenu stvarnost kako bi studentima omogućio istraživanje fizičkih svojstava i interakciju među objektima. Jednostavne kontrole, nacrtane na listićima papira, koriste se za promjenu svojstava skiciranih objekata. Na fakultetu Mauricio De Nassau u Brazilu studenti arhitekture istražuju mogućnosti korištenja proširene stvarnosti za projektiranje modela zgrada, skraćujući vrijeme potrebno za izgradnju i prezentaciju arhitektonskih prijedloga [19]. Primjer

korištenja AR-a u arhitekturi prikazan je na Slici 3.5.



Slika 3.5 Modeliranje u AR-u

### 3.5 Stjecanje vještina

AR tehnologija ima velik utjecaj i u obrazovnoj funkciji stjecanja vještina. Pruža snažna kontekstualna iskustva učenja i istraživanja *in situ* (lat. na licu mjesta, na mjestu). Primjer korištenja AR naočala u kontekstu stjecanja vještina jest u obuci pojedinca, posebice u specifičnim zadacima. Pomoću AR naočala moguće je prikazati koji su koraci u procesu popravljavanja nekog mehanizma, provesti identifikaciju potrebnih alata i pregled tekstualnih uputa.

Primjer tehnologije poučavanja koristeći AR je medicinski program kojeg je razvilo Sveučilište North Carolina u Chapel Hillu. Taj program služi liječnicima koji se obučavaju i izvode ultrazvuk na trudnicama. Na pametnim naočalima liječnika projicira se ultrazvuk ženske utrobe i dodatne informacije. Još jedan primjer razvilo je Sveučilište Columbia, a to je AR aplikacija digitalnih priručnika koja služi za popravljavanje pisača. 2010. godine, za područje dentalne medicine implementiran je AR simulator koji služi vježbanju dentalnih operacija pomoću haptičkog uređaja. Studenti mogu vježbati operacije u simuliranom okruženju kombinirajući 3D modele zuba i alata koristeći zaslon postavljen na glavu (HMD) [19].

# Poglavlje 4

## Implementacija aplikacije EduAR

### 4.1 Cilj i opis aplikacije

Cilj ove aplikacije je implementirati ogledni sustav za interaktivno e-učenje pomoću proširene stvarnosti koji omogućava interakciju s nastavnim materijalima obogaćenim virtualnim elementima. Sustav obuhvaća prikazivanje teksta, slika, zvuka i 3D modela temeljeno na prepoznavanju i praćenju slika (engl. *image recognition*) iz nastavnih materijala kao npr. udžbenik. Implementirani su različiti modeli interakcije s virtualnim elementima poput manipuliranja veličinom, pozicijom i orijentacijom u prostoru koristeći dodirne geste. Također su implementirane edukacijske aktivnosti koje se prikazuju na detektiranoj površini poput virtualne slagalice pomoću akcije ‘povuci i spusti’ (engl. *drag&drop*), kviz ‘Kotrljanja loptice’ i povezivanje pojmova numeriranih na animaciji.

### 4.2 Korištene tehnologije

Aplikacija je razvijena koristeći Unity 3D platformu i C# programski jezik, uz AR Foundation razvojni okvir te ARCore i ARKit XR Plugin pakete.

### 4.2.1 Unity

Unity je višeplatformski programski mehanizam za razvoj igara kojeg je razvio *Unity Technologies* 2005. godine. Podržava razne platforme; stolna računala, mobilne uređaje, konzole i platforme virtualne/proširene stvarnosti. Posebno je popularan za razvoj mobilnih igara za iOS i Android. Može se koristiti za stvaranje 2D i 3D igara, simulacija i drugih iskustava. Unity su prihvatile industrije izvan video igara, kao što su film, automobilska industrija, arhitektura, inženjerstvo i građevinarstvo [22].

### 4.2.2 AR Foundation

AR Foundation je osnovni modul za implementaciju aplikacija koje koriste proširenu stvarnost u Unity3D-u. AR Foundation je skup *MonoBehaviours*-a (osnovni razred iz kojeg proizlazi svaka Unity skripta) za rad s uređajima koji podržavaju sljedeće koncepte:

- Detekcija površina (vertikalnih i horizontalnih)
- Otkrivanje oblaka točaka, također poznatih kao značajne točke
- Referentne točke: proizvoljan položaj i orijentacija koju uređaj prati
- Praćenje slika i objekata
- Prepoznavanje i praćenje lica
- Procjena svjetla: procjene prosječne temperature boje i svjetline u fizičkom prostoru
- Praćenje svijeta: praćenje položaja i orijentacije uređaja u fizičkom prostoru.

AR Foundation omogućuje izgradnju višeplatformskih aplikacija proširene stvarnosti, što bi značilo da se aplikacije mogu poslužiti na iOS i Android uređaje bez potrebe za prilagođavanjem implementacije ovisno o ciljanoj platformi (uz odgovarajuće XR dodatke) [23].



### **4.2.3 XR Dodaci**

Za razvijanje aplikacije proširene stvarnosti na ciljanom uređaju (iOS i/ili Android) potrebno je instalirati zasebne pakete za svaku odgovarajuću platformu:

1. ARCore XR dodatak: dodatak za Google AR SDK — ARCore (Android)
2. ARKit XR dodatak: dodatak za iOS AR SDK — ARKit (Apple)

## **4.3 Osnovne komponente aplikacije**

Prvi korak prilikom implementiranja aplikacije proširene stvarnosti je instalirati već navedene pakete: AR Foundation, ARKit i ARCore XR Plugin. Sljedeći korak je konfigurirati Unity scenu za proširenu stvarnost. To je učinjeno na način da se u hijerarhiju scene dodalo dvije osnovne komponente: AR Session Origin i AR Session. Ukoliko je cilj da aplikacija detektira površinu iz stvarnog svijeta na koju se mogu postavljati virtualni elementi, koristi se komponenta AR Plane Manager. AR Raycast Manager komponenta koristi se ako se korisniku želi dopustiti manipulacija virtualnih elemenata u AR sceni preko ekrana mobilnog uređaja.

### **4.3.1 AR Session Origin**

AR Session Origin održava virtualne objekte u ispravnom položaju u AR okruženjima. Svrha AR Session Origin-a je transformirati značajke koje se mogu pratiti (kao što su ravnine površine i oblaci točaka) u njihov konačni položaj, orijentaciju i mjerilo u Unity sceni. AR objekte treba smjestiti pod AR Session Origin u hijerarhiji, u suprotnom, položaji objekata se neće ažurirati [23].

### **4.3.2 AR Session**

AR Session kontrolira životni ciklus AR sesije, tj. koordinira glavne procese kako bi se stvorilo iskustvo proširene stvarnosti. Ti procesi uključuju čitanje podataka s hardvera za otkrivanje pokreta uređaja, upravljanje ugrađenom kamerom uređaja

## Poglavlje 4. Implementacija aplikacije EduAR

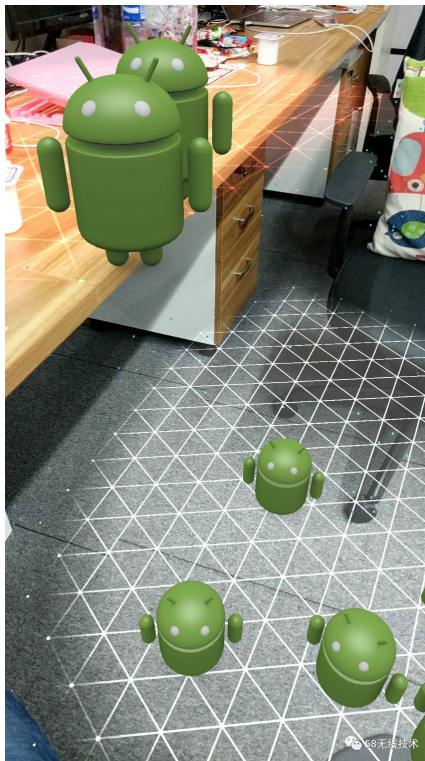
i izvođenje analize slike na snimljenim slikama kamere. Sesija sintetizira sve ove rezultate kako bi se uspostavila korespondencija između stvarnog svijeta u kojem se uređaj nalazi i virtualnog prostora u kojem se modelira AR sadržaj [23].

### 4.3.3 AR Plane Manager

AR Plane Manager je potrebno dodati u AR Session Origin kako bi se detektirale vertikalne i horizontalne površine. Radi na principu traženja značajnih točaka na slici kamere: prepoznatljive točke visokog kontrasta ili rubove koji se mogu pouzdano detektirati u okvirima. Poželjno je izbjegavati okruženja bez tekstone, poput bijelog stola, površine koje snažno reflektiraju i okruženja slabog osjetljenja. U tim slučajima detekcija površine je znatno otežana. Za vizualizaciju detektirane površine, potrebno je dodati tzv. *Plane Prefab* u AR Plane Manager [23]. Na Slici 4.1 vidljiv je jedan od načina prikaza detektirane površine.

### 4.3.4 AR Raycast Manager

Pomoću AR Raycast Managera omogućujemo korisniku da postavi virtualni element u odnosu na fizičku strukturu u stvarnom svijetu, npr. na detektiranu površinu, putem tzv. *raycast*-a (emitiranja zraka). Korisnik "puca" zraku iz položaja dodira prsta na ekranu (gdje je prst dodirnuo ekran) u percipirani AR svijet. Pomoću *raycast*-a možemo saznati siječe li se i gdje se siječe ta zraka s nekim od virtualnih elemenata ili detektiranom površinom (oblakom točaka). *Raycast* se prati putem AR Raycast Managera [23].



Slika 4.1 Primjer detektiranja površine koristeći ARCore

## 4.4 Prikazivanje i manipuliranje virtualnim elementima

Prvi dio aplikacije koristi proširenu stvarnost kroz lekciju na način da se nastavni materijali (npr. udžbenik) obogate interaktivnim virtualnim sadržajem. Ova funkcionalnost implementirana je koristeći Vuforia platformu i tehnologiju prepoznavanja markera, u ovom slučaju ciljnih slika.

### 4.4.1 Prepoznavanje slike i prikaz virtualnih elemenata

Vuforia nam omogućuje jednostavno dodavanje elemenata računalnog vida koristeći ciljne elemente kao markere koji aktiviraju elemente proširene stvarnosti. Ciljni elementi imaju opciju detektiranja i praćenja kako se marker i kamera pomiču. Primjer

## Poglavlje 4. Implementacija aplikacije EduAR

ciljne slike nalazi se na Slici 4.2 Kao markeri korištene su ciljne slike (engl. *Image Targets*), koje nove elemente dodaju na sliku ili neku drugu oslikanu ravnu površinu.



Slika 4.2 Primjer ciljne slike u Vuforia

Svaka ciljna slika ima pripadajući `GameObject` koji predstavlja tzv. prefab, odnosno virtualni element koji će se prikazati iznad ciljane slike u stvarnom svijetu kada se ista detektira te ukloniti prikazani prefab kada ciljna slika nestane iz prikaza kamere. Kako bismo pratili stanja ciljnih slika (je li ciljna slika trenutno vidljiva ili ne) koristiti ćemo `Default Trackable Event Handler` komponentu priloženu `GameObject`-u svake ciljne slike. Dvije metode koje se koriste su:

- kada Vuforia pronade ciljnu sliku u prikazu kamere:

```
private void OnTrackingFound() {}
```

- kada Vuforia izgubi trag o ciljnoj slici iz prikaza kamere:

```
private void OnTrackingLost() {}.
```

## 4.4.2 Oblici virtualnih elemenata

Oblici virtualnih elemenata koji se instanciraju su: tekst, slika, video, 3D model, zvuk i poveznica.

### Tekst

Za prikaz teksta koristimo TextMeshPro; tekstualno rješenje za Unity u 3D aplikacijama kao zamjena za Unity-ov UI tekst koji pruža poboljšanu kontrolu nad oblikovanjem i izgledom teksta kao što su razmak između riječi, redaka i paragrafa, podrška za više fontova, prilagođeni stilovi i sl. Koristi tehnike naprednog renderiranja teksta zajedno sa skupom prilagođenih *shadera*; isporučujući značajna poboljšanja vizualne kvalitete, dok korisnicima daju nevjerojatnu fleksibilnost kada je u pitanju oblikovanje teksta i teksturiranje.

### Slika

2D slika koja se prikazuje u 3D svijetu mora biti postavljena pod komponentom Sprite. Komponenta Sprite Renderer omogućuje prikaz slika kao Sprite za korištenje u 2D i 3D scenama.

### Video

Video sadržaj se reproducira na ciljnoj slici koristeći VideoPlayer komponentu. Sadržaj može biti VideoClip (uvezeni materijal s diska) ili URL (kao što je file:// ili https://). Obilježja poput brzine prikazivanja, pokretanja videa kada se pokrene i scena, ponovno pokretanje nakon završetka video sadržaja itd. su konfigurabilna programski ili kroz sučelje.

### 3D model

Unity može čitati .FBX, .dae, .3DS, .dxf i .obj formate 3D datoteka. 3D datoteke korištene u projektu preuzete su sa Sketchfab web platforme. Sketchfab je platforma za objavljivanje, dijeljenje, preuzimanje, kupnju i prodaju 3D VR i AR sadržaja.

## Poglavlje 4. Implementacija aplikacije EduAR

Pružna preglednik koji se temelji na WebGL i WebXR tehnologijama koji korisnicima omogućuje prikaz 3D modela na webu, za gledanje na bilo kojem mobilnom pregledniku, desktop pregledniku ili headsetu za virtualnu stvarnost. Za stvaranje prilagođenih 3D modela, korišten je Blender. Blender je besplatni softverski alat za 3D računalnu grafiku otvorenog koda koji se koristi za stvaranje animacija, vizualnih efekata, 3D modela, grafike pokreta itd. te je vrlo kompatibilan s Unity-em. Unity izvorno uvozi Blender (.blend) datoteke pomoću Blender FBX izvoznika. Ukoliko izmjenimo .blend datoteku, Unity će ju automatski ažurirati.

### Zvuk

Za reprodukciju zvuka koristi se AudioSource komponenta. AudioSource je priključen na GameObject za reprodukciju zvukova u 3D okruženju. Za reprodukciju 3D zvukova također je potrebno imati AudioListener priključen na kameru. Reproduciraju li se zvukovi u 3D ili 2D postavkama određuje AudioImporter. Audio isječci se mogu kontrolirati programski pomoću *Play()*, *Pause()* i *Stop()* funkcija. Također je moguće podesiti glasnoću tijekom reproduciranja pomoću svojstva glasnoće i sl.

### Poveznica

Poveznica se otvara koristeći funkciju

```
Application.OpenURL(string url)
```

koja otvara navedeni URL, ovisno o dopuštenjima i ograničenjima trenutne platforme i okruženja aplikacije. Najčešće se ova metoda koristi za otvaranje HTTP URL-ova (web stranica). Ako navedemo adresu web stranice kao parametar za ovu metodu, web stranica se otvara u zadanom pregledniku.

### 4.4.3 Interakcija s virtualnim elementima

Interakcija s virtualnim elementima implementirana je koristeći LeanTouch. Preuzimanjem i uvozom alata Lean Touch korisnik je u mogućnosti skalirati i rotirati

svaki 3D model. Lean Touch je alat koji se nalazi u Asset Store-u, a služi za jednostavnu implementaciju funkcionalnosti pri korisnikovom dodiru zaslona. Podržan je u razvoju aplikacija za Android, iOS i Desktop. Odgovarajuće skripte ovoga alata potrebno je dodati kao komponente objekata s kojima želimo ostvariti interakciju. Lean Touch slijedi stil uređivača Unity i sadrži intuitivna imena postavki tako da se potrebne funkcionalnosti mogu ostvariti unutar prozora *Inspector* u Unity-u ili izravnim modificiranjem C# skripti. Za potrebe ove aplikacije, kao komponente nekim objektima dodane su dvije skripte – *LeanTwistRotateAxis.cs* za rotiranje oko vertikalne osi te *LeanPinchScale.cs* za skaliranje modela tj. za promjenu veličine objekta [24].

## 4.5 Implementiranje interaktivnih edukacijskih aktivnosti

Drugi dio aplikacije zamišljen je u obliku kviza provjere znanja tj. rješavanja zadataka (npr. pitanje s ponuđenim odgovorima ili povezivanje pojmova) koristeći proširenu stvarnost. Ovaj dio aplikacije ne koristi prepoznavanje slika na kojima se prikazuju modeli, već detektiranje površine i postavljanje modela na površinu dodiranjem zaslona. Nakon postavljanja modela na detektiranu površinu možemo manipulirati njegovim položajem dok ga ne smjestimo negdje gdje nam odgovara. Kada to napravimo, zaključamo položaj modela te možemo početi s igrom. Implementirana su 3 oblika edukacijskih aktivnosti: virtualna slagalica, kviz ‘Kotrljanje loptice’ i povezivanje pojmova s animacije.

### 4.5.1 Postavljanje modela na površinu

Detektiranje površine omogućeno je dodavanjem *ARPlaneManager*-a (Poglavlje 4.3.3). Postavljanje modela na površinu implementirano je u *TapToPlaceObject.cs* skripti koristeći *ARRaycastManager* (Poglavlje 4.3.4).

Na slici 4.3 prikazan je isječak koda iz skripte *TapToPlaceObject.cs*. Funkcija *Update()* poziva se na svako ažuriranje tj. promjenu zaslona. Pozivom funkcije

## Poglavlje 4. Implementacija aplikacije EduAR

```
bool TryGetTouchPosition(out Vector2 touchPosition) {
    if(Input.touchCount > 0)
    {
        touchPosition = Input.GetTouch(0).position;
        return true;
    }

    touchPosition = default;
    return false;
}

void Update()
{
    if(!TryGetTouchPosition(out Vector2 touchPosition))
        return;

    if (_arRaycastManager.Raycast(touchPosition, hits, TrackableType.PlaneWithinPolygon))
    {
        if (!EventSystem.current.IsPointerOverGameObject(fingerID)) // is the touch on the GUI
        {
            var hitPose = hits[0].pose;

            if (spawnedObject == null)
            {
                spawnedObject = Instantiate(gameObjectToInstantiate, hitPose.position, hitPose.rotation);
            }
            else
            {
                if (_arPlaneManager.enabled)
                {
                    spawnedObject.transform.position = hitPose.position;
                }
            }
        }
    }
}
}
```

Slika 4.3 Metoda za postavljanje objekta u scenu dodiranjem zaslona

*TryGetTouchPosition* provjerava se je li korisnik dodirnuo zaslon te se ta pozicija sprema u varijablu *touchPosition* koja određuje gdje pucati zraku (raycast) u scenu i postaviti objekt. Pomoću metode *Raycast* projicira se zraka u scenu, vraćajući *boolean* vrijednost ako je cilj uspješno pogoden (u ovom slučaju detektirana površina). Metoda *Raycast* prima 3 parametra: *touchPosition* (gdje pucati zraku), listu pogodaka zrake i tip praćenja (engl. *trackable type*). Tip praćenja je značajka u fizičkom okruženju koju uređaj može pratiti (npr. lice, slika, površina...); *TrackableType.PlaneWithinPolygon* označava da smo unutar granica površine koje je *ARPlaneManager* detektirao. Nakon što se pozicija korisnikovog dodira na zaslonu projicira u scenu pomoću *raycast*-a, provjerava se nalazi li se na tom mjestu u sceni element korisničkog sučelja - ako se nalazi, na tom mjestu se ne instancira model nego se obavi pripadajuća funkcionalnost sučelja. U varijablu *hitPose* spremaju se informacije o pogotku, kao što udaljenost, položaj, rotacija i sl. Model se instancira na mjestu pogotka u sceni ukoliko već nije instanciran. U suprotnom, manipulira



## Poglavlje 4. Implementacija aplikacije EduAR

se njegovim položajem prateći dodir prsta na zaslonu. Kada je korisnik zadovoljan položajem instanciranog modela, zaključa se njegova pozicija na način da se one-moguće ažuriranja ARPlaneManager-a nakon čega se može započeti s pripadajućim intrigirajućim edukacijskim aktivnostima.

### 4.5.2 Edukacijske aktivnosti

Prednosti korištenja proširene i virtualne stvarnosti u edukaciji u odnosu na klasične načine obrazovanja su to što nude iskustvo koje traži fizičku prisutnost i interakciju, odnosno mogućnost učenja djelovanjem. Upravo to je bila motivacija za razvijanje nekoliko edukacijskih aktivnosti u obliku igara, koje provjeravaju učenikovo znanje kroz različite modalitete interakcije u proširenoj stvarnosti.

#### Virtualna slagalica

Najveća prednost korištenja digitalne slagalice je mogućnost kombiniranja zabavne i interaktivne metode podučavanja s edukativno vrijednom nastavnom cjelinom. Učenici istovremeno rješavaju slagalicu, uče i vježbaju.

Virtualna slagalica implementirana je na način da se od slike naprave međusobno povezani dijelovi od kojih svaki ima dio slike; puzzle. Prikazana je na Slici 4.6. Kada se ti dijelovi sastave, daju potpunu sliku. Svaka puzzla je kreirana koristeći *sprite*-ove. *Sprite*-ovi su jednostavni 2D grafički objekti koji služe za prikaz 2D elemenata poput slika. Svako puzzle pridruži se skripta *RandomPlacementPieces.cs*. Ta skripta pamti početni, ispravan položaj puzzle kojoj je pridružena te, u trenutku kada se virtualna slagalica renderira u scenu, puzzle nasumično rasporedi unutar bloka (GameObject container). Metoda za nasumičan raspored puzzle prikazana je na Slici 4.4.

Puzzle zatim, jednu po jednu, koristeći akciju 'povuci i spusti' pokušamo posložiti dok svaka puzzla nije na svom pravom mjestu. Njena implementacija prikazana je na Slici 4.5. Zadatak je posložiti sve puzzle u zadanu sliku. Svaka puzzla koja se trenutno 'povlači' prikazana je iznad ostalih koristeći *SortingLayer* koji omogućuje jednostavno postavljanje redosljeda više *sprite*-ova. Ako smo puzzlu smjestili

## Poglavlje 4. Implementacija aplikacije EduAR

```
void RandomizePosition()
{
    float pieceSizeX = GetComponent<SpriteRenderer>().bounds.size.x;
    float pieceSizeZ = GetComponent<SpriteRenderer>().bounds.size.z;

    Vector3 center = container.GetComponent<MeshRenderer>().bounds.center;
    Vector3 size = container.GetComponent<MeshRenderer>().bounds.size;
    Vector3 corner = -new Vector3((size.x / 2) - pieceSizeX, 0, (size.z / 2) - pieceSizeZ);

    transform.position = new Vector3
    (
        Random.Range(center.x - corner.x, center.x + corner.x),
        transform.position.y,
        Random.Range(center.z - corner.z, center.z + corner.z)
    );
}
```

Slika 4.4 Metoda za nasumičan raspored puzzli

na pravo mjesto u trenutku kako ju 'spustimo', ona se zaključa i nije ju više moguće pomaknuti. U suprotnom, vrati se na početno mjesto i pokušamo ponovno. To možemo provjeriti koristeći metodu *Vector3.Distance(correctPosition, updatedPosition)* u kojoj uspoređujemo ispravan položaj i položaj pomaknute puzzle. Za detekciju povlačenja prsta po ekranu koristi se *Input.GetTouch()* metoda kojom dobijemo strukturu koja opisuje status prsta koji dodiruje zaslon. Zatim provjerimo je li dodir ekrana započeo (*TouchPhase.Began*) ili završio (*TouchPhase.Ended*) te u međuvremenu izvršavamo funkcionalnost 'povlačenja'. Pomoću već poznatog *raycast*-identificiramo puzzlu koju je korisnik preko ekrana dodirnuo, te njezin položaj mijenjamo na način da prati položaj prsta na ekranu. Nakon što se riješi slagalice, postavi se pitanje vezano uz sadržaj sa slagalice na koje je potrebno točno odgovoriti kako bi se nastavilo dalje.

### Kviz 'Kotrljanje loptice'

Sljedeća aktivnost je kviz 'Kotrljanja loptice' prikazan na Slici 4.9. Na ekranu je prikazano pitanje s tri ponuđena odgovora. Loptica se nalazi na površini na kojoj se nalaze 3 rupe. Svaka rupa označava jedan odgovor. Igra se dok loptica ne uđe u rupu s točnim odgovorom. Loptica se kotrlja pomoću ulaznih parametara koristeći senzor - akcelerometar. Osi zakretanja mobilnog uređaja prikazane su na Slici 4.7.

## Poglavlje 4. Implementacija aplikacije EduAR

```
void Update()
{
    if (Input.touchCount > 0)
    {
        Touch touch = Input.GetTouch(0);
        touchPosition = touch.position;

        if (touch.phase == TouchPhase.Began)
        {
            Ray ray = Camera.main.ScreenPointToRay(touch.position);
            RaycastHit hitObject;

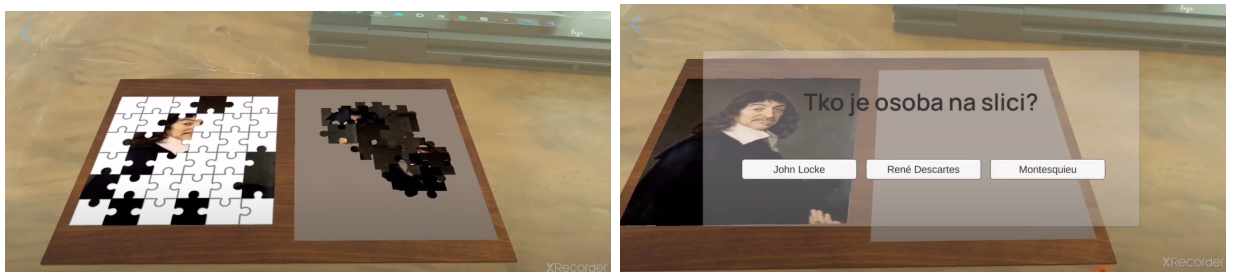
            if (Physics.Raycast(ray, out hitObject))
            {
                if (hitObject.transform.name.Contains("Piece"))
                {
                    if (!hitObject.transform.GetComponent<RandomPlacementPieces>().IsInRightPosition)
                    {
                        onTouchHold = true;
                        placedObject = hitObject.collider.gameObject;
                        placedObject.GetComponent<SortingGroup>().sortingOrder = orderInLayer;
                        orderInLayer++;
                    }
                }
            }
            touchPosition = touch.position;
        }

        if (touch.phase == TouchPhase.Ended)
        {
            onTouchHold = false;
        }
    }

    if(!_arRaycastManager.Raycast(touchPosition, hits, UnityEngine.XR.ARSubsystems.TrackableType.PlaneWithinPolygon))
    {
        Pose hitPose = hits[0].pose;

        if (onTouchHold)
        {
            placedObject.transform.position = new Vector3(hitPose.position.x, placedObject.transform.position.y, hitPose.position.z);
        }
    }
}
```

Slika 4.5 Metoda za akciju ‘povuci i spusti’

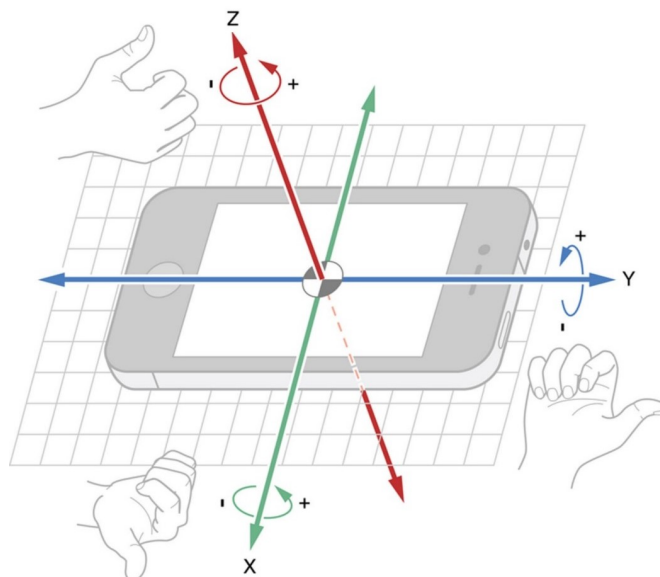


Slika 4.6 Virtualna slagalica

U Unity-u, *Input.acceleration* predstavlja posljednje izmjereno linearno ubrzanje uređaja u trodimenzionalnom prostoru. U ovom dijelu aplikacije, koristi se za praćenje

## Poglavlje 4. Implementacija aplikacije EduAR

promjene nagiba uređaja pomoću kojeg mijenjamo položaj loptice i imitiramo njezino kotrljanje.



Slika 4.7 Osi zakretanja mobilnog uređaja

Unutar `GameObject`-a loptice potrebno je dodati `Rigidbody` komponentu koja kontrolira položaj i gibanje objekta putem simulacije fizike kako bi se objekt ponašao kao u stvarnom svijetu (npr. sudaranje s objektima). `Rigidbody` također ima API za skriptiranje koji omogućuje primjenu sila na objekt (ulazni podaci s akcelerometra) na fizički realističan način (kotrljanje loptice i postupno ubrzavanje). U skripti se preporučuje funkcija `FixedUpdate` kao mjesto za primjenu sila i promjenu postavki `Rigidbody`-a (za razliku od `Update`, koji se koristi za većinu drugih zadataka ažuriranja `frame`-a). Razlog tome je što se ažuriranja fizike provode u izmjerenim vremenskim koracima koji se ne podudaraju s ažuriranjem `frame`-a.

Metodu `Rigidbody.AddForce(Vector3 movement, ForceMode mode)` koristimo za primjenu sile na lopticu prikazano na Slici ???. Loptica će se kotrljati prateći promjenu horizontalnog i vertikalnog nagiba mobilnog telefona od početka igre. Također možemo manipulirati i brzinom kotrljanja loptice koristeći varijablu `speed`.

## Poglavlje 4. Implementacija aplikacije EduAR

```
private void FixedUpdate()
{
    moveHorizontal = Input.acceleration.x - initHorizontal;
    moveVertical = Input.acceleration.y - initVertical;

    Vector3 movement = new Vector3(moveHorizontal, 0.0f, moveVertical);
    rigidBody.AddForce(speed * movement, ForceMode.Acceleration);
}
```

Slika 4.8 Funkcija za kotrljanje loptice korištenjem očitavanja akcelerometra

Koristeći *Collider* komponentu implementiramo interakcije i kolizije između elemenata u sceni. Kada se *GameObject* sudari s drugim *GameObject*om koji posjeduje *Collider* komponentu, Unity poziva *OnTriggerEnter(Collider other)*. Na taj način možemo saznati u koju rupu je loptica upala i predstavlja li ta rupa točan odgovor, tj. nastavljamo li dalje sa sljedećom aktivnošću. U slučaju netočnog odgovora loptica se vrati na početno mjesto i pokušamo ponovno.



Slika 4.9 Kviz 'Kotrljanje loptice'

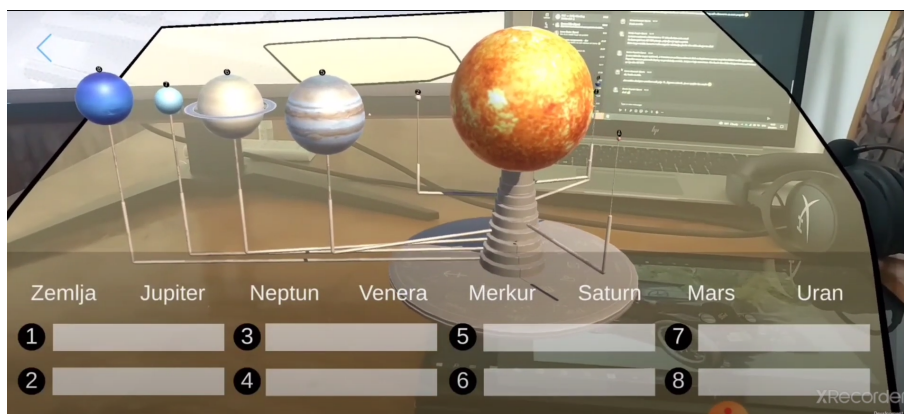
### Povezivanje pojmova s animacije

Posljednja aktivnost jest povezivanje pojmova numeriranih na animaciji prikazana na Slici 4.10. Dobro osmišljene animacije su izvrsna pomoć učiteljima kada je riječ

#### Poglavlje 4. Implementacija aplikacije EduAR

o objašnjavanju i vizualiziranju složenih koncepata [25].

Animacije korištene u aplikaciji preuzete su sa Sketchfab platforme te uređene u Unity-u kako bi numerirali željene pojmove. Animacije su renderirane koristeći Animator komponentu koja povezuje animaciju s GameObject-om i na taj način se renderira u sceni. U ovoj aktivnosti također koristimo tehniku ‘povuci i spusti’, u ovom slučaju nad elementima korisničkog sučelja. Elementi korisničkog sučelja sadržani su unutar Canvas komponente. Canvas ima postavku *Render Mode* (način renderiranja) koju koristimo za renderiranje u prostoru zaslona ili u stvarnom okruženju. U ovom slučaju koristi se *Screen Space - Overlay* - ovaj način renderiranja postavlja elemente korisničkog sučelja na zaslon prikazan na vrhu scene. Ako se promijeni veličina zaslona ili razlučivost, Canvas će se automatski prilagoditi. Na dnu ekrana nalazi se panel u kojem su prikazani pojmovi koje je potrebno odvući u polje s pripadajućim brojem, tj. potrebno je povezati pojam sa brojem koji ga predstavlja na animaciji. Kao i dosad, koristimo *raycast* za povlačenje pojmova prateći prst na ekranu i *Collider* komponentu za definiranje je li pojam na točnom mjestu. Ukoliko su sva polja popunjena, oni pojmovi koji se nalaze na dobrim mjestima se vraćaju na svoju početnu poziciju. Igra završava tek kada se svi pojmovi poslože na točno mjesto.



Slika 4.10 Povezivanje pojmova s animacije

## Poglavlje 5

# Istraživanje prihvatljivosti AR tehnologije u edukacijskom kontekstu

### 5.1 Cilj istraživanja

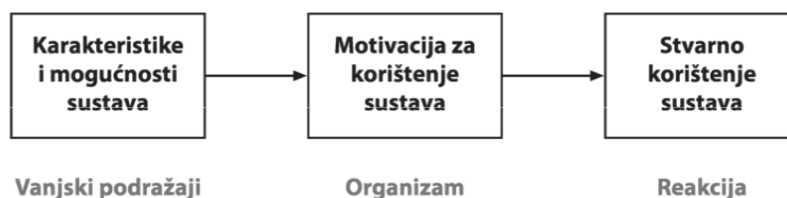
Prihvatanje novih tehnologija, poput korištenja proširene stvarnosti u edukaciji i učenju, istraživačko je područje od značajne važnosti ukoliko želimo saznati u kojoj mjeri će nova tehnologija biti prihvaćena i korištena. Cilj ovog istraživanja je ispitati odnos namjere korištenja proširene stvarnosti u edukaciji koju određuju 3 faktora: očekivana korisnost, očekivana jednostavnost uporabe i stav prema korištenju primjenjujući model prihvaćanja tehnologije (engl. *Technology acceptance model* - TAM). Sama odluka o korištenju sustava proizlazi iz namjere korištenja sustava na koju utječe očekivana korisnost i lakoća korištenja.

### 5.2 Model prihvaćanja tehnologije

S rastućim tehnološkim potrebama 1970-ih i sve većim neuspjehom usvajanja informacijskih sustava u organizacijama, predviđanje korištenja sustava postalo je područje interesa mnogih istraživača.

Međutim, većina provedenih studija nije uspjela proizvesti pouzdane mjere koje bi

mogle objasniti prihvaćanje ili odbijanje sustava. Godine 1985. Fred Davis predložio je model prihvaćanja tehnologije u svom doktorskom radu na MIT-u prikazan na Slici 5.1. Predložio je da se korištenje sustava može objasniti ili predvidjeti motivacijom korisnika, na koju izravno utječe vanjski podražaj koji se sastoji od karakteristika i mogućnosti stvarnog sustava [26].



Slika 5.1 Konceptualni model prihvaćanja tehnologije

Oslanjajući se na dotad razvijene metode poput teorije razumnog djelovanja (engl. *Theory of Reasoned Action* - TRA), Davis (1986.) je usavršio model prihvaćanja tehnologije koji se konkretnije bavi predviđanjem prihvatljivosti informacijskog sustava. Svrha ovog modela je predvidjeti prihvatljivost nove tehnologije i identificirati modifikacije koje se moraju unijeti u sustav kako bi on bio prihvatljiv korisnicima. Ovaj model sugerira da prihvatljivost informacijskog sustava određuju tri glavna čimbenika:

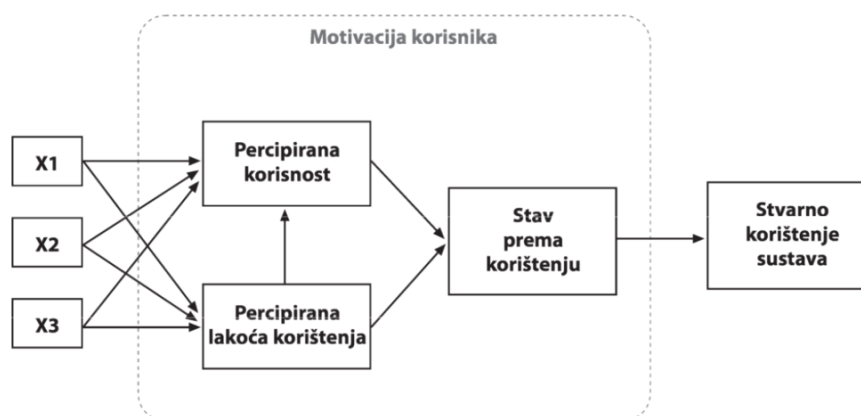
1. Očekivana (percipirana) jednostavnost uporabe (engl. *Perceived Ease of Use*, **PEOU**)
2. Očekivana (percipirana) korisnost (engl. *Perceived Usefulness*, **PU**)
3. Stav prema korištenju (engl. *Attitude Toward Using*, **ATU**)

Percipirana korisnost definira se kao stupanj do kojeg osoba vjeruje da će korištenje sustava poboljšati njegovu učinkovitost. Percipirana jednostavnost uporabe odnosi se na stupanj do kojeg osoba vjeruje da će korištenje sustava biti bez napora, dok se kao glavnu determinantnu namjere korištenja (engl. *Behavioural Intention to Use the system* - **BIU**) sustava smatra stav korisnika prema korištenju. [26].



## Poglavlje 5. Istraživanje prihvatljivosti AR tehnologije u edukacijskom kontekstu

Model prihvaćanja tehnologije implicira da je korištenje informacijskog sustava određeno namjerom ponašanja, a da je namjera ponašanja određena stavom osobe prema korištenju sustava i percepcijom njegove korisnosti. Prema Davisu, stav pojedinca nije jedini čimbenik koji određuje njegovu upotrebu sustava, već se temelji i na utjecaju koji može imati na njegovu izvedbu. Stoga, velika je vjerojatnost da će korisnik koristiti informacijski sustav ako uvidi da će sustav poboljšati njegovu učinkovitost. Osim toga, model prihvaćanja tehnologije pretpostavlja izravnu vezu između percipirane korisnosti i percipirane jednostavnosti korištenja. Uz dva sustava koji nude iste značajke, korisnik će smatrati korisnijim onaj koji mu je lakši za korištenje [26]. Model prihvaćanja tehnologije prikazan je na Slici 5.2.



Slika 5.2 Model prihvaćanja tehnologije

Međutim, zanimljivo je primijetiti da istraživanje koje je Davis (1989.) predstavio kako bi potvrdio svoj model, pokazuje da je veza između namjere korištenja sustava i percipirane korisnosti jača od percipirane jednostavnosti korištenja. Prema ovom modelu, stoga možemo očekivati da je čimbenik koji najviše utječe na korisnika percipirana korisnost alata [26].

Model prihvaćanja tehnologije je u kratkom razdoblju postao vodeći model za predviđanje korištenja sustava te je primijenjen u velikom broju istraživanja koja se bave pitanjem prihvaćanja tehnologije.

## 5.3 Primjena TAM-a

### 5.3.1 Anketa

Anketa je istraživački instrument koji se sastoji od skupa pitanja ili drugih vrsta upita kojima je cilj prikupiti informacije od ispitanika te se koristi kao glavni mjerni instrument ovog istraživanja. Razvijena je korištenjem postojećih ljestvica iz prethodnih TAM istraživanja te je modificirana gdje je to potrebno. Anketa se nalazi u Prilogu A.

U ovom istraživanju sudjelovale su 22 osobe (18 žena i 4 muškarca). Prosječna dob bila je  $23 \pm 2$  godine. Većina njih nije imala prethodnog iskustva s proširenom stvarnošću. Rješavanje ankete trajalo je oko 10 minuta. Anketa se sastojala od 5 demografskih pitanja i po 5 pitanja za svaku od varijabli iz modela (Slika 5.3) na koje su ispitanici odgovarali izražavajući svoj stupanj slaganja ili ne slaganja. Korištena je Likertova ljestvica sa pet stupnjeva određena skalom od 1-5:

1. u potpunosti se ne slažem
2. ne slažem se
3. niti se slažem niti se ne slažem
4. slažem se
5. u potpunosti se slažem.

Čestice koje su se koristile u anketi navedene su u tablicama u nastavku (Očekivana korisnost - Tablica 5.1, Očekivana jednostavnost uporabe - Tablica 5.2, Stav prema korištenju - Tablica 5.3, Namjera korištenja - Tablica 5.4).

Pitanja iz ankete imaju nasumičan raspored kako bi izbjegli tzv. učinak reda (engl. *order effect*). Za kreiranje i administraciju anketa koristila se platforma Google Forms koja omogućuje izvoz podataka u .csv format potreban za analizu rezultata u programskom alatu SPSS.

Poglavlje 5. Istraživanje prihvatljivosti AR tehnologije u edukacijskom kontekstu

Tablica 5.1 Čestica "Očekivana korisnost"

Konstrukt	Oznaka čestice	Mjerne čestice
<b>Očekivana korisnost (OK)</b>	Q2	Korištenje proširene stvarnosti u edukaciji povećalo bi moju učinkovitost u učenju.
	Q7	Korištenje proširene stvarnosti u edukaciji poboljšalo bi uspješnost učenja.
	Q11	Korištenje proširene stvarnosti u edukaciji povećalo bi moju produktivnost u nastavi.
	Q13	Korištenje proširene stvarnosti u edukaciji poboljšalo bi ishode učenja.
	Q18	Korištenje proširene stvarnosti u edukaciji smatram korisnim.

Tablica 5.2 Čestica "Očekivana jednostavnost uporabe"

Konstrukt	Oznaka čestice	Mjerne čestice
<b>Očekivana jednostavnost uporabe (OJU)</b>	Q5	Općenito, smatram da je proširena stvarnost u edukaciji jednostavna za korištenje.
	Q9	Jednostavno bih se naučio/la koristiti proširenom stvarnosti u edukaciji.
	Q12	Interakcija sa proširenom stvarnosti u edukaciji izgleda jasno i razumljivo.
	Q14	Smatram da se lako postaje vješt u korištenju proširene stvarnosti u edukaciji.
	Q20	Smatram da je proširena stvarnost u edukaciji praktična za interakciju.

Tablica 5.3 Čestica "Stav prema korištenju"

Konstrukt	Oznaka čestice	Mjerne čestice
<b>Stav prema korištenju (SPK)</b>	Q1	Općenito imam pozitivan stav prema korištenju proširene stvarnosti u edukaciji.
	Q6	Vjerujem da je korištenje proširene stvarnosti za rad na nastavi/kolegijima dobra ideja.
	Q10	Sviđa mi se ideja korištenja proširene stvarnosti u edukaciji.
	Q15	Smatram da bi korištenje sustava proširene stvarnosti u edukaciji donijelo veliko zadovoljstvo.
	Q19	Smatram da bih uživao/la sam u korištenju proširene stvarnosti u edukaciji.

### 5.3.2 Hipoteze

Uzročne veze između očekivane korisnosti (OK), očekivane jednostavnosti uporabe (OJU), stava prema korištenju (SPK) i namjere korištenja (NK) navedene su u TAM-

Tablica 5.4 Čestica "Namjera korištenja"

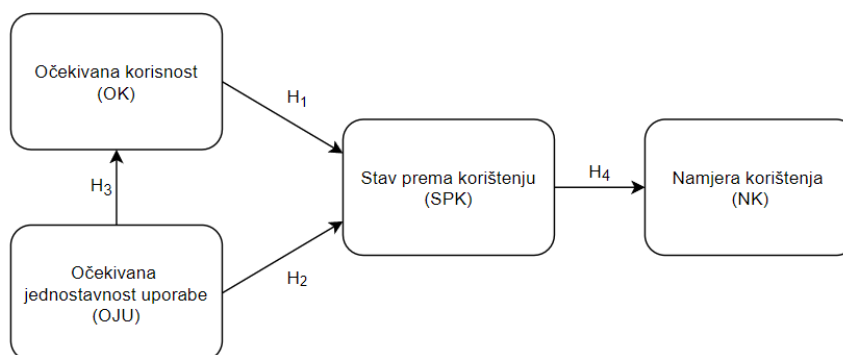
Konstrukt	Oznaka čestice	Mjerne čestice
<b>Namjera korištenja (NK)</b>	Q3	Namjeravam koristiti proširenu stvarnost tijekom učenja i/ili edukacije ukoliko mi se ukaže prilika.
	Q4	Namjeravam koristiti proširenu stvarnost za svoju nastavu/kolegije.
	Q8	Namjeravam koristiti proširenu stvarnost u edukaciji što je češće moguće.
	Q16	Planiram koristiti proširenu stvarnost u kontekstu edukacije u budućnosti.
	Q17	Preporučio/la bih drugima korištenje proširene stvarnosti u edukaciji.

u kako bi odrazile novo okruženje korištenja proširene stvarnosti. OK se opisuje kao stupanj do kojeg pojedinac vjeruje da bi korištenje proširene stvarnosti u edukaciji poboljšalo njegove/njezine ishode učenja i izvedbu na nastavi/kolegiju, dok se OJU odnosi na stupanj do kojeg pojedinac vjeruje da bi korištenje sustava bilo bez kognitivnog napora.

TAM predlaže da je stvarna upotreba sustava određena namjerom korištenja sustava, koja je određena stavom korisnika prema korištenju sustava i njegovom percipiranom korisnošću i jednostavnošću uporabe. Zajedno, OK i OJU imaju značajan utjecaj na SPK, što zauzvrat utječe na NK. Osim toga, pokazalo se da OJU značajno utječe na OK. Slično, stav prema korištenju utječe na bihevioralnu namjeru korištenja sustava. U skladu s ciljem istraživanja, hipoteze koje se ispituju su sljedeće:

- H1: Očekivana korisnost će imati pozitivan utjecaj na stav prema korištenju.
- H2: Očekivana jednostavnost uporabe će imati značajan pozitivan utjecaj na stav prema korištenju.
- H3: Očekivana jednostavnost uporabe će imati značajan pozitivan utjecaj očekivanu korisnost.
- H4: Stav prema korištenju će imati značajan pozitivan utjecaj na korisnikovu namjeru korištenja proširene stvarnosti u edukaciji.

Konceptualni model istraživanja i navede hipoteze prikazane su na Slici 5.3.



Slika 5.3 Konceptualni model istraživanja i hipoteze

## 5.4 Rezultati i analiza

Za provedbu analize nad prikupljenim podacima koristila se besplatna probna verzija programske platforme IBM SPSS Statistics.

### 5.4.1 Potvrдна faktorska analiza (CFA)

Prvi korak u analizi rezultata je ispitati pouzdanost pojedine čestice na način da se provede potvrдна faktorska analiza (engl. *Confirmatory Factor Analysis*, CFA) i procjena pouzdanosti unutarne konzistencije (engl. *internal consistency reliability*) koju je moguće utvrditi preko Cronbachovog alfa koeficijenta (engl. *Cronbach's alpha*).

Valjanost konstrukta procijenjena je pomoću potvrдне faktorske analize kako bi se testiralo uklapanje podataka u model. Tablica 5.5 prikazuje faktorska opterećenja (engl. *factor loadings*) upitnika o korištenju proširene stvarnosti u edukaciji koji koristi pojedinog sudionika u anketi kao jedinicu analize. Faktor opterećenja za svaku stavku trebao bi biti 0.6 ili više. Rezultati potvrдне faktorske analize pokazali su da su skale ne samo pouzdane, već i valjane za faktore koji su proučavani [27].

Cronbachova alfa (ili koeficijent alfa), mjeri pouzdanost, odnosno unutarnju kon-

Poglavlje 5. Istraživanje prihvatljivosti AR tehnologije u edukacijskom kontekstu

Tablica 5.5 Rezultati CFA - faktorska opterećenja

Oznaka čestice	Faktorska opterećenja			
	Očekivana korisnost (OK)	Očekivana jednostavnost uporabe (OJU)	Stav prema korištenju (SPK)	Namjera korištenja (NK)
Q2	0.89			
Q7	0.87			
Q11	0.86			
Q13	0.91			
Q18	0.95			
Q5		0.89		
Q9		0.87		
Q12		0.86		
Q14		0.91		
Q20		0.90		
Q1			0.88	
Q6			0.94	
Q10			0.92	
Q15			0.89	
Q19			0.93	
Q3				0.87
Q4				0.92
Q8				0.89
Q16				0.87
Q17				0.90

zistentnost. Pomoću Cronbach alfe saznajemo koliko je skup pitanja blisko povezan kao grupa. Prihvaćena vrijednost Cronbach alfe je 0.7, no prihvaćaju se i vrijednosti iznad 0.6 [28]. Rezultati mjerenja Cronbachove alfe prikazani su na tablici 5.6. Sve mjere korištene u ovom istraživanju pokazale su izvrsnu unutarnju kozistentnost.

Tablica 5.6 Cronbach alpha koeficijent pouzdanosti

Faktor	Broj čestica	Cronbach alpha
Očekivana korisnost (OK)	5	0.953
Očekivana jednostavnost uporabe (OJU)	5	0.958
Stav prema korištenju (SPK)	5	0.948
Namjera korištenja (NK)	5	0.952

Prosječna izlučena (ekstrahirana) varijanca (engl. *Avarage Variance Extracted*, AVE) je mjera za procjenu konvergentne valjanosti. Konvergentna valjanost se koristi kada se uspoređuju različiti, ali povezani konstrukti. Za adekvatnu konvergentnu valjanost, preporučuje se AVE od najmanje 0.50 [29]. Tablica 5.7 prikazuje prosječnu

izlučenu varijancu za svaki čimbenik i pokazuje da su pitanja za svaki faktor bila u korelaciji sa svakim drugim, ali su bila ispod praga za međukorelaciju s drugim čimbenicima. Pošto su sve vrijednosti izlučene varijance veće od 0.5, može se potvrditi konvergetna valjanost konstrukta.

Tablica 5.7 Prosječna ekstrahirana varijanća

Faktor	OK	OJU	SPK	NK
Očekivana korisnost (OK)	.517			
Očekivana jednostavnost uporabe (OJU)		.552		
Stav prema korištenju (SPK)			.561	
Namjera korištenja (NK)				.585

Ovi rezultati pokazuju da je predloženi mjerni model pokazao dobru usklađenost s prikupljenim podacima. Stoga možemo nastaviti s testiranjem hipoteza.

#### 5.4.2 Modeliranje strukturalnih jednadžbi i testiranje hipoteza

U ovom istraživanju korišten je pristup modeliranja strukturalnih jednadžbi (engl. *Structural Equation Modeling, SEM*) kako bi razvili model koji predstavlja odnose između četiri čimbenika: očekivane korisnosti (OK), očekivane jednostavnosti uporabe (OJU), stavova prema korištenju (SPK) i namjere korištenja (NK) proširene stvarnosti u edukaciji.

Modeliranje strukturalnih jednadžbi je skup statističkih tehnika koje se koriste za mjerenje i analizu odnosa između jedne ili više zavisnih (endogenih) i nezavisnih (egzogenih) varijabli. Također, modeliranje strukturalnih jednadžbi nam služi za identificiranje izravnih i neizravnih utjecaja između varijabli. Izravni utjecaj predstavljaju neposredni odnosi između zavisnih i nezavisnih varijabli, dok se do neizravnog utjecaja dolazi kada jedna nezavisna varijabla ima utjecaj na zavisnu preko neke druge varijable [30].

Strukturalni model i hipoteze ispitani su računanjem relevantnosti koeficijenata puta (engl. *path coefficients*) i njihovih statističkih signifikantnosti.

## Poglavlje 5. Istraživanje prihvatljivosti AR tehnologije u edukacijskom kontekstu

Koeficijent puta pokazuje izravan učinak varijable za koju se pretpostavlja da je uzrok na drugu varijablu. Njegova vrijednost, tj. težina označava relativnu statističku signifikantnost; ako je jedan koeficijent puta veći od drugog, veći je i njegov utjecaj na zavisnu varijablu.

Za procjenu signifikantnosti, u ovom istraživanju (kao i u većini njih), koristila se p-vrijednost. Kako bi se odnos između varijabli smatrao statistički značajnim, p-vrijednost mora biti manja od 0.05., tj. od pretpostavljenog stupnja signifikantnosti koji iznosi 5%. Ukoliko je to slučaj, hipoteza se potvrđuje, a nulta hipoteza odbacuje.

U tablici 5.8 navedeni su procijenjeni koeficijenti korelacije i njihove statističke značajnosti u modelu istraživanja. Najizraženiju povezanost sa zavisnom varijablom „namjerom korištenja“ ima varijabla stav prema korištenju (SPK), a nešto slabije izraženu povezanost ima varijabla očekivana korisnost (OK).

Tablica 5.8 Procijenjeni koeficijenti korelacije i njihova signifikantnost u modelu istraživanja

Hipoteza	Povezanost	Koeficijent korelacije $\beta$	T-statistika	p-vrijednost ( $p < 0.05$ )	Hipoteza podržana
H1	OK $\rightarrow$ SPK	0.211	4.456	0.000	Da
H2	OJU $\rightarrow$ SPK	0.109	1.731	0.084	Ne
H3	OJU $\rightarrow$ OK	0.335	2.654	0.008	Da
H4	SPK $\rightarrow$ NK	0.383	3.013	0.003	Da

Nakon izračuna signifikantnosti koeficijenata puta, možemo zaključiti da su tri od četiri koeficijenta puta unutaršnjeg modela statistički značajni, odnosno potvrđene su tri hipoteze od ukupno četiri.

Nakon provedbe analize podataka i potvrđene pouzdanosti, konvergentne i diskriminantne valjanosti i testiranja modela koristeći stupanj signifikantnosti od 5%, mogu se donijeti zaključci prikazani u Tablici 5.9.

Analiza vrijednosti parametara strukturalnog modela pokazala je da se varijabla „Očekivana korisnost“ pokazala kao statistički značajan čimbenik spram „Stava prema korištenju“, za razliku od utjecaja „Očekivane jednostavnosti upotrebe“ koja se nije pokazala prediktivnom prema „Stavu prema korištenju“. Kao statistički značajan čimbenik pokazao se „Stav prema korištenju“ prema „Namjeri korištenja“ proširene



Poglavlje 5. Istraživanje prihvatljivosti AR tehnologije u edukacijskom kontekstu

Tablica 5.9 Potvrđene i nepotvrđene hipoteze istraživanja

Hipoteza	Povezanost	Potvrđena hipoteza
H1	Pokazuje se da je "Očekivana korisnost" pozitivno i značajno povezana sa "Stavom prema korištenju" proširene stvarnosti u edukaciji ( $\beta = 0.211$ , $p = 0.000$ ) te je H1 potrebno prihvatiti.	Da
H2	Pokazuje se da je "Očekivana jednostavnost uporabe" pozitivno, ali ne i značajno povezana sa "Stavom prema korištenju" proširene stvarnosti u edukaciji ( $\beta = 0.109$ , $p = 0.084$ ) te je H2 potrebno odbaciti.	Ne
H3	Pokazuje se da je "Očekivana jednostavnost uporabe" pozitivno i značajno povezana s "Očekivanom korisnosti" proširene stvarnosti u edukaciji ( $\beta = 0.335$ , $p = 0.008$ ) te je H3 potrebno prihvatiti.	Da
H4	Pokazuje se da je "Stav prema korištenju" pozitivno i značajno povezan s "Namjerom korištenja" proširene stvarnosti u edukaciji ( $\beta = 0.383$ , $p = 0.003$ ) te je H4 potrebno prihvatiti.	Da

stvarnosti u edukaciji.

Nakon provedene analize, utjecaj očekivane jednostavnosti uporabe prema očekivanoj korisnosti i utjecaj očekivane korisnosti i stava prema korištenju pokazao se naročito važan u kontekstu namjere korištenja, tj. stvarnog korištenja sustava proširene stvarnosti u edukaciji za poboljšanje ishoda učenja i produktivnosti u nastavi.

Rezultati istraživanja predviđaju da prihvatljivost proširene stvarnosti u edukacijskom kontekstu raste kako raste pozitivan stav prema korištenju sustava odnosno korisnost sustava zbog njihove signifikantne povezanosti, kao i rast jednostavnosti uporabe zbog njezine signifikantne povezanosti s korisnošću sustava.

# Poglavlje 6

## Zaključak

Cilj ovog rada bio je opisati koncept i argumentirati važnost primjene proširene stvarnosti u edukaciji. Prikazane su osnovne tehnologije, alati i komponente koje se koriste u implementaciji sustava i višeplatformskih aplikacija proširene stvarnosti. U praktičnom dijelu rada predložen je ogledni sustav za interaktivno e-učenje koji omogućuje angažiranu interakciju sa sadržajem prezentiranim u proširenoj stvarnosti. Navedeni sadržaj obogaćuje nastavne materijale virtualnim elementima i intrigirajućim edukacijskim aktivnostima. Prvi dio aplikacije koristi proširenu stvarnost za obogaćivanje nastavnih materijala interaktivnim virtualnim elementima koristeći Vuforia platformu i tehnologiju prepoznavanja markera. Drugi dio aplikacije implementira interaktivne edukacijske aktivnosti u obliku provjere znanja tj. rješavanja zadataka koristeći proširenu stvarnost. Ovaj dio aplikacije koristi detektiranje površine i postavljanje modela na površinu dodirrom na zaslon mobilnog uređaja. Implementirana su 3 oblika edukacijskih aktivnosti: virtualna slagalica, kviz ‘Kotrljanje loptice’ i povezivanje pojmova s animacije.

Interaktivni edukativni sadržaj i učenje u AR-u može poboljšati iskustvo učenja i imati značajan utjecaj na učenikov napredak jer drži učenike angažiranim koristeći komponente praktičnog učenja. Kombinacija stvarnog i virtualnog svijeta u AR-u stvara mogućnosti za učitelje da pomognu učenicima shvatiti apstraktne koncepte, a obogaćeni nastavni materijali mogu potaknuti učenike na učenje. Kako oprema postaje pristupačnija i škole imaju veći pristup tehnologiji, raste i interes za korištenje virtualne i proširene stvarnosti kao obrazovnih alata.

## *Poglavlje 6. Zaključak*

Provedeno je i istraživanje kojim se ispituje prihvaćanje nove tehnologije, proširene stvarnosti u edukaciji, kako bi saznali u kojoj mjeri će nova tehnologija biti prihvaćena i korištena primjenom modela prihvaćanja tehnologije. Podaci su prikupljeni anketnim upitnikom te su analizirani korištenjem faktorske analize, modeliranjem strukturalnih jednadžbi i testiranjem hipoteza pomoću koeficijenata puta. Nakon provedene analize, utjecaj očekivane jednostavnosti uporabe prema očekivanoj korisnosti i utjecaj očekivane korisnosti i stava prema korištenju pokazao se naročito važan u kontekstu namjere korištenja, tj. stvarnog korištenja sustava proširene stvarnosti u edukativnom kontekstu.

Može se zaključiti da proširena stvarnost može donijeti proboj tradicionalnom obrazovnom sustavu transformirajući cjelokupno iskustvo učenja. Proširena stvarnost ima mogućnost promijeniti način na koji koristimo tehnologiju, a njezin potencijal u obrazovanju je očigledan.

# Bibliografija

- [1] P. Milgram, T. Haruo, A. Utsumi i F. Kishino, »ResearchGate,« 1994. [Mrežno]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/228537162\\_Augmented\\_reality\\_A\\_class\\_of\\_displays\\_on\\_the\\_reality-virtuality\\_continuum](https://www.researchgate.net/publication/228537162_Augmented_reality_A_class_of_displays_on_the_reality-virtuality_continuum). [Pokušaj pristupa 2021.].
- [2] —, "Što je AR, a što VR i kako nam tehnologija pomaže doživjeti stvarnost , Europska komisija", [https://ec.europa.eu/croatia/content/what-is-AR-what-VR-and-how-technology-helps-us-to-experience-reality\\_hr](https://ec.europa.eu/croatia/content/what-is-AR-what-VR-and-how-technology-helps-us-to-experience-reality_hr), [*Online*; posjeceno 3. listopada 2021.].
- [3] —, "Technologies in Minority Report, Wikipedia," [https://en.wikipedia.org/wiki/Technologies\\_in\\_Minority\\_Report](https://en.wikipedia.org/wiki/Technologies_in_Minority_Report), [*Online*; posjeceno 3. listopada 2021.].
- [4] —, "Sensorama, Wikipedia", <https://en.wikipedia.org/wiki/Sensorama>, [*Online*; posjeceno 3. listopada 2021.].
- [5] Kostov, Georgi. (2015). Fostering Player Collaboration Within a Multimodal Co-Located Game. 10.13140/RG.2.1.3865.7044.
- [6] Caudell, Thomas & Mizell, David. (1992). Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences. 2. 659 - 669 vol.2. 10.1109/HICSS.1992.183317.
- [7] —, "Best AR Devices for 2020, PaleBlue Corporate", <https://pale.blue/2020/02/03/best-ar-devices-for-2020/>, [*Online*; posjeceno 4. listopada 2021.].
- [8] "ARCore supported devices, ARCore", <https://developers.google.com/ar/devices>, [*Online*; posjeceno 4. listopada 2021.].

## Bibliografija

- [9] A. Turner, "How many smartphones are in the world?", <https://www.bankmycell.com/blog/how-many-phones-are-in-the-world>, [*Online*; posjećeno 4. listopada 2021.].
- [10] —, "Ultimate AR Comparison Guide: ARKit vs ARCore vs Vuforia vs AR Foundation, Circuit Stream", <https://circuitstream.com/blog/augmented-reality-guide/> [*Online*; posjećeno 15. listopada 2021.].
- [11] —, "Vuforia Augmented Reality SDK, Wikipedia", [https://en.wikipedia.org/wiki/Vuforia\\_Augmented\\_Reality\\_SDK](https://en.wikipedia.org/wiki/Vuforia_Augmented_Reality_SDK), [*Online*; posjećeno 15. listopada 2021.].
- [12] Facts, Mobile. 2016. "Topic: Mobile Gaming". Www.Statista.Com. <http://www.statista.com/topics/1906/mobile-gaming/>
- [13] "Radionica U Šibeniku: Storytelling I Proširena Stvarnost U Turizmu – Stara Dobra Priča I Nova Digitalna Vremena". 2016. Uhp.hr. <http://www.uhp.hr/clanak/radionica-u-sibeniku-storytelling-i-prosirena-stvarnost-u-turizmu--staradobra-prica-i-nova-digitalna-vremena-33490>
- [14] B. Marr, "The 10+ Best Real-World Examples Of Augmented Reality", <https://bernardmarr.com/the-10-best-real-world-examples-of-augmented-reality/>, [*Online*; posjećeno 16. listopada 2021.].
- [15] J. Tifler, "Augmented Reality in Marketing: 8 Current Examples", <https://dmexco.com/stories/augmented-reality-in-marketing-8-current-examples-2/>. [*Online*; posjećeno 16. listopada 2021.].
- [16] Wu, H.K., Lee, S.W.Y., Chang, H.Y., Liang, J.C.: Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Comput. Educ.* 62, 41–49 (2013), [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-58697-7\\_46](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-58697-7_46)
- [17] Kamarainen, A.M., Metcalf, S., Grotzer, T., Browne, A., Mazzuca, D., Tutwiler, M.S., Dede, C.: EcoMOBILE: Integrating augmented reality and probeware with environmental education field trips. *Comput. Educ.* 68, 545–556 (2013), <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360131513000572?via%3Dihub>
- [18] Wojciechowski, R., Cellary, W.: Evaluation of learners' attitude toward learning in ARIES augmented reality environments. *Comput. Educ.* 68, 570–585 (2013), <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360131513000535?via%3Dihub>

## Bibliografija

- [19] Yuen, Steve Chi-Yin; Yaoyuneyong, Gallayanee; and Johnson, Erik (2011) "Augmented Reality: An Overview and Five Directions for AR in Education," *Journal of Educational Technology Development and Exchange (JETDE)*: Vol. 4 : Iss. 1 , Article 11. DOI: 10.18785/jetde.0401.10 Available at: <https://aquila.usm.edu/jetde/vol4/iss1/11>
- [20] M. D. Shaw, "How Augmented Reality Will Bring Space Books to Life", <https://www.space.com/augmented-reality-space-books.html>, [*Online*; posjeceno 17. listopada 2021.].
- [21] M. Lynch, "10 awesome AR apps for the classroom, The Tech Edvocate", <https://www.thetechedvocate.org/10-awesome-ar-apps-for-the-classroom/>, [*Online*; posjeceno 17. listopada 2021.].
- [22] —, "Unity, Wikipedia", [https://en.wikipedia.org/wiki/Unity\\_\(game\\_engine\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Unity_(game_engine)), [*Online*; posjeceno 20. listopada 2021.].
- [23] K. Lee, "AR Foundation in Unity: Getting Started", <https://www.raywenderlich.com/14808876-ar-foundation-in-unity-getting-started>, [*Online*; posjeceno 20. listopada 2021.].
- [24] C. Wilkes, "Lean Touch, Assets Store", <https://assetstore.unity.com/packages/tools/input-management/lean-touch-30111#description>, [*Online*; posjeceno 25. listopada 2021.].
- [25] —, "Educational animation, Wikipedia", [https://en.wikipedia.org/wiki/Educational\\_animation](https://en.wikipedia.org/wiki/Educational_animation), [*Online*; posjeceno 25. listopada 2021.].
- [26] Chuttur, Mohammad, " Overview of the Technology Acceptance Model: Origins, Developments and Future Directions" (2009). All Sprouts Content. 290. [https://aisel.aisnet.org/sprouts\\_all/290](https://aisel.aisnet.org/sprouts_all/290)
- [27] Klačmer, M. (2020). Činitelji prihvaćanja javnih usluga e-participacije u Republici Hrvatskoj (Disertacija). Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:211:847258>
- [28] —, "What does Cronbach's alpha mean?, Institue for Digital research & Education, Statistical Consulting", <https://stats.idre.ucla.edu/spss/faq/what-does-cronbachs-alpha-mean/>, [*Online*; posjeceno 20. listopada 2021.].
- [29] —, "Average variance extracted, Wikipedia", [https://en.wikipedia.org/wiki/Average\\_variance\\_extracted](https://en.wikipedia.org/wiki/Average_variance_extracted), [*Online*; posjeceno 23. listopada 2021.].

*Bibliografija*

- [30] Beran, T.N., Violato, C. Structural equation modeling in medical research: a primer. BMC Res Notes 3, 267 (2010). <https://doi.org/10.1186/1756-0500-3-267>

# Sažetak

U ovome radu predstavljena je tehnologija proširene stvarnosti (AR), od osnovne definicije i klasifikacije, preko povijesti razvoja i primjene, sve do pregleda sklopovlja i programske potpore koji zajedno čine ovu tehnologiju mogućom. Poseban naglasak stavljen je na primjenu proširene stvarnosti kao novog medija u edukaciji te mogućnosti i prednosti koje ista donosi u navedenom okruženju. Opisani su programski alati, komponente i radni okviri koje se koriste u implementaciji sustava i višeplatformskih aplikacija proširene stvarnosti. Implementiran je ogledni sustav za interaktivno e-učenje koji u proširenoj stvarnosti omogućava interakciju s nastavnim materijalima obogaćenima virtualnim elementima i intrigirajućim edukacijskim aktivnostima. Primjenom modela prihvaćanja tehnologije (TAM) formalno je ispitana prihvatljivost sustava odnosno stav korisnika prema korištenju proširene stvarnosti u edukacijskom kontekstu.

***Ključne riječi*** — proširena stvarnost (AR), edukacija, AR Foundation, Model prihvaćanja tehnologije (TAM)

## Abstract

This thesis presents Augmented Reality (AR) technology, from the basic definition and classification, through the history of research and development, all the way to an overview of the hardware and software that together make this technology possible. Special emphasis is put on the utilization of Augmented Reality as a new medium in education and the opportunities and benefits that it brings in the related environment. The software tools, components, and frameworks used in the implementation of Augmented Reality systems and multi-platform applications are described. A pilot AR system for interactive e-learning has been implemented, which enables interaction with teaching materials enriched with virtual elements and intriguing educational activities. The Technology Acceptance Model (TAM) was used in order to formally examine the acceptability of the system, i.e. the users' attitude towards the use of Augmented Reality in the educational context.



*Keywords* — Augmented Reality (AR), education, AR Foundation, Technology Acceptance Model (TAM)

## Dodatak A

### Anketa - Korištenje proširene stvarnosti u edukaciji

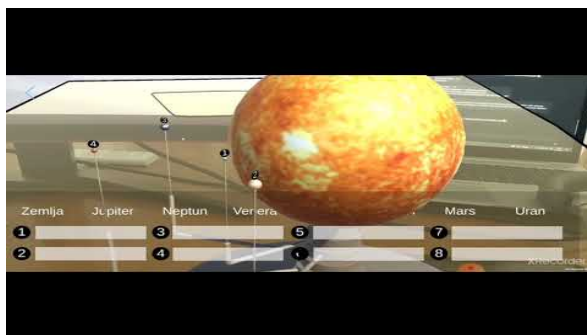
# Korištenje proširene stvarnosti u edukaciji

Poštovani, ljubazno Vas molim za desetak minuta Vašeg vremena za ispunjavanje anketnog upitnika kako biste mi pomogli u provođenju istraživanja. Istraživanje se provodi za

potrebe izrade diplomskog rada pod nazivom "Primjena proširene stvarnosti u kontekstu interaktivnog e-učenja" iz kolegija "Napredna korisnička sučelja".

Video prikazuje ogledni sustav korištenja proširene stvarnosti u edukaciji pod nazivom EduAR. Pitanja iz upitnika odnose se na aplikaciju iz videa. Zahvaljujem Vam na sudjelovanju u ovom istraživanju.

\* Required



[http://youtube.com/watch?](http://youtube.com/watch?v=fE8mh89CsoQ)

[v=fE8mh89CsoQ](http://youtube.com/watch?v=fE8mh89CsoQ)

1. Spol \*

*Mark only one oval.*

Žensko

Muško

Drugo

## 2. Dob \*

*Mark only one oval.*

- Ispod 20 godina
- 21-30 godina
- 31-40 godina
- 41-50 godina
- 51 godinu i više

## 3. Jeste li ikad koristili proširenu stvarnost?

*Mark only one oval.*

- Nikad
- Jednom
- Dva ili tri puta
- Više od 3 puta

## 4. Koja je vaša samoprocjena o korištenju proširene stvarnosti?

*Mark only one oval.*

- Nisko iskustvo
- Srednje iskustvo
- Veliko iskustvo

## 5. Što se tiče općenito tehnologije, kako biste sebe opisali?

*Mark only one oval.*

- Korisnik početnik
- Srednji korisnik
- Napredni korisnik

## Prva sekcija

6. Općenito imam pozitivan stav prema korištenju proširene stvarnosti u edukaciji. \*

Mark only one oval.

1 2 3 4 5

U potpunosti se ne slažem      U potpunosti se slažem

7. Korištenje proširene stvarnosti u edukaciji povećalo bi moju učinkovitost u učenju. \*

Mark only one oval.

1 2 3 4 5

U potpunosti se ne slažem      U potpunosti se slažem

8. Namjeravam koristiti proširenu stvarnost tijekom učenja i/ili edukacije ukoliko mi se ukaže prilika. \*

Mark only one oval.

1 2 3 4 5

U potpunosti se ne slažem      U potpunosti se slažem

9. Namjeravam koristiti proširenu stvarnost za svoju nastavu/kolegije. \*

Mark only one oval.

1 2 3 4 5

U potpunosti se ne slažem      U potpunosti se slažem

10. Općenito, smatram da je proširena stvarnost u edukaciji jednostavna za korištenje. \*

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
U potpunosti se ne slažem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	U potpunosti se slažem

### Druga sekcija

11. Vjerujem da je korištenje proširene stvarnosti za rad na nastavi/kolegijima dobra ideja. \*

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
U potpunosti se ne slažem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	U potpunosti se slažem

12. Korištenje proširene stvarnosti u edukaciji poboljšalo bi uspješnost učenja. \*

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
U potpunosti se ne slažem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	U potpunosti se slažem

13. Namjeravam koristiti proširenu stvarnost u edukaciji što je češće moguće. \*

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
U potpunosti se ne slažem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	U potpunosti se slažem

14. Jednostavno bih se naučio/la koristiti proširenom stvarnosti u edukaciji. \*

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
U potpunosti se ne slažem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	U potpunosti se slažem

15. Sviđa mi se ideja korištenja proširene stvarnosti u edukaciji. \*

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
U potpunosti se ne slažem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	U potpunosti se slažem

### Treća sekcija

16. Korištenje proširene stvarnosti u edukaciji povećalo bi moju produktivnost u nastavi. \*

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
U potpunosti se ne slažem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	U potpunosti se slažem

17. Interakcija sa proširenom stvarnosti u edukaciji izgleda jasno i razumljivo. \*

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
U potpunosti se ne slažem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	U potpunosti se slažem

18. Korištenje proširene stvarnosti u edukaciji poboljšalo bi ishode učenja. \*

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
U potpunosti se ne slažem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	U potpunosti se slažem

19. Smatram da se lako postaje vješt u korištenju proširene stvarnosti u edukaciji. \*

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
U potpunosti se ne slažem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	U potpunosti se slažem

20. Smatram da bi korištenje sustava proširene stvarnosti u edukaciji donijelo veliko zadovoljstvo. \*

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
U potpunosti se ne slažem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	U potpunosti se slažem

#### Četvrta sekcija

21. Planiram koristiti proširenu stvarnost u kontekstu edukacije u budućnosti. \*

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
U potpunosti se ne slažem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	U potpunosti se slažem



22. Preporučio/la bih drugima korištenje proširene stvarnosti u edukaciji. \*

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
U potpunosti se ne slažem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	U potpunosti se slažem

23. Korištenje proširene stvarnosti u edukaciji smatram korisnim. \*

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
U potpunosti se ne slažem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	U potpunosti se slažem

24. Smatram da bih uživao/la sam u korištenju proširene stvarnosti u edukaciji. \*

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
U potpunosti se ne slažem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	U potpunosti se slažem

25. Smatram da je proširena stvarnost u edukaciji praktična za interakciju. \*

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
U potpunosti se ne slažem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	U potpunosti se slažem

This content is neither created nor endorsed by Google.

Google Forms