

# Komparativna analiza pribora za razvijanje softvera proširene stvarnosti za izradu edukacijskih aplikacija unutar Unity Game Enginea

---

Čep, Andrej

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:726228>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-18**

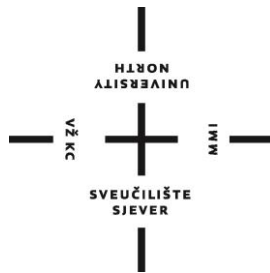


Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**



DIPLOMSKI RAD br. 034-MMD-2020

**Komparativna analiza pribora za razvijanje  
softvera proširene stvarnosti za izradu  
edukacijske aplikacije unutar Unity Game  
Enginea**

Andrej Čep

Varaždin, srpanj 2021. godine



**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**  
**Studij: Multimedija**



**Diplomski rad br. 034-MMD-2020**

**Komparativna analiza pribora za razvijanje softvera  
proširene stvarnosti za izradu edukacijske aplikacije unutar  
Unity Game Enginea**

**Student**

Andrej Čep, 1244/336

**Mentor**

doc. dr. sc. Andrija Bernik

Varaždin, srpanj 2021. godine

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

|                             |   |   |
|-----------------------------|---|---|
| ODJEL                       | Odjel za multimediju  |   |
| STUDIJ                      | diplomski sveučilišni studij Multimedija  |   |
| PRISTUPNIK                  | Andrej Čep  | JMBAG 0336014321                        |
| DATUM                       | 30.5.2021.  | KOLEGIJ Virtualna i proširena stvarnost |
| NASLOV RADA                 | Komparativna analiza pribora za razvijanje softvera proširene stvarnosti za izradu edukacijskih aplikacija unutar Unity Game Enginea  |   |
| NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU | Comparative analysis of augmented reality software development kits for the development of educational applications within Unity Game Engine                                      |   |
| MENTOR                      | doc.dr.sc. Andrija Bernik   | ZVANJE Docent                           |
| ČLANOVI POVJERENSTVA        | 1. izv.prof. Dean Valdec - predsjednik<br>2. doc.art.dr.sc. Robert Geček - član<br>3. doc.dr.sc. Andrija Bernik - mentor<br>4. doc.dr.sc. Emil Dumić - zamjenski član<br>5. _____ |   |

## Zadatak diplomskog rada

|      |   |
|------|---|
| BROJ | 034-MMD-2020  |
| OPIS | <p>U ovom diplomskom radu biti će provedena komparativna analiza i evaluacija sučelja za izradu aplikacija proširene stvarnosti za edukacijske aplikacije koristeći Unity Game Engine.</p> <p>Diplomski rad se sastoji od dva dijela: od teorijske osnove i od istraživanja. U dijelu "Teorijska osnova" ukratko će se opisati i objasniti glavni pojmovi vezani uz ovo istraživanje, a to su: proširena stvarnost, vrste sučelja za izradu aplikacija proširene stvarnosti, Unity Game Engine te spoj proširene stvarnosti i edukacije. U samom istraživanju najprije će se prodiskutirati o prijašnjim srodnim istraživanjima te koja su zapravo glavni izvori i potpora ovom istraživanju, koja je glavna problematika kojom se ovo istraživanje bavi, te koji su bili relevantni zaključci ili mogući problemi ranijih istraživanja. Praktični dio rada biti će realiziran kroz izradu jednostavnih aplikacija koje će poslužiti kao glavni izvori informacija za provedbu ovog istraživanja, dok će se dobivene informacije evaluirati prema uspostavljenim kriterijima i kategorijama, a nakon proces evaluacije, dobiveni rezultati će biti tablično i grafički prikazani u svrhu komparativne analize.</p> <p>Cilj ovog istraživanja je analizirati i usporediti trenutno najbolje i najpopularnije SDK-ove za proširenu stvarnost unutar Unity Game Enginea, kako bi se kroz njihovu evaluaciju i dobivenim presjekom utvrdilo postoji li najpogodniji AR SDK za izradu edukacijskih aplikacija.</p> |

ZADATAK URUČEN

20. 06. 2021.



*Beenk*

## **Predgovor**

Tema ovog diplomskog rada proizašla je kao rezultat osobne zainteresiranosti za područje proširene stvarnosti i velikog edukacijskog potencijala koji pruža proširena stvarnost danas. Cilj ovog diplomskog rada je kategorizirati, analizirati, evaluirati i prikazati pojedine SDK-ove koji se koriste za izradu aplikacija proširene stvarnosti kako bi se otkrio najpogodniji SDK proširene stvarnosti za izradu edukacijskih aplikacija.

Jedna od glavnih inspiracija za temu ovog diplomskog rada je želja da se proširena stvarnost kao područje koje je još uvijek novitet, istraži sa aspekta razvoja i samim tim se olakša proces izrade aplikacija proširene stvarnosti te se omogući pristup daljnjim istraživanjima ovog područja na temelju ovog diplomskog rada.

Isto tako iskoristiti ću ovu priliku kako bih se posebno zahvalio svom mentoru doc. dr. sc. Andriji Berniku na razumijevanju i savjetima, iznimnom trudu i pruženoj pomoći oko ovog diplomskog rada te općenito oko mog vlastitog profesionalnog razvoja. Uvelike se i zahvaljujem svim članovima moje obitelji, prijateljima i kolegama na svakodnevnoj podršci, razumijevanju i potpori tijekom cjelokupnog procesa studiranja.

## Sažetak

*Ubrzanim razvojem područja proširene stvarnosti, velikoj rasprostranjenosti mobilnih uređaja te spojem proširene stvarnosti i mobilnih uređaja kroz razne aplikacije, dolazi do prodiranja proširene stvarnosti u sve sfere djelatnosti i ljudskog života. Proširena stvarnost se u današnje vrijeme sve češće pokušava koristiti ili se koristi u edukacijske svrhe jer poboljšava angažiranost korisnika, stimulira ili nadograđuje osjetila te omogućuje poseban nivo interakcije koji je gotovo ne moguće postići bez njezinog korištenja. Kako bi se povećala uporaba edukacijskih aplikacija i njihov razvoj, učestalo se koriste mnoga sučelja za razvoj aplikacija koja olakšavaju i pojednostavljaju proces izrade edukacijskih aplikacija proširene stvarnosti. Problem se javlja kada zbog velikog broja sučelja za razvoj aplikacija i nedovoljnog broja komparacije njihovih mogućnosti, korisnik sam ne može procijeniti koje sučelje je najpogodnije za izradu aplikacije u pojedinoj sferi edukacije, a upravo to je svrha ovog istraživanja – dokazati koje je najpogodnije sučelje za izradu aplikacija proširene stvarnosti u edukaciji kroz njihovu komparativnu analizu.*

***Ključne riječi:*** Proširena stvarnost, edukacija, edukacijska aplikacija, pribor za razvijanje softvera, komparativna analiza

## **Abstract**

*The accelerated development of the field of augmented reality, the high prevalence of smartphones and the combination of augmented reality and mobile devices through various applications, leads to the penetration of augmented reality into all spheres of activity and human life. The augmented reality today is increasingly being used or is used for educational purposes because it improves user engagement, stimulates or upgrades senses, and enables a special level of interaction that couldn't be achieved otherwise. In order to increase the use of educational applications and their development, many software development kits (SDKs) are often used for the development of such applications to facilitate and simplify the process of developing educational applications of augmented reality. The problem arises when, due to the large number of software development kits and a lack of comparison of their features, the user cannot assess which interface is best suited for creating an application in particular sphere of education, and that is precisely the purpose of this research – to prove which is the most suitable software development kit for creating educational augmented reality applications through their comparative analysis.*

**Keywords:** *Augmented reality, education, educational application, software development kit, comparative analysis*



## **Popis korištenih kratica**

|            |   |
|------------|---|
| <b>AR</b>  | Augmented Reality – Proširena stvarnost                                 |
| <b>VR</b>  | Virtual Reality – Virtualna stvarnost                                   |
| <b>RV</b>  | Reality Virtuality – Realno-virtualno                                   |
| <b>2D</b>  | Dvodimenzionalan  |
| <b>3D</b>  | Trodimenzionalan  |
| <b>IDE</b> | Integrated Development Environment – Integrirano razvojno okruženje     |
| <b>SDK</b> | Software Development Toolkit – Pribor za razvijanje softvera            |
| <b>API</b> | Application Programming Interface – Sučelje za programiranje aplikacija |

# Sadržaj

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1.     | Uvod.....   | 1  |
| 2.     | Teorijska osnova .....                                    | 2  |
| 2.1.   | Proširena stvarnost .....                                 | 2  |
| 2.2.   | Vrste SDK za aplikacije proširene stvarnosti.....         | 3  |
| 2.2.1. | <i>Vuforia Engine SDK</i> .....                           | 5  |
| 2.2.2. | <i>ARCore SDK</i> .....                                   | 5  |
| 2.2.3. | <i>ARKit XR Plugin</i> .....                              | 6  |
| 2.2.4. | <i>Wikitude AR SDK</i> .....                              | 6  |
| 2.2.5. | <i>ARToolKit SDK</i> .....                                | 7  |
| 2.2.6. | <i>EasyAR Sense SDK</i> .....                             | 8  |
| 2.2.7. | <i>MaxST AR SDK</i> .....                                 | 8  |
| 2.2.8. | <i>Onirix SDK</i> .....                                   | 9  |
| 2.3.   | Unity Game Engine .....                                   | 9  |
| 2.4.   | Proširena stvarnost i edukacija .....                     | 10 |
| 3.     | Pregled ranijih istraživanja .....                        | 13 |
| 3.1.   | Presjek ranijih i srodnih istraživanja .....              | 13 |
| 3.2.   | Problematika istraživanja .....                           | 16 |
| 4.     | Cilj istraživanja, istraživačka pitanja i hipoteze .....  | 18 |
| 4.1.   | Cilj istraživanja .....                                   | 18 |
| 4.2.   | Istraživačka pitanja.....                                 | 18 |
| 4.3.   | Hipoteze .....  | 18 |
| 5.     | Metodologija.....   | 19 |
| 5.1.   | Mjerni instrumenti.....                                   | 19 |
| 5.2.   | Postupak istraživanja i način prikupljanja podataka ..... | 22 |
| 6.     | Analiza rezultata .....                                   | 25 |
| 6.1.   | <i>Vuforia AR SDK</i> .....                               | 25 |
| 6.2.   | <i>Wikitude AR SDK</i> .....                              | 33 |
| 6.3.   | <i>Easy AR Sense SDK</i> .....                            | 43 |
| 6.4.   | <i>MaxST AR SDK</i> .....                                 | 50 |
| 6.5.   | Komparativna analiza odabranih SDK.....                   | 58 |
| 7.     | Zaključak.....  | 63 |
| 8.     | Diskusija .....   | 64 |
| 9.     | Literatura.....   | 67 |



## 1. Uvod

Proširena stvarnost, iako je još uvijek i u današnjem vremenu novitet, prema Furht B. (2011) [1] datira od 1950. godine kada su kinematografi, a specifično Morton Heilig, željeli što bliže približiti film korisniku tako što bi zaokupili sva njegova osjetila. Iz ove želje tek šesnaest godina poslije (1966. godine), Ivan Sutherland je izumio prvi sustav proširene stvarnosti koristeći optički naglavni uređaj koji je prvi puta omogućavao stvarnu interakciju sa virtualnim svijetom.[1] Kasnijim istraživanjem i razvojem područja proširene stvarnosti, prema Carmigniani J. i Furht B. (2011) [2] jedan od najvećih doprinosa su donijeli Paul Milgram i Fumio Kishino, kada su 1994. godine definirali pojam realno virtualnog kontinuuma i kada su odredili da je proširena stvarnost prvi korak u virtualnosti te je prema tome najbliža stvarnom svijetu. [2]

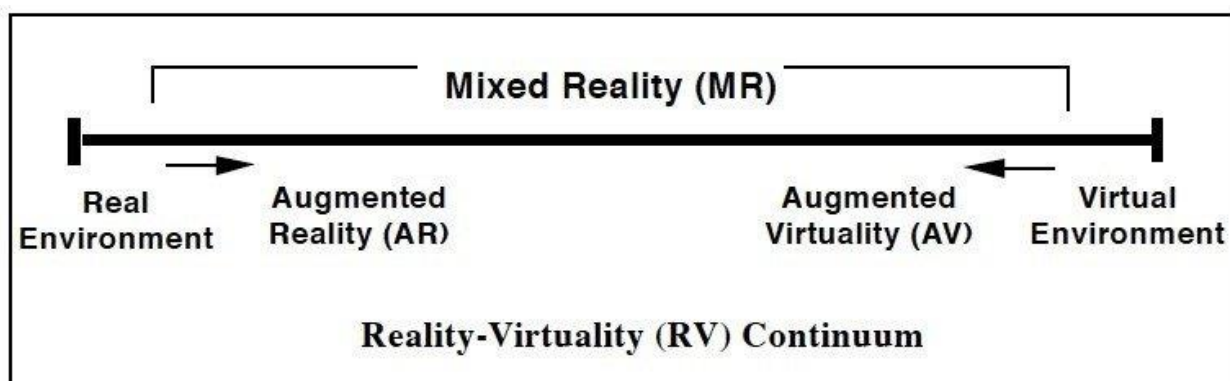
Daljnijim razvojem utvrđeno je da je proširena stvarnost izrazito pogodna za mobilne uređaje o čemu govori i Furht B. (2011) [1] u svojem istraživanju, a dodatnom razvoju ovog područja pridonijele su i digitalne kamere koje omogućuju analiziranje stvarnog svijeta u pravom vremenu te koje imaju sposobnost određivanja i očitavanja pozicije objekata, uređaja, okoline i udaljenosti među njima. [1]

U moderno doba proširena stvarnost je omogućena gotovo na svim novijim pametnim telefonima i proširila se na gotovo sva područja ljudskog djelovanja u više različitih oblika. Zbog revolucionarnih otkrića, proširena stvarnost ulazi u stvaran svijet kroz detektiranje raznih vrsta markera ili bez njih, pa čak i uz pomoć geolokacijskih softvera. Kao takva svoje je mjesto pronašla i u edukaciji, što je u današnje vrijeme jedna od glavnih vodilja napretka nje same.

## 2. Teorijska osnova

### 2.1. Proširena stvarnost

Proširena stvarnost (*eng. Augmented Reality*, skraćeno *AR*) je definirana kao percepcija stvarnog svijeta koji je direktno ili indirektno proširen, tj. modificiran u stvarnom vremenu (*eng. Real time*) sa elementom ili elementima računalno (virtualno) generiranih informacija<sup>1</sup>. Furht B. (2011) [1] govori o računalno generiranim informacijama, a ne objektima jer virtualan element proširene stvarnosti ne mora nužno biti vizualan, već može biti auditivne prirode, npr. zvučni signal. Proširena stvarnost je prema P. Milgramu i F. Kushinou (1994.) element Realno-virtualnog kontinuuma (*eng. Reality-Virtuality Continuum*, skraćeno *RV Continuum*) koji se očituje u miješanoj stvarnosti (*eng. Mixed Reality*, skraćeno *MR*). Miješana stvarnost je bilo kakav spoj stvarnih i virtualnih informacija (ili čak svjetova) kojim nastaje nova okolina u kojoj obje vrste informacija koegzistiraju. Važno je spomenuti da je RV kontinuum, tj. MR često prikazan kao koordinatni prostor ili jednostavnije kao skala sa dvije krajnosti. Na jednom kraju skale se nalazi stvaran svijet, dok se na drugom nalazi virtualan svijet, a proširena stvarnost je zapravo prvi stupanj odmaka od stvarnog svijeta. [1]



Slika 1 Skala Realno-virtualnog kontinuuma [1]

---

<sup>1</sup> Virtualan objekt i virtualna informacije se koriste kao sinonimi za opis istog pojma, stoga će se kroz ovaj diplomski rad koristiti oba termina kao sinonim osim kada nije navedeno drugačije. Važno je spomenuti da sintagma virtualna informacija u užem kontekstu ima šire značenje od pojma virtualan objekt.

Proširena stvarnost prema Azumi i drugima ne mora nužno značiti dodavanje virtualnih objekata stvarnom svijetu, već isto tako može značiti i brisanje realnog objekta iz stvarnog svijeta, a naziv kojim to opisuju je umanjena stvarnost (*eng. Diminished Reality*) što je zapravo podgrupa proširene stvarnosti.[2] Ovakvo objašnjenje proširene stvarnosti proizlazi iz činjenice da se brisanje realnih objekata svodi na njihovo prekrivanje virtualnim informacijama koje se poklapaju sa pozadinom, što zapravo proizvodi efekt nepostojanja realnog objekta. [1] Kada bi ovu tvrdnju izmijenili, tako da se dodavanje virtualnih objekata u realnu okolinu svodi na prekrivanje pozadine virtualnim informacijama, tada bi mogli reći da proširena stvarnost uistinu obuhvaća oba pojma; dodavanje virtualnih objekata i brisanje stvarnih objekata iz stvarnog svijeta.

Prema istraživanju Carmigniani J. i Furht B. (2011) [2] zaključuje se da je primarni cilj proširene stvarnosti olakšati korisnikovu percepciju uvođenjem virtualnih informacija u njegovu posrednu, ali i neposrednu okolinu.[2] Prema tome proširena stvarnost zapravo nadograđuje i povećava korisnikovu percepciju i interakciju sa stvarnim svijetom. S druge strane Furht B. (2011) [1] u svojem samostalnom istraživanju govori kako je glavni fokus proširene stvarnosti upravo nadogradnja već prethodno spomenute korisnikove percepcije, pritom koristeći pet osjetila (vid, sluh, njuh, dodir i okus) te isto tako poslužiti kao moguća zamjena za nepostojeća ili oslabljena osjetila. Velika mogućnost te ujedno i prednost proširene stvarnosti je interakcija sa virtualnim objektima upravo preko tih pet osjetila.[1]

U današnje vrijeme prema Carmigniani i suradnicima (2011) [3] proširena stvarnost se najviše koristi u edukacijske i marketinške svrhe te kao izvor zabave. Raširenost proširene stvarnosti naspram virtualne stvarnosti se ostvaruje u tome, da proširena stvarnost nužno ne upotrebljava skupocjene uređaje kako bi se ostvarila (npr. *VR Headset*), već se može projicirati kroz uređaje koji su danas uvriježeni standard, a to su naravno mobilni uređaji.[3] Tako dakle, za projekciju proširene stvarnosti dovoljan je mobilni uređaj sa kamerom te odgovarajuće softverske komponente i AR aplikacije. Osim fizičkih uređaja, raširenosti proširene stvarnosti omogućuje i olakotna okolnost; dovoljan je samo jedan virtualan objekt u stvarnom svijetu kako bi nešto bilo proširena stvarnost, dok je za virtualnu stvarnost potrebna kreacija cijelog virtualnog svijeta, tj. okoline, što je daleko teži i dugotrajniji proces.[2]

Kako bi nastanak i razvoj aplikacija proširene stvarnosti bio što jednostavniji i kako bi se pritom uštedilo što više vremena, koriste se razni softveri koji olakšavaju ovaj proces, a nazivaju se „Pribori za razvijanje softvera“ (*eng. Software Development Toolkit*, skraćeno *SDK*).[3]

## **2.2. Vrste SDK za aplikacije proširene stvarnosti**

SDK je skup alata koji najčešće dobavlja proizvođač (*eng. Manufacturer*) hardvera ili razvijatelj (*eng. Developer*) softvera, a koristi se kako bi se olakšao proces izrade aplikacija za pojedinu

platformu, sistem, sustav ili programski jezik. SDK se sastoji od jezičnog prevoditelja (*eng. Compiler*), programa za ispravljanje grešaka (*eng. Debugger*) i sučelja za programiranje aplikacije (*eng. Application Programming Interface*, skraćeno *API*), što su ujedno i glavni dijelovi, no uz to može sadržavati i dokumentaciju (*eng. Documentation*), biblioteku (*eng. Library*), upravljačke programe (*eng. Driver*) i ostalo.[4] Osnovni cilj svakog SDK je pružiti korisniku sve komponente koje će olakšati izradu pojedine aplikacije i njezinog okruženja, a prema tome mnogi SDK dolaze sa probnom ili demo verzijom aplikacije te sa unaprijed pripremljenim primjerima koda. Dokumentacija uz praktični vodič (*eng. Tutorial*) su vrlo važne komponente jer omogućuju potpuni uvid kako koristiti neki SDK i njegov API te ubrzano učenje istog.[5]

Glavna podjela koju koriste SDK za ostvarivanje proširene stvarnosti u AR aplikacijama je markerska (*eng. Marker-based*), bez markerska (*eng. Markerless*) i lokacijska (*eng. Location-based*) proširena stvarnost.

Markerska proširena stvarnost funkcionira na temelju markera, tj. objekata iz stvarnog svijeta na kojima se projicira virtualan objekt, a prema tome virtualan objekt je zapravo usidren na stvaran objekt. Marker može biti bilo koji objekt iz stvarnog svijeta, no najčešće se koriste, 2D objekti (slike, ortografski nacrti), QR kodovi ili mali 3D objekti. Prema tome kamera mobilnog uređaja mora prepoznati marker koji je skeniran kao slika ili oblak točaka te smješten u bazu virtualne okoline. Zatim kamera projicira virtualni objekt na marker, a pošto je „zalijepljena“ na njega, pomicanjem markera pomiče se i virtualan objekt zajedno sa njim. Vrlo važno je spomenuti da su uspješni markeri unikatni objekti sa dovoljno različitih varijacija u samom marker objektu (dovoljno jaka oštrina, kontrast boja, specifičnost oblika i drugo). [6]

Bez markerska proširena stvarnost kao što i samo ime govori ne koristi markere kako bi usidrila virtualan objekt u stvaran prostor, već se virtualan objekt projicira samostalno u stvarnom prostoru. Zbog toga virtualan objekt projiciran ovim načinom često ima dojam lebdenja u prostoru, a kako bi se izbjeglo nepoželjno lebdenje koriste se takozvano „uzemljenje“, tj. površina tla (*eng. Ground plane*) kojom se virtualan objekt usidri na neku ravnu površinu. Pomicanjem položaja kamere, tj. mobilnog uređaja, pomiče se i virtualan objekt, no pomicanjem površine tla, virtualan objekt se ne pomiče, već ostaje na istoj lokaciji. [6]

Lokacijska proširena stvarnost koristi specifične lokacije, tj. prostorne koordinate na kojima projicira virtualan objekt, a najčešće je ostvarena upotrebom geolokacije. Prostorne koordinate su stvarne koordinate iz realnog svijeta na kojima se projicira virtualan objekt, a sam virtualan objekt se ne može nikako pomicati, ni pomicanjem kamere mobilnog uređaja ni pomicanjem markera jer je usidren upravo na specifične koordinate. U aplikacijama koje koriste ovu tehnologiju proširene stvarnosti, do virtualnog objekata se može doći korištenjem integrirane navigacije koja je često projicirana kao virtualna informacija u stvarnom svijetu, a nalazi se ispred korisnika.

### 2.2.1. Vuforia Engine SDK

Vuforia Engine je AR SDK koju su istraživači Alakärppä I. i suradnici (2017) koristili u svom istraživačkom radu za izradu AR aplikacije sa elementima prirode za edukaciju djece.[7] Vuforia Engine SDK primarno je usmjerena na izradu AR aplikacija za mobilne uređaje te je jedna od vodećih platformi za izradu AR, a osim podrške za mobilne uređaje, ima i podršku za tablete i AR naočale te podršku za Unity Engine i tri najveće mobilne platforme iOS, Android i UWP. Isto tako Vuforia sadrži dokumentaciju i biblioteku kojom se olakšava učenje i izrada aplikacija, a Vuforijin API za Unity koristi C# programski jezik, dok za Android, iOS i UWP koristi C++. [8]

Vuforia Engine se najčešće koristi u izradi aplikacija koje koriste markere, jer podržava grafičke i tekstualne informacije kao markere. Isto tako se često koristi za razvijanje jednostavnih edukacijskih aplikacija. Primjer: Edukacijska AR aplikacija „NatureAR“ bazirana na markerima iz područja „Biologija“ [7] te edukacijska AR aplikacija „AR Solar System“ bazirana na markerima iz područja „Astronomija“ [9].



Slika 2 Logo - Vuforia Engine SDK [8]

### 2.2.2. ARCore SDK

ARCore je AR SDK izrađen i plasiran od strane Googlea koji se koristi za izradu AR aplikacija, poznatiji je i pod nazivom Google Play Services for AR, a istraživači Linowes J. i Babilinski K. koristili (2017) su ga u svom istraživanju kako bi izradili nekoliko praktičnih AR aplikacija unutar Unity game enginea. [9] ARCore podržava dvije mobilne platforme Android i iOS te Unity i Unreal game engine. Ključne tehnologije koje koristi ARCore kako bi ostvario proširenu stvarnost su praćenje pokreta (*eng. Motion tracking*), razumijevanje okoline (*eng. Environmental understanding*) i procjena osvjetljenja (*eng. Light estimation*).[10][11]

ARCore se koristi za raznovrsne mobilne aplikacije, a najčešće se koristi u edukacijske svrhe za izradu jednostavnih edukacijskih aplikacija, primjer: Edukacijska AR aplikacija „AR Solar System“ koja je bez markerska [9], ili za kompleksnije edukacijske aplikacije koje koriste više tipova detekcije (marker i bez markera) zajedno sa neuronskim mrežama i dubokim učenjem, primjer: AR aplikacija iz područja robotike [12].





*Slika 3 Logo – ARCore SDK [10]*

### **2.2.3. ARKit XR Plugin**

ARKit XR Plugin ili kraće ARKit je Appleov SDK za izradu aplikacija proširene stvarnosti, a koristili su ga istraživači Nowacki P. i Woda M. (2019) u svom istraživanju kako bi istražili njegove mogućnosti za izradu AR aplikacija.[11] Kao i velika većina Apple softvera podržava iOS, iPadOS platforme i Mac Catalyst platforme, a koristi programski jezik Swift, no kao dodatak podržava Unity i Unreal game engine.[13] Najveća prednost ARKit SDK je što koristi tehniku vizualne inercijalne odometrije (*eng. Visual Inertial Odometry*, skraćeno *VIO*) za precizno praćenje stvarnog svijeta i virtualnih objekata u njemu bez dodatne kalibracije softvera ili mobilnog uređaja. [11]

ARKit se najčešće koristi upravo za izradu AR aplikacija koje koriste prethodno spomenutu tehniku vizualne inercijalne odometrije kako bi detektirali i pratili stvarne ili virtualne objekte u stvarnom svijetu što potvrđuje mobilna aplikacija „*ARPosition*“, a namijenjena je za detekciju točne pozicije objekta u stvarnom prostoru kako bi olakšala pojedine eksperimente iz područja fizike. [14]



*Slika 4 Logo - ARKit SDK [13]*

### **2.2.4. Wikitude AR SDK**

Wikitude AR SDK je SDK, razvojna okolina i biblioteka za izradu aplikacije proširene stvarnosti koja podržava mnoštvo platforma i programskih jezika, a korišten je u istraživanju Craciun D. i Bunoiu M. (2016) u svrhu implementacije AR u rumunjsko obrazovanje.[15]

Višeplatformnost dolazi do izražaja u podržavanju svih popularnih platformi: Windows 10, iOS, Mac i Android, Unity game engine kroz programski jezik C# i Web aplikacije kroz programski jezik JavaScript, dok samostalno koristi programski jezik C++. Najveća značajka Wikitude SDK je napredna tehnologija geolokacije i trenutno bez markersko praćenje nadograđeno SLAM (*eng. Simultaneous Localization and Mapping*) tehnologijom [16]

Wikitude je jedan od najpopularnijih SDK za izradu aplikacija, a koristi se za širok spektar edukacijskih aplikacija, primjer: AR u rumunjskom školstvu (marker i bez markerske aplikacije)[15], no vodeći je u izradi geolokacijski AR aplikacija kao što je „*AuGeo*“ – AR aplikacija iz područja geodezije. [17]



*Slika 5 Logo - Wikitude SDK [16]*

### **2.2.5. ARToolKit SDK**

ARToolKit je SDK i biblioteka izrađena od strane ARToolworks Inc. a koristi se za izradu aplikacija proširene stvarnosti te je korišten u istraživanju Badeche M. i Benmohammed M.(2012) u svrhe predlaganja 3D uzoraka u e-učenje kroz AR aplikacije. Podržava Windows, Mac, iOS i Android platforme te Unity game engine uz koji se primarno povezuje. Važno je spomenuti da je ARToolKit otvorenog koda i nalazi se na GitHubu kao besplatan softver, a koristi algoritme računalnog vida uz jednostavnu kalibraciju kamere kako bi ostvario proširenu stvarnost. [19]

ARToolKit se većinom koristi za izradu aplikacija koje su bazirane na markerima te za aplikacije čija je primarna namjena e-učenje. Pošto je besplatan i otvorenog koda, često je nadograđivan od strane korisnika na načine koji su prilagođeni potrebama drugih korisnika. [18]



*Slika 6 Logo - ARToolKit SDK [19]*

### 2.2.6. EasyAR Sense SDK

EasyAR Sense je SDK za izradu AR aplikacija a primarna funkcija mu je pružanje virtualnih doživljaja i percepcije stvarnog svijeta, a koristili su ga istraživači Nechypurenko P. P. i suradnici (2020) u svom istraživanju kako bi implementirali AR elemente u edukaciju iz područja kemije. [20] Jedna od glavnih značajki koju pruža je trenutno i automatsko generiranje oblaka točaka u stvarnom svijetu i vremenu sa okluzijama i kolizijama. Podržava Windows, Mac OS, Android i iOS platforme bez pretjerane upotrebe API-ja pa stoga nije ovisan o nadograđenim verzijama prethodno navedenih platformi, no ipak koristi API baziran na C programskim jezicima. [21]

EasyAR se koristi za izradu edukacijski aplikacija koje su markerske ili bez markerske sa ciljnom primjenom generiranja oblaka točaka u stvarnom svijetu, primjer: edukacijska aplikacija iz područja kemijskih znanosti. [20]



*Slika 7 Logo - EasyAR SDK [21]*

### 2.2.7. MaxST AR SDK

MaxST AR SDK je SDK, izrađen od strane MaxST Co., koji se koristi za izradu aplikacija proširene stvarnosti, a koristili su ga istraživači Dongheon L. i suradnici (2020) u svrhu implementacije AR kod robotskih kirurških operacija.[22] Podržava Android i iOS platforme, Unity game engine sa kojim je primarno zamišljen i korišten te Unity i Android pametne naočale. Koristi naprednu verziju umjetne inteligencije i računalnog vida za detekciju stvarnog svijeta i generiranje virtualnih objekata u njoj te omogućuje širok spektar alata za detekciju, a isto tako koristi SLAM tehnologiju kao i Wikitude AR SDK.[23]



*Slika 8 Logo - MaxST SDK [23]*

### 2.2.8. Onirix SDK

Onirix SDK je SDK za izradu aplikacija proširene stvarnosti koji je korišten u istraživanju Terzopoulos G. i suradnika (n.d.) u svrhu komparativne analize AR SDK za izradu edukacijske aplikacije. [24] Onirix SDK je primarno orijentiran na iskustvo web proširene stvarnosti koristeći web preglednike (Google Chrome, Mozilla Firefox i drugi) kako bi proširio AR iskustvo sa mobilnih uređaja i stvarnog svijeta na cijeli internet. Podržava iOS i Android platforme te Unity game engine uz koji je i zamišljen funkcionirati. Najveća značajka Onirix SDK je brza izrada prototipa za obje prethodno navedene platforme, besplatna korisnička podrška te simultana pohrana podataka u bazu koje ostali SDK trenutačno ne posjeduju. [25]



Slika 9 Logo - Onirix SDK [25]

### 2.3. Unity Game Engine

Unity je višepatformski (*eng. Cross-platform*) *game engine* i integrirano razvojno okruženje (*eng. Integrated Development Environment*, skraćeno IDE) koje se koristi za izradu 2D, 3D, AR i VR videoigara te za izradu mobilnih igara i aplikacija, interaktivnih simulacija i ostalo. Unity je izrađen C++ programskim jezikom, no primaran jezik za programiranje unutar Unitya je C# koji je uređen kroz API. Višepatformnost dolazi do izražaja u tome što je Unity podržan na tri vodeća operacijska sustava: Windows, MacOS i Linux, a podržava izradu za devetnaest različitih platformi koje uključuju: mobilne, računalne platforme i web platforme te platforme za virtualnu stvarnost i konzole. Sam Unity je opremljen sa mnoštvom značajki koje primarno pomažu kod izrade video i mobilnih igara, no one nisu ograničene samo na prethodno spomenute pojmove. Za one značajke koje eventualno ne postoje unutar Unity okruženja, moguće ih je dodati u obliku raznih dodataka, jer je Unity pogodan za izmjenjivanje i dodavanje podataka. [26]

Unity je licencirani softver sa različitim opcijama modela licenci, no glavna podjela je na besplatan i plaćeni model. Besplatan model u potpunosti sadržava sve značajke plaćenog modela a primarno je namijenjen za osobnu upotrebu ili za male kompanije koje godišnje ne premašuju dobit od 100.000 \$ (sto tisuća dolara). [27]

Razvojem AR i VR tehnologija, Unity je vrlo brzo postao najbolji softver za njihovu izradu, pa je tako više od polovice mobilnih igara, AR i VR sadržaja upravo napravljeno korištenjem Unitya. Specifično za AR sadržaj, Unity ima potporu u obliku paketa „AR Foundation“ koji je integriran sa njim samim a omogućuje potporu za višeplatformskih AR aplikacije za ručne (*eng. Handheld*) ili nosive (*eng. Wearable*) uređaje, no ne sadrži alate za njihovu izradu. Njihova izrada je stoga omogućena raznim dodacima i paketima koje dolaze u obliku samostalnih SDK-ova. Glavne značajke koje podržava „AR Foundation“ su: praćenje uređaja (*eng. Device tracking*), *raycast*, detekcija površina (*eng. Plane detection*), referentne točke (*eng. Reference points*), detekcija oblaka točaka (*eng. Point cloud detection*), detekcija i praćenje lica (*eng. Face tracking*), mimike i gestikulacije (*eng. Gestures*), detekcija i praćenje 2D i 3D objekata (*eng. 2D & 3D object tracking*) te ljudskog tijela (*eng. 2D & 3D body tracking*), okluzija (*eng. Occlusion*) i praćenje sudionika (*eng. Participant tracking*). [28]

Tablica 1 Tablica podržanih značajki "AR Foundation" [28]

|   |   |
|---|---|
| <b>Praćenje uređaja</b>                           | Praćenje pozicije i orijentacije uređaja u stvarnom svijetu   |
| <b>Raycast</b>                                    | Prikaz virtualnih informacija u stvarnom svijetu  |
| <b>Detekcija površina</b>                         | Detekcija veličine i lokacije horizontalnih i vertikalnih površina  |
| <b>Referentne točke</b>                           | Praćenje pozicije površina i značajki u realnom vremenu   |
| <b>Detekcija oblaka točaka</b>                    | Detekcija jedinstvenih vizualnih značajki na kamerom uhvaćenoj slici  |
| <b>Detekcija i praćenje lica</b>                  | Pohrana i pretvorba ljudskog lica u mrežu poligona i facijalne animacije  |
| <b>Mimike i gestikulacije</b>                     | Prepoznavanje ljudskih gesta i mimike lica kao ulaznih događaja   |
| <b>Detekcija i praćenje 2D objekata</b>           | Detekcija i praćenje jedinstvenih 2D slika kao ciljnih markera  |
| <b>Detekcija i praćenje 3D objekata</b>           | Detekcija i praćenje jedinstvenih 3D objekata kao ciljnih markera   |
| <b>Detekcija i praćenje ljudskog tijela 2D/3D</b> | Reprezentacija ljudskog tijela iz stvarnog svijeta u obliku 2D hijerarhije sa 17 zglobova ili 3D hijerarhije sa 93 zglobova |
| <b>Okluzija</b>                                   | Primjena dubine i udaljenosti na virtualne informacije u stvarnom svijetu   |
| <b>Praćenje sudionika</b>                         | Praćenje pozicije i orijentacije drugih uređaja u zajedničkoj sesiji  |

## 2.4. Proširena stvarnost i edukacija

Proširena stvarnost u današnje doba dobiva sve veći zamah u društvenoj zajednici i postaje sveprisutan dio gotovo svih područja ljudskog djelovanja, a samim tim i zadire u edukaciju. Proces edukacije se uvelike temelji na 2D medijima koji su ukorijenjeni u društvo, što se kosi sa činjenicom da je svijet zapravo 3D. Ovakav način je ustavljen jer je često nemoguće u edukaciju uključiti dijelove stvarnog 3D svijeta i time zaokupiti sudionike edukacije, stoga se koriste 2D mediji koji su fleksibilni, poznati, ekonomski jeftiniji i pouzdani. S druge strane 2D mediji su

statične prirode i ne pružaju dovoljni nivo dinamike i interakcije kako bi zainteresirali i uključili i samim tim približili različite aspekte edukacije svim njezinim sudionicima. [29]

Osnovna prednost proširene stvarnosti u edukaciji je konstantna dinamika i interakcija u učenju koje se temelji na učenju kroz iskustvo, što se pokazuje kao ponajbolji element u edukaciji općenito. [30] Sama interakcija i dinamika učenja omogućava veću participaciju u procesu edukacije, a kada je korištena unutar obrazovnog procesa u sklopu nastave, poboljšava razumijevanje pojedinih područja jer aktivno uključuje sve sudionike obrazovnog procesa. Isto tako sudionicima omogućava konstantan priljev novih informacija i metoda istraživanja u bilo koje vrijeme te na bilo kojem mjestu. Glavna vodilja proširene stvarnosti je upravo ta da osoba više nije promatrač, već je aktivni sudionik u svakom aspektu edukacije, jer proširena stvarnost omogućuje igrifikaciju (*eng. Gamification*). [29] Igrifikacija je uporaba sistema, principa i elemenata iz igara u kontekstu koji nije vezan za igre, tj. u područjima koja nisu igra. Nadalje se može definirati kao skup aktivnosti i procesa za rješavanje problema kroz uporabu karakteristika iz igara. Upravo je igrifikacija element iz kojeg proizlaze prednosti proširene stvarnosti u edukaciji jer omogućuje novu sferu pristupa edukaciji kako za edukatore tako i za učenike. [31]

Učestala pojava u edukaciji je uporaba igara kako bi se olakšao proces shvaćanja raznih koncepta, a uz pomoć proširene stvarnosti edukatori dobivaju potpuno novu razinu uporabe igara. Prema tome igre koje bi koristile markerske tehnologije imaju sposobnost pretvoriti svaku realnu 2D igru u 3D kroz aplikaciju na mobilnom uređaju, dok bi se efekt proširene stvarnosti uvelike povećao korištenjem bez markerske tehnologije korištene sa geolokacijom kako bi se okolni svijet dodatno nadogradio. [32] Miješanjem prethodno spomenutih 2D medija i proširene stvarnosti nadograđuje se postojeća razina edukacije koja bi se najlakše realizirala uporabom knjiga proširene stvarnosti (*eng. AR Books*). Knjige proširene stvarnosti su jedan od ključnih tranzitnih elemenata između stvarnog i virtualnog svijeta, jer proširuju dinamiku učenja zaokupljanjem i imerzijom sudionika u proces edukacije, dok je sama imerzija još jedan pojam isključivo vezan uz igre te uz samu igrifikaciju. [33]

S druge strane, proširena stvarnost u edukaciju donosi nove probleme koji proizlaze većinom iz ubrzanog tehnološkog napretka, a smanjene educiranosti društva o tim istim tehnologijama, što je ujedno jedan od paradoksa. Naime, za uspješnu provedbu proširene stvarnosti u edukaciji važno je prvotno obrazovati društvo o proširenoj stvarnosti, o njezinoj implementaciji te o svim ostalima aspektima nje same. [32] Vrlo je važno dakle prvo educirati društvo, tj. edukatore i profesore kao osobe koji su primarni nositelji edukacije i obrazovanja kako bi oni kroz daljnje aktivnosti mogli upotrebljavati proširenu stvarnost u procesu obrazovanja drugih. Ovaj problem koči implementaciju proširene stvarnosti u širi pojam edukacije jer većina edukatora nije dovoljno računalno obrazovana te nije kompetentna unutar digitalnog područja. Isto tako razvoj aplikacija

proširene stvarnosti koje bi bile specijalizirane za određena područja je izrazito skupocjeni proces, primarno financijski, a sekundarno i vremenski. [30] Nadalje, oprema koju bi edukacijski sustav trebao omogućiti za nesmetano korištenje takvih aplikacija je isto tako financijski izrazito skupa, te je vrlo važno da sva oprema, hardverska i softverska je u svakom trenutku funkcionalna jer se u protivnom prekida konzistentnost procesa učenja. [31] Jedan od problema o kojem se tek razmatra je udaljavanje društva međusobno, uz povećanje ovisnosti o virtualnom svijetu što za uzvrat može dovesti do pogoršavanja ljudske komunikacije i stvarnih aspekata na kojima počiva čovjek [34].

## 3. Pregled ranijih istraživanja

### 3.1. Presjek ranijih i srodnih istraživanja

Broj istraživanja koje se bave temom proširene stvarnosti i edukacije je vrlo mali, a većina ih se bavi vrlo specifičnim područjima i uskim aspektima edukacije unutar domene proširene stvarnosti. Glavna istraživanja čija je primarna tema upravo komparacija raznih SDK će biti ukratko prikazana u nastavku.

Amin i Galvikar (2015) [5] u svojem istraživanju opisuju i analiziraju ukupno šest SDK (Vuforia SDK, Metaio SDK, Wikitude SDK, ARToolKit SDK, D'Fusion SDK, ARmedia SDK) s ciljem njihove komparacije te općenitom utjecaju proširene stvarnosti na korisnika, a fokusiraju se na generalno dostupne informacije o svakom SDK te o načinima njihovog rada, detekcije i praćenja objekata. Kao izvore za svoja istraživanja koristili su isključivo web stranice i dokumentaciju svakog analiziranog SDK bez njihove eksperimentalne upotrebe. Kroz kratak opis svakog SDK, njegovih mogućnosti, glavnih značajki, prednosti i nedostataka analizirali su svaki SDK prema pet kategorija: tip licence, podržana platforma, generacija markera, detekcija i praćenje te sposobnost prikrivanja, koji su prikazali u tabličnom obliku sa rezultatima podržava li SDK pojedinu varijablu kategorije ili ju ne podržava. Zaključak njihovog istraživanja je dvodijelan u prvom dijelu su naveli prednosti i nedostatke svakog SDK, te tako dokazali da je svaki SDK međusobno različit, dok je generalni zaključak istraživanja da AR pojačava korisnikov doživljaj i percepciju stvarnosti virtualnim informacijama, a samim tim pruža jedinstveni i nadograđeni način interakcije sa stvarnim svijetom.

Zaključci o svakom SDK pojedinačno:

**Vuforia** – podržava dalekometno praćenje objekta, a detekcija bazirana na markerima se vrši kroz bazu podataka u oblaku no podržava maksimalno sto 2D markera

**Metaio** – nema fiksnog limita praćenih objekata, već je broj praćenih objekata ovisan o memoriji uređaja, no postoje brojne poteškoća prilikom rendera kompleksnijih 3D objekata

**Wikitude** – informacije se mogu programirati korištenjem HTML5, JS ili CSS programskih jezika, a ne podržava praćenje 3D modela, već samo full kolor 2D slika

**ARToolKit** – jedini SDK koji je otvorenog koda i podržava izradu višeplatformske aplikacije, no detekcija i praćenje nisu toliko precizni te ne podržava geolokaciju

**D'Fusion** – podržava velik broj 3D formata te iako podržava video format ne dozvoljava reprodukciju zvuka unutar videa

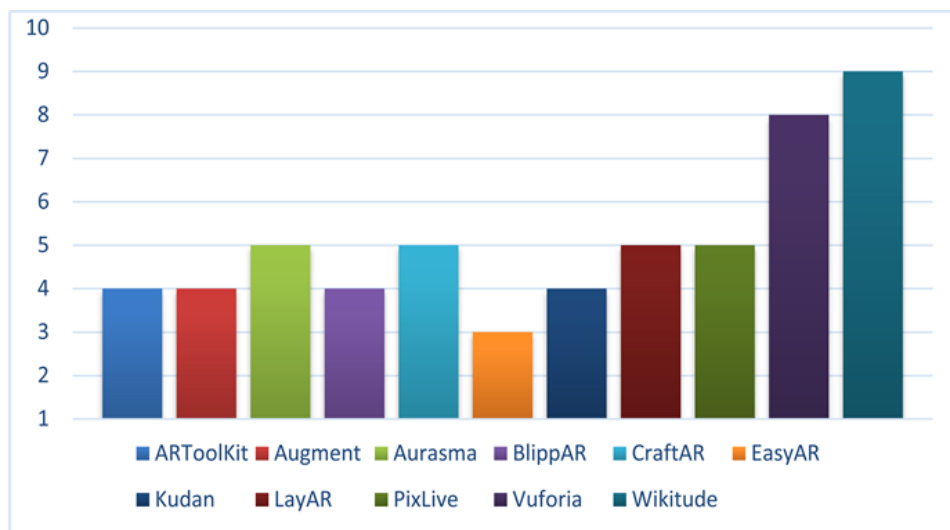
**ARmedia** – pruža imerzivno iskustvo kalibracijom dubine kamere, no ne podržava sve tipove tekstura 3D objekata [5]



Sa druge strane Terzopoulos i suradnici (n.d.) [24] iako kompariraju vrste SDK kao i Amin i Galvikar (2015) ne generaliziraju ih, već se ograničavaju na analizu SDK za izradu edukacijskih aplikacija. Fokusiraju se na kombinaciju velike rasprostranjenosti i korisnosti pametnih mobilnih uređaja i proširene stvarnosti kako bi dokazali korisnost proširene stvarnosti u edukaciji i cjelokupnom obrazovnom sustavu. Primaran cilj im je približiti SDK proširene stvarnosti učiteljima i edukatorima te dati uvid razvijateljima u izbor prigodnog SDK za izradu aplikacija u edukacijske svrhe. Metode koje su koristili su bile: pronalaženje AR SDK-ova pretragom ključnih riječi i pronalaženje generalnih i tehničkih informacija o svakom SDK preko web stranica i dokumentacije. Kako bi ograničili svoje istraživanje na relevantne SDK-ove, postavili su dva kriterija: da AR SDK podržava izradu aplikacije za mobilne uređaje te da je nadograđivan u posljednje 3 godine barem jedanput. Putem ovog ograničenja pronašli su 28 odgovarajućih SDK koje su analizirali prema slijedećim kategorijama: koji operativni sistem i koji game engine podržava, mogućnosti proširene stvarnosti, cijena, tj. tip licence te podrška. Nakon analize i evaluacije svakog SDK i njihove komparacije, zaključili su da su najpogodniji: ARCore, ARKit i Wikitude, zbog izvrsnog omjera prethodno navedenih kategorija. No, isto tako su i zaključili da sama kompleksnost ovih SDK nije primjerena za korisnike koji nisu informatički obrazovani ili koji nemaju dovoljno programerskog iskustva kao što je to prosječna većina učitelja i edukatora. Kao glavni zaključak istraživanja navode da usprkos tome što je proširena stvarnost svoj utjecaj ostvarila u mnogim granama i područjima, u edukaciji je proširena stvarnost još uvijek u ranoj fazi razvoja, no njezin potencijal u edukaciji je ogroman sa širokim spektrom mogućnosti kako za učitelje i edukatore tako i za učenike. Isto tako napominju da je upravo pravilan odabir vrste SDK od ključne važnosti, jer je odabir SDK prva i najvažnija faza razvoja svake aplikacije proširene stvarnosti. [24]

Međutim, uz istraživanja Amin i Galvikar (2015) i Terzopoulos i suradnika (n.d.) koja su za ovo područje vrlo značajna, istraživanje od kritične važnosti je ipak istraživanje Herpich i suradnika (2017). [35] U svom istraživanju Herpich i suradnici (2017) kompariraju jedanaest SDK-ova koje su odabrali prema sličnim kriterijima kao i Terzopoulos i suradnici (n.d.) – svi SDK koji su nadograđivani u posljednjih nekoliko godina i koji nisu ukinuti te SDK-ovi koji su već dokazano korišteni u izradi edukacijskih aplikacija su izabrani kao objekti istraživanja. Isto tako SDK-ovi koji su bili objekt nekih drugih srodnih istraživanja te čija je „reputacija“ opravdana i dokazana, također su ušli u ovo istraživanje. Kao kriterije za analizu, Herpich i suradnici (2017) odredili su osam kategorija koje nisu generalne ni tehničke kategorije, već funkcionalne, a one su: online detekcija objekta, offline detekcija objekta, uređivačka platforma proširene stvarnosti, detekcija teksta, detekcija slika, detekcija objekta, detekcija više objekata, geolokacijska detekcija

i bez markerska detekcija. Herpich i suradnici (2017) smatraju da su prve tri kategorije (online detekcija objekta, offline detekcija objekta i uređivačka platforma proširene stvarnosti) presudne za ovo istraživanje jer smatraju da će korisnici odabrati najpogodniji SDK upravo prema tim kategorijama, dok će ostalih pet kategorija biti dodatna potpora kod odabira. Svakom SDK u procesu istraživanja je bila dodijeljena jedna od dvije moguće vrijednosti – da ili ne, tj. podržava li ili ne podržava navedenu kategoriju, a nakon procesa evaluacije svakog SDK dobiveni rezultati su preračunati u numeričke vrijednosti, te su svi zajedno grafički prikazani i rangirani. Iz grafa se može iščitati da Wikitude SDK i Vuforia SDK daleko najpogodniji SDK-ovi, a jedina razlika među njima je, kako Herpich i suradnici (2017) navode, da Vuforia SDK podržava detekciju teksta, dok Wikitude SDK podržava uređivačku platformu proširene stvarnosti što je bio i presudan kriterij zbog čega Wikitude SDK (ukupno 9 bodova) ostvaruje jedan bod više od Vuforia SDK (ukupno 8 bodova). Glavni zaključak ovog istraživanja je da je Wikitude SDK uz Vuforia SDK, najpogodniji za izradu edukacijskih aplikacija proširenih stvarnosti te da proširena stvarnost ima ogroman, no još uvijek neiskorišteni potencijal u edukaciji. [35]



Slika 10 Graf komparacije AR SDK [35]

Prethodno navedena istraživanja su glavni izvori komparativne analize vrsta SDK proširene stvarnosti, a temelje se na generalnim informacijama i tehničkim podacima pojedinih SDK [5][24] ili na podacima dobivenim praksom, tj. eksperimentalnim metodama[34]. U ovim istraživanjima vrste SDK su analizirane i komparirane prema vrsti licence, podržanim platformama, vrsti praćenja i detekcije proširene stvarnosti te generaciji markera proširene stvarnosti. Iz tih podataka mogu se iščitati generalne varijable i informacije koje su dostupne javno i kao takve dostupne svima te se većinom nalaze na službenim web stranicama ili u dokumentaciji svakog SDK-a. Ove informacije daju djelomični zaključak o mogućnostima svakog SDK. Naime, opće poznato je da teorijska

osnova daje upravo taj generalni uvid u nešto pa tako i za SDK proširene stvarnosti, dok je za stvarnu funkcionalnost i mogućnost potrebno odraditi praktični dio i tako izraditi aplikacije koje će opravdati i potvrditi činjenice iz teorije. Glavni zaključak ovih istraživanja je da se svaki SDK razlikuje prema prethodno navedenim kategorijama i da su osnovne mogućnosti svih jednake, no svaki od njih je uspješniji u pojedinom području praćenja i detekciji. [5][24] Treće istraživanje postavlja najvažnije zaključke jer stavlja utjecaj funkcionalnosti i prakse u razmatranje te za komparaciju SDK-ova koristi rezultate uzete iz prakse, a ukratko zaključuje da je prema svim kategorijama bilo generalnim, tehničkim ili funkcionalnim, najuspješniji SDK za izradu edukacijske aplikacije proširene stvarnosti *Wikitude AR SDK*. [35]

Istraživanja koja se bave srodnom tematikom, tj. tematikom iz domene izrade edukacijskih aplikacija proširene stvarnosti doprinose pojmu *edukacija* u užem i specijaliziranijem spektru. Prema tome, slijedeće vrste edukacije su specifično obrađene ranijim istraživanjima: kemija/kemijski inženjering [36], forenzična medicina [37], matematika i geometrija [38] te mnoga druga područja. Ova istraživanja su važna jer se fokusiraju na samo jedno područje edukacije, a ne na edukaciju općenito te kao takva omogućavaju detaljniji uvid u mogućnosti nekog SDK kroz aplikaciju koja je daleko specijalizirana, dok je njena namjena isključivo vezana uz određenu granu edukacije.

### **3.2. Problematika istraživanja**

Kao što je već prethodno spomenuto broj istraživanja koja se bave temom proširene stvarnosti i izrade edukacijskih aplikacija je izrazito oskudan. Više je mogućih razloga, no glavni razlog je taj što je proširena stvarnost te virtualna ili miješana stvarnost još uvijek novo područje te je kao takvo slabo istraženo. Iako postoje različite vrste aplikacija, od edukacijskih aplikacija pa sve do mobilnih igara - koje su ujedno i vodilja razvoja proširene i virtualne stvarnosti te zbog iznimno ubrzanog razvoja ove tehnološke grane, moguće je da upravo taj ubrzani razvoj na neki način ne dozvoljava objašnjavanje istih.

Terzopoulos i suradnici (n.d.) te Herpich i suradnici kao kriterij za odabir pogodnih SDK-ova za istraživanje se ograničavaju na SDK koji su bili ažurirani ili nadograđeni u nazad tri [24] ili nekoliko godina [35] te na one SDK-ove koji nisu ukinuti, što je u nekoj mjeri dobro, no sa sobom nosi i nekoliko loših strana. Prvi problem je što je vremenski period unazad tri ili više godina u današnje vrijeme izrazito dug, jer se softveri redovno ažuriraju mjesečno, dok se kompleksnije tehničke stvari ili noviteti uvode svaku iduću godinu. Iz toga proizlazi da pojedini popularni SDK koji eventualno nije ažuriran u protekle dvije godine možda ne može komparirati novo ažuriranom SDK-u. Isto tako s obzirom na učestale procese ažuriranja i nadogradnji ili ukidanja pojedinih

SDK-ova, ovakav kriterij postaje redundantan, a samim tim i dio istraživanja gubi na relevantnosti. Međutim, kriterij sa nekim vremenskim ograničenjem je nužan u ovakvim istraživanjima, iako on s vremenom gubi na relevantnosti jer sama komparacija SDK-ova bez ovog kriterija ne bi imala nikakvu vjerodostojnost jer je izrazito nepogodno komparirati SDK koji je ukinut i nije ažuriran na primjer već pet godina, sa SDK-om koji nije ukinut i koji je ažuriran u proteklih nekoliko mjeseci.

Terzopoulos i suradnici (n.d.) te Herpich i suradnici (2017) ističu još jedan problem koji je uočen tijekom procesa istraživanja, a to je da profesori i edukatori starije životne dobi ne posjeduju dovoljan nivo informatičke pismenosti kako bi uveli edukacijske aplikacije u edukaciju, a generalno gledano većina edukatora i profesora ne posjeduje programerske vještine i kompetencije kako bi izradili edukacijske aplikacije proširene stvarnosti. Stoga je i jedan od ciljeva ovakvih istraživanja komparacijom raznih SDK-ova, približiti i omogućiti lakšu i jednostavniju izradu edukacijskih aplikacija proširene stvarnosti bez većeg poznavanja programskih jezika i algoritama za sve profesore i edukatore kako bi proširena stvarnost mogla ispuniti svoju punu mogućnost u edukaciji. [24][35]

Stoga je ovo istraživanje usmjereno upravo na komparativnu analizu postojećih i najpopularnijih SDK-ova kako bi ostvarilo sponu između ranijih istraživanja te postavilo temelj za sva ostala buduća istraživanja. Kako bi se dobili što relevantniji rezultati te kako bi se reducirali prethodno spomenuti problemi, vrijednosti kriterija za odabir SDK-ova su hotimično smanjeni, dok je sam opseg broja kriterija i kategorija povećan.

## **4. Cilj istraživanja, istraživačka pitanja i hipoteze**

### **4.1. Cilj istraživanja**

Cilj ovog istraživanja je analizirati i usporediti trenutačno najbolje i najpopularnije SDK-ove za proširenu stvarnost unutar Unity Game Enginea, kako bi se kroz njihovu evaluaciju i dobivenim presjekom utvrdilo postoji li najpogodniji AR SDK za izradu edukacijskih aplikacija.

### **4.2. Istraživačka pitanja**

**IP1:** Razlikuju li se AR SDK-ovi prema postavljenim kriterijima te ako da u kojoj mjeri se razlikuju?

**IP2:** Postoji li AR SDK koji predvodi prema svim postavljenim kriterijima, tj. onaj koji je univerzalan i generalno najpogodniji za izradu edukacijskih aplikacija?

**IP3:** Postoji li AR SDK koji nije pogodan za izradu edukacijskih aplikacija?

### **4.3. Hipoteze**

**H1:** AR SDK-ovi se razlikuju prema postavljenim kriterijima, a mjera razlike statistički nije značajna.

**H2:** Ne postoji AR SDK koji predvodi prema svim postavljenim kriterijima, tj. ne postoji onaj koji je univerzalan i generalno najpogodniji za izradu edukacijskih aplikacija.

**H3:** Ne postoji AR SDK koji nije pogodan za izradu edukacijskih aplikacija.

## 5. Metodologija

### 5.1. Mjerni instrumenti

Relevantni podaci sortirani su prema unaprijed određenim kategorijama koje su tablično organizirane. Svakom podatku je dodijeljena numerička vrijednost prema modificiranoj Likertovoj skali (brojevi od 1 do 5). Prazna evaluacijska tablica sa kategorijama se nalazi u poglavlju „Prilozi“.

#### Značenje povezano sa numeričkim vrijednostima:

- 1 – u potpunosti ne zadovoljava kriterij
- 2 – ne zadovoljava kriterij
- 3 – djelomično zadovoljava kriterij
- 4 – zadovoljava kriterij
- 5 – u potpunosti zadovoljava kriterij

Isto tako kako bi značenje numeričkih vrijednosti bilo što relevantnije za ovo istraživanje, uspostavljene su i kontrolne varijable, tj. nulto značenje svake numeričke vrijednosti ovisno o kategoriji.

#### Značenje kategorija i kriterija:

Prvih pet kategorija (detekcija 2D slika - jednostavni model i složeni model/sa ili bez animacija, detekcija 3D objekata, detekcija više objekata, bez markerska detekcija) dijele iste kriterije pošto svi kriteriji održavaju različite aspekte detekcije. Prvi kriterij je podržava li ili ne podržava pojedinu vrstu detekciju. Ovaj kriterij služi kao kontrolna varijabla koja služi kao provjera za podržanost pojedine kategorije, pa prema tome ako pojedina kategorija nije podržana svi ostali kriteriji nisu uračunljivi i prema tome numerička vrijednost koja se pridružuje takvoj kategoriji je 0, no ako je kategorija podržana tada joj se pridružuje numerička vrijednost 1. Kao takva ova kontrolna varijabla sa svojom vrijednosti ne ulazi u ukupnu sumu ili završni postotak.

**Vrijeme pokretanja** - označava koliko vremena prođe od paljenja kamere do prikaza virtualne informacije.

**Vrijeme učitavanja** – označava koliko je vremena potrebno da se virtualna informacija nakon nestajanja ponovno prikaže.

Oba kriterija se mjere u sekundama prema skali koja slijedi prethodno modificiranu likertovu skalu, projekciju jednostavnih modela bez animacija: **5** – manje ili jednako 0.20s ,

- 4 – više od 0.20s, manje od/jednako 0.50s,
- 3 – više od 0.50s, manje od/jednako 1.00s ,
- 2 – više od 1.00s, manje od/jednako 1.50s,
- 1 – više od 1.50s

Za složenijih/više modela/modela sa animacijom: 5 – manje ili jednako 0.60s

- 4 – više od 0.60s, manje od/jednako 1.50s
- 3 – više od 1.50s, manje od/jednako 2.50s
- 2 – više od 2.50s, manje od/jednako 4.00s
- 1 – više od 4.00s

**Kvaliteta projekcije** – označava kvalitetu virtualne informacije s obzirom na vizualne ili auditivne aspekte, tj. označava stopu identičnosti virtualne informacije na zaslonu mobilnog uređaja prema identičnosti virtualne informacije na zaslonu računala u Unity Game Engineu .

**Količina treperenja** – označava koliko virtualna informacija treperi na zaslonu ekrana kada je kamera mobilnog uređaja statična ili kada je kamera mobilnog uređaja, tj. sam mobilni uređaj u malom pomaku.

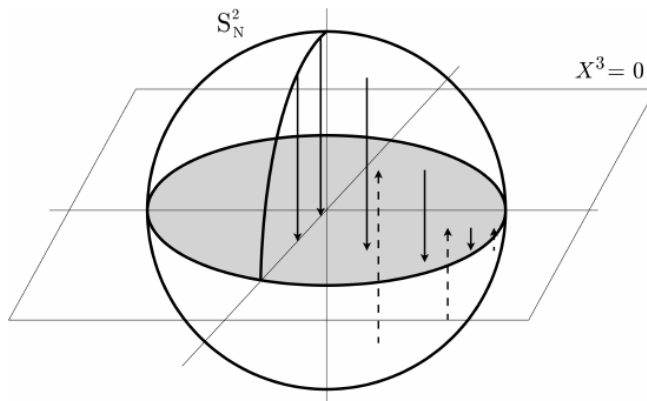
**Zadržavanje fokusa** – označava sposobnost centriranja virtualne informacije s obzirom na pomak markera ili na veći pomak uređaja.

Evaluacijska skala za kvalitetu projekcije i za zadržavanje fokusa je jednaka prethodno navedenoj modificiranoj likertovoj skali; 5 – odlična kvaliteta projekcije i zadržavanje fokusa, 1 – nedovoljna kvaliteta projekcije i zadržavanje fokusa, dakle viša vrijednost kvalitete kriterija, veća numerička vrijednost. S druge strane količina treperenja je obrnuta; 5 – nema treperenja, 1 – treperenje je konstantno, dakle niža vrijednost kvalitete kriterija, veća numerička vrijednost.

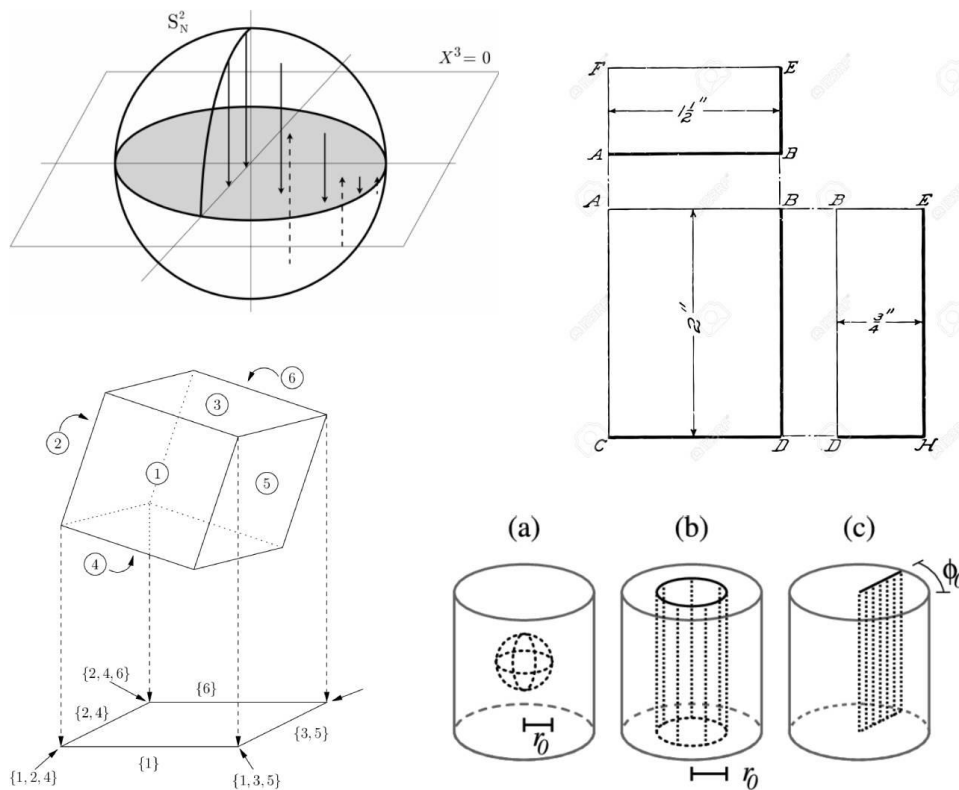
**Baza podataka target markera i rad na bazi podataka target markera** su pomoćne kategorije čija numerička vrijednost ne slijedi prethodno uspostavljenu modificiranu likertovu skalu. Obje kategorije sadrže tri kriterija koji su bodovani numeričkim vrijednostima 0 ako kriterij nije podržan ili numeričkom vrijednosti 2 ako je kriterij podržan. U slučaju ako je kriterij djelomično podržan, ako je kriterij podržan no iz njega proizlaze mogući problemi, tada mu je dodijeljena numerička vrijednost 1.

**Provjera kompatibilnosti** – označava postoji li integrirana skripta koja prilikom pokretanja gotove aplikacije provjerava je li aplikacija kompatibilna sa mobilnim uređajem ili sa njegovim operacijskim sustavom. Ako kriterij nije podržan, dodijeljena mu je numerička vrijednost 0, ako je podržan djelomično dodijeljena mu je numerička vrijednost 1, a ako je kriterij podržan u potpunosti dodijeljena mu je numerička vrijednost 2.

Kao target marker za detekciju 2D slika koristila se jedna slika, za detekciju više objekata koristile su se četiri slike, a za detekciju 3D objekata koristila se skulptura slona. Slike korištene u svrhu ovog istraživanja besplatno i sa velikom zahvalnošću su preuzete sa web stranice „Research Gate“ portala. [39]



Slika 11 Prikaz target markera korištenog za kategoriju "Detekcija 2D slika" [39]



Slika 12 Prikaz target markera korištenih za kategoriju "Detekcija više objekata" [39]





*Slika 13 Prikaz target markera korištenog za kategoriju "Detekcija 3D objekata"*

## **5.2. Postupak istraživanja i način prikupljanja podataka**

Praktični dio istraživanja je proveden u vremenskom periodu od 30 dana, specifično od 1. svibnja do 30. svibnja 2021. godine. Aplikacije proširene stvarnosti su izrađene koristeći prethodno navedene SDK-ove unutar Unity Game Enginea koristeći Android kao ciljnu platformu (*eng. Target Platform*). Kao izvor baze podataka za markere korištene su baze podataka u oblaku (*eng. Cloud Database*) matičnog SDK, kako bi se olakšao proces izrade aplikacija.

Svaka aplikacija zbog jednostavnosti nosi ime svog SDK (npr. za Vuforia AR SDK, ime aplikacije glasi „VuforiaResearchApp“) uz pomoć kojeg je izrađena te je isto tako identična s obzirom na ostale prema slijedećim kriterijima: korisničko sučelje, grafički i vizualni elementi (3d modeli, animacije), tekstualni elementi (font, veličina i boja slova), programski elementi (skripte za pokretanje te za interakciju sa korisničkim sučeljem). Dakle, svi elementi koji ne proizlaze iz SDK i koji su prema tome vanjski su identični te su kao takvi u ovom istraživanju nerelevantni i nevažeci faktori.



Slika 14 Primjer izrađenog korisničkog sučelja aplikacije "VuforiaResearchApp", tj. glavnog izbornika

Aplikacije su testirane na *Honor 10 Lite* mobilnom uređaju na Android platformi. Testiranjem svake aplikacije, praćene su i zapisivane relevantne varijable koje direktno odgovaraju evaluacijskim kategorijama. Nakon testiranja svih aplikacija, analizom i sintezom kvalitativnih i kvantitativnih rezultata dobiven je uvid u mogućnosti svakog SDK te odgovor na postavljena istraživačka pitanja.

Za ovo istraživanje važno je napomenuti da su traženi SDK-ovi morali ispunjavati slijedeće kriterije:

1. AR SDK mora podržavati Unity Game Engine, generalno u obliku dodatka
2. AR SDK mora podržavati Android platformu za mobilne uređaje kao ciljnu platformu
3. AR SDK je održavan ili nadograđivan barem jedanput u posljednje dvije godine
4. AR SDK je u potpunosti besplatan, ima besplatan probni rok uporabe od 30 dana ili više, ili je besplatan no sadržava vodeni žig (*eng. Watermark*) koji označava da se ne može koristiti u komercijalne svrhe
5. AR SDK dolazi sa/ili postoji biblioteka i/ili dokumentacija koja olakšava učenje i izradu aplikacije njegovim korištenjem

S obzirom na navedene izborne kriterije te na ograničeno vrijeme istraživanja odabrana su četiri SDK kroz koje je ovo istraživanje bilo izvršeno, a to su: Vuforia AR SDK, Wikitude AR SDK, Easy AR Sense SDK te MaxST AR SDK.

*Tablica 2 Tablica izbornih kriterija za Vuforia Engine AR SDK [40]*

|   |  |
|---|--|
| <b>1.Podržavanje Unity Game Enginea</b> | Podržava u obliku dodatka, .pack format datoteke |
| <b>2.Podržavanje Android platforme</b>  | Podržava   |
| <b>3.Nadogradnje sustava</b>            | Zadnja nadogradnja 3. veljače 2021.              |
| <b>4.Tip besplatne licence</b>          | Besplatna nekomercijalna sa vodenim žigom        |
| <b>5.Biblioteka ili dokumentacija</b>   | Podržava oboje                                   |

*Tablica 3 Tablica izbornih kriterija za Wikitude AR SDK [41]*

|   |  |
|---|--|
| <b>1.Podržavanje Unity Game Enginea</b> | Podržava u obliku dodatka, .pack format datoteke                           |
| <b>2.Podržavanje Android platforme</b>  | Podržava   |
| <b>3.Nadogradnje sustava</b>            | Zadnja nadogradnja 28. travnja 2021.                                       |
| <b>4.Tip besplatne licence</b>          | Besplatna nekomercijalna uz probni rok uporabe od 45 dana sa vodenim žigom |
| <b>5.Biblioteka ili dokumentacija</b>   | Podržava oboje   |

*Tablica 4 Tablica izbornih kriterija za Easy AR Sense SDK [42]*

|   |  |
|---|--|
| <b>1.Podržavanje Unity Game Enginea</b> | Podržava u obliku dodatka, .pack format datoteke |
| <b>2.Podržavanje Android platforme</b>  | Podržava   |
| <b>3.Nadogradnje sustava</b>            | Zadnja nadogradnja 13. travnja 2021.             |
| <b>4.Tip besplatne licence</b>          | Besplatna nekomercijalna sa vodenim žigom        |
| <b>5.Biblioteka ili dokumentacija</b>   | Podržava oboje                                   |

*Tablica 5 Tablica izbornih kriterija za MaxST AR SDK [43]*

|   |  |
|---|--|
| <b>1.Podržavanje Unity Game Enginea</b> | Podržava u obliku dodatka, .pack format datoteke                           |
| <b>2.Podržavanje Android platforme</b>  | Podržava   |
| <b>3.Nadogradnje sustava</b>            | Zadnja nadogradnja 21. kolovoza 2020.                                      |
| <b>4.Tip besplatne licence</b>          | Besplatna nekomercijalna uz probni rok uporabe od 30 dana sa vodenim žigom |
| <b>5.Biblioteka ili dokumentacija</b>   | Podržava oboje   |

## 6. Analiza rezultata

### 6.1. Vuforia AR SDK

Prvi SDK nad kojim je bilo provedeno istraživanje bio je Vuforia AR SDK. Vuforia AR SDK podržava sve kategorije koje se evaluiraju prema modificiranoj likertovoj skali, a kategorije koje podržava su: detekcija 2D slika - jednostavna i složena, detekcija 3D objekata, detekcija više objekata i bez markerska detekcija.

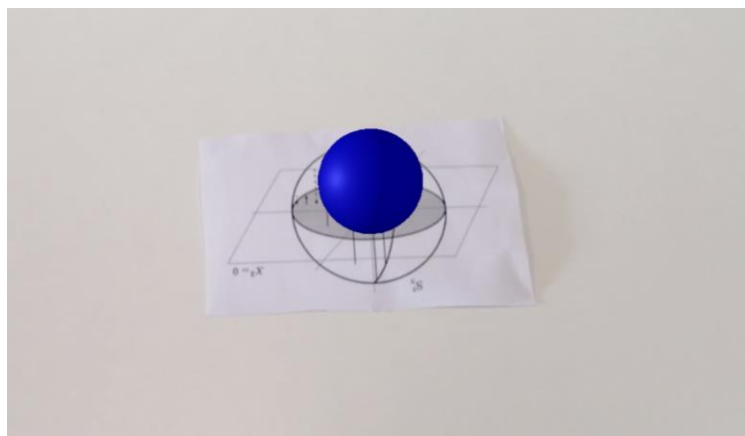
U kategoriji „Detekcija 2D slika“, „Vrijeme pokretanja“ jednostavnog modela (vizualno virtualne informacije) je bilo instantno, tj. golom oku nevidljivo, a računalno je izmjerena vrijednost manja od vrijednosti broja na dvije decimale pa je prema tome vrijeme pokretanja 0,00 sekunde, a prema modificiranoj likertovoj skali ovom kriteriju je dodijeljena vrijednost 5. S druge strane vrijeme pokretanja složenog modela sa animacijom je bilo 1,32 sekunde, a prema modificiranoj likertovoj skali ovom kriteriju je dodijeljena vrijednost 4.

Prema kriteriju „Kvaliteta projekcije“ i za jednostavan objekt i sa složeni objekt dodijeljena je vrijednost 5 jer je vizualna virtualna informacija identično prikazana na zaslonu mobilnog uređaja kroz aplikaciju i na zaslonu računala.

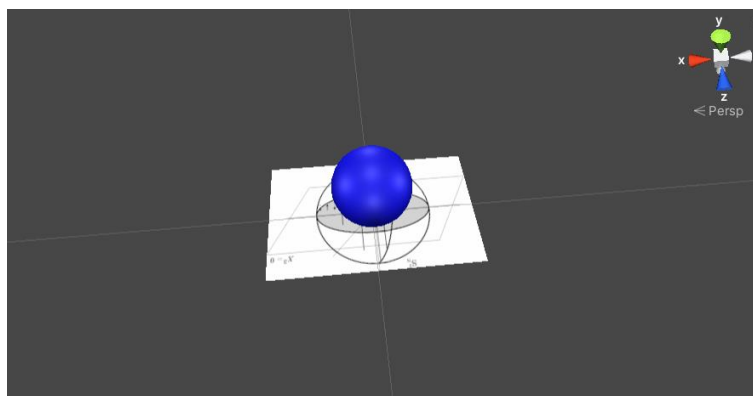
Prema kriteriju „Količina treperenja“ dodijeljena vrijednost je 5 jer virtualna informacija ne treperi kada je kamera mobilnog uređaja statična ni kada je kamera mobilnog uređaja u slabom pomaku.

Prema kriteriju „Zadržavanje fokusa“ dodijeljena vrijednost je 5 za jednostavan i složeni model sa animacijom jer prilikom pomaka target markera ili prilikom većeg pomaka kamere mobilnog uređaja, virtualna informacija ostaje centrirana na target markeru uz statistički neznačajne pomake.

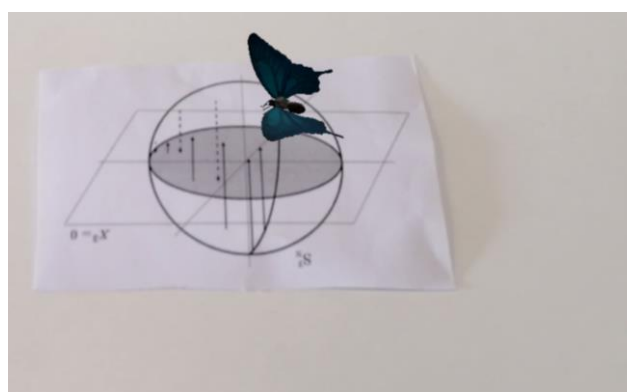
Prema kriteriju „Vrijeme učitavanja“, vrijeme učitavanja jednostavnog modela je instantno te vrijedi isti opis kao i za kriterij „Vrijeme pokretanja“ jednostavnog modela te je stoga vrijeme učitavanja 0,00 sekunde, a dodijeljena vrijednost je 5, dok je s druge strane vrijeme učitavanja složenog modela s animacijom 0,48 sekunde, a dodijeljena vrijednost je 5.



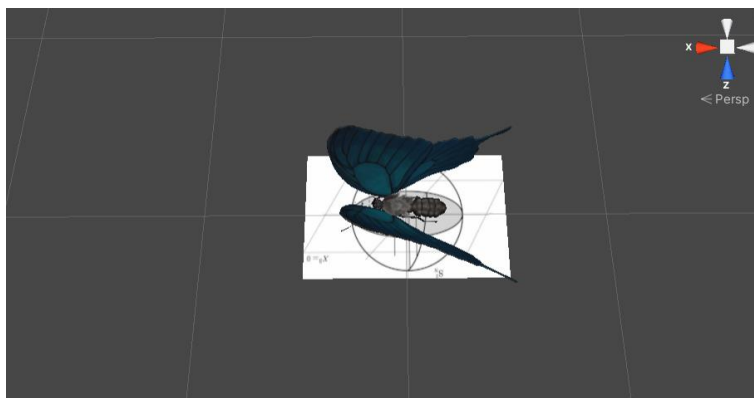
*Slika 15 Detekcija 2D slika - J: Prikaz jednostavnog modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije VuforiaResearchApp*



*Slika 16 Detekcija 2D slika - J: Prikaz jednostavnog modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći Vuforia AR SDK*



*Slika 17 Detekcija 2D slika - S: Prikaz složenog modela sa animacijom sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije VuforiaResearchApp*



*Slika 18 Detekcija 2D slika - S: Prikaz složenog modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći Vuforia AR SDK*

U kategoriji „Detekcija 3D“ objekata, kriterij „Vrijeme pokretanja“ virtualne informacije iznosi 0,98 sekundi te kao takvo zadovoljava kriterij jer je u rasponu od 0,60 sekundi do 1,50 sekundi, a prema modificiranoj likertovoj skali ovom kriteriju je dodijeljena vrijednost 4.

Prema kriteriju „Kvaliteta projekcije“ virtualne informacije dodijeljena je vrijednost 5 jer je vizualna virtualna informacija identično prikazana na zaslonu mobilnog uređaja kroz aplikaciju i na zaslonu računala.

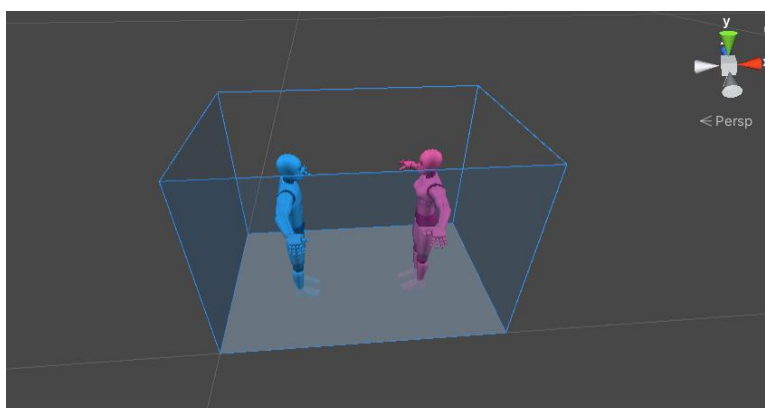
Prema kriteriju „Količina treperenja“ dodijeljena vrijednost je 5 jer virtualna informacija ne treperi kada je kamera mobilnog uređaja statična ni kada je kamera mobilnog uređaja u slabom pomaku.

Prema kriteriju „Zadržavanje fokusa“ dodijeljena vrijednost je 3 jer iako virtualna informacija zadržava fokus, tj. centrirana je prilikom većeg pomaka kamere mobilnog uređaja, no prilikom pomaka target markera virtualna informacija ne ostaje centrirana na target markeru, već svojom rotacijom ili translacijom gubi svojstvo centriranja te uopće ne slijedi target marker, što ujedno znači da je ovaj kriterij djelomično zadovoljen.

Prema kriteriju „Vrijeme učitavanja“, vrijeme učitavanja virtualnih informacija zadovoljava kriterij jer je manje od 0,60 sekundi, a iznosi 0,38 sekundi te je prema modificiranoj likertovoj skali dodijeljena vrijednosti 5.



*Slika 19 Detekcija 3D objekta: Prikaz modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije VuforiaResearchApp*



*Slika 20 Detekcija 3D objekta: Prikaz modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći Vuforia AR SDK*

U kategoriji „Detekcija više objekata“, kriterij „Vrijeme pokretanja“ virtualnih informacija iznosi 0,61 sekundu te kao takvo zadovoljava kriterij jer je u rasponu od 0,60 sekundi do 1,50 sekundi, a prema modificiranoj likertovoj skali ovom kriteriju je dodijeljena vrijednost 4.

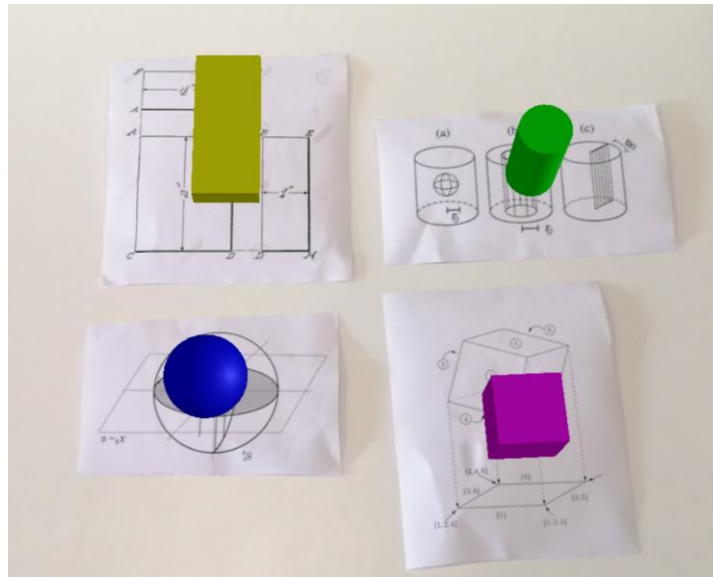
Prema kriteriju „Kvaliteta projekcije“ virtualne informacije dodijeljena je vrijednost 5 jer je vizualna virtualna informacija identično prikazana na zaslonu mobilnog uređaja kroz aplikaciju i na zaslonu računala.

Prema kriteriju „Količina treperenja“ dodijeljena vrijednost je 5 jer virtualna informacija ne treperi kada je kamera mobilnog uređaja statična ni kada je kamera mobilnog uređaja u slabom pomaku.

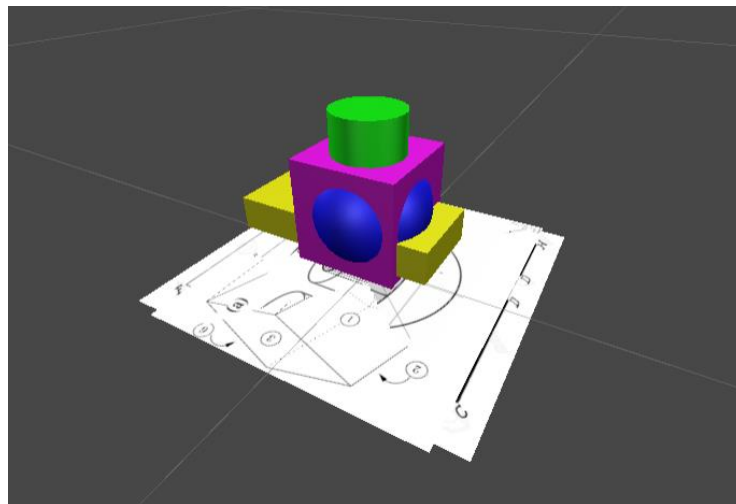
Prema kriteriju „Zadržavanje fokusa“ dodijeljena vrijednost je 2 jer prilikom pomaka target markera ili prilikom većeg pomaka kamere mobilnog uređaja, virtualna informacija ne ostaje

centrirana na target markeru te se ne vraća u centar target markera u statistički značajnom vremenskom periodu – prosječno vrijeme centriranja su 4 sekunde.

Prema kriteriju „Vrijeme učitavanja“, vrijeme učitavanja virtualnih informacija u potpunosti zadovoljava kriterij jer je manje od 0,60 sekundi, a iznosi 0,16 sekundi te je ovom kriteriju dodijeljena vrijednost 5.



*Slika 21 Detekcija više objekata: Prikaz modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije VuforiaResearchApp*



*Slika 22 Detekcija više objekata: Prikaz modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći Vuforia AR SDK*



U kategoriji „Bez markerska detekcija“, „Vrijeme pokretanja“ virtualne informacije je bilo instantno, a računalno izmjerena vrijednost je manja od vrijednosti broja na dvije decimale pa je prema tome vrijeme pokretanja 0,00 sekundi, stoga je ovom kriteriju dodijeljena vrijednost 5.

Prema kriteriju „Kvaliteta projekcije“ dodijeljena je vrijednost 5 jer je vizualna virtualna informacija identično prikazana na zaslonu mobilnog uređaja kroz aplikaciju i na zaslonu računala.

Prema kriteriju „Količina treperenja“ dodijeljena vrijednost je 4 jer virtualna informacija treperi u značajno maloj količini kada je kamera mobilnog uređaja statična te kada je kamera mobilnog uređaja u slabom pomaku.

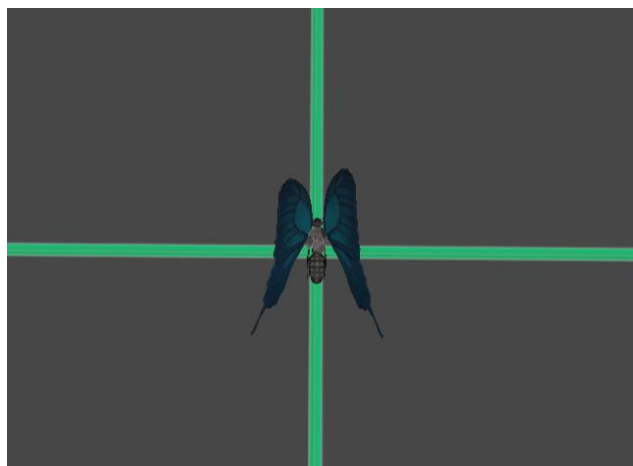
Prema kriteriju „Zadržavanje fokusa“ dodijeljena vrijednost je 5 jer prilikom pomaka target markera ili prilikom većeg pomaka kamere mobilnog uređaja, virtualna informacija ostaje centrirana na target markeru uz statistički neznačajne pomake.

Prema kriteriju „Vrijeme učitavanja“, vrijeme učitavanja virtualne informacije je instantno te vrijedi isti opis kao i za kriterij „Vrijeme pokretanja“, stoga je vrijeme učitavanja 0,00 sekundi, a dodijeljena vrijednost je 5.

Bez markerski dio aplikacije izveden je kao posebna aplikacija, zbog poznatog problema Vuforia AR SDK unutar Unity Game Enginea koji ne dopušta rad bez markerske detekcije ako bez markerska scena nije prva scena prilikom pokretanja aplikacije.



*Slika 23 Bez markerska detekcija: Prikaz modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije VuforiaResearchApp*



*Slika 24 Bez markerska detekcija: Prikaz modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći Vuforia AR SDK*

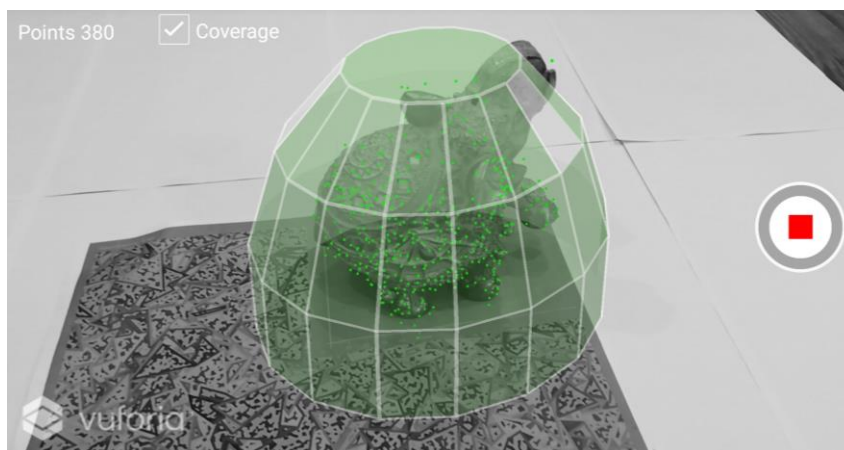
U kategoriji „Baza podataka target markera“, Vuforia AR SDK omogućava internu bazu podataka formata *.unitypackage* koja dolazi u instalacijskom paketu zajedno sa aplikacijom (*.apk* format), ali i omogućava eksternu bazu podataka koja se zajedno sa aplikacijom nalazi na mobilnom uređaju. Isto tako podržava i bazu podataka target markera koja se nalazi u oblaku, no za nju je potrebna stalna veza sa internetom jer u protivnom aplikacija prestaje sa svojim radom.

| <input type="checkbox"/> | Target Name      | Type         | Rating <sup>ⓘ</sup> | Status <sup>▼</sup> | Date Modified      |
|--------------------------|------------------|--------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| <input type="checkbox"/> | cube_Projec      | Single Image | ★★★★☆               | Active              | Jun 07, 2021 17:08 |
| <input type="checkbox"/> | cylinder_Projec  | Single Image | ★★★★★               | Active              | Jun 07, 2021 17:08 |
| <input type="checkbox"/> | rectangle_Projec | Single Image | ★★★★☆               | Active              | Jun 07, 2021 17:07 |
| <input type="checkbox"/> | slon             | Object       | n/a                 | Active              | May 29, 2021 16:51 |
| <input type="checkbox"/> | sphere_Proj      | Single Image | ★★★★☆               | Active              | May 28, 2021 17:01 |

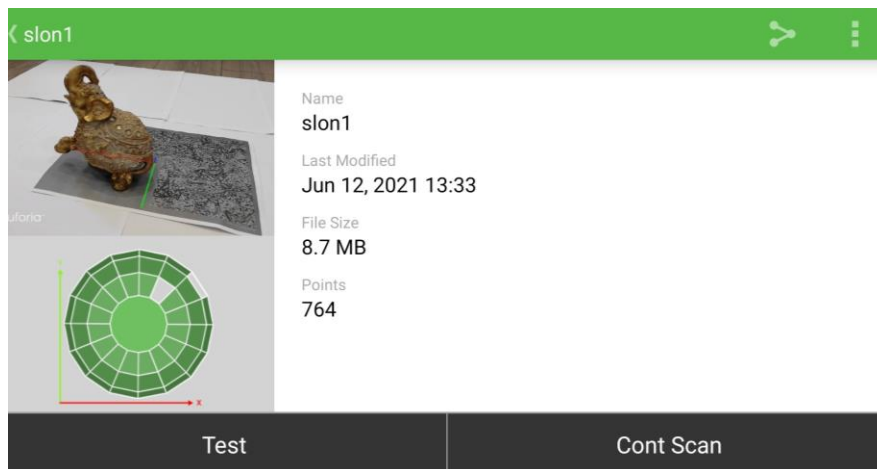
*Slika 25 Prikaz Vuforia AR SDK baze podataka u oblaku unutar web preglednika, tj. „Vuforia Target Manager“*

U kategoriji „Rad na bazi podataka target markera“, Vuforia AR SDK podržava rad na bazi podataka u oblaku, tj. koristi „Vuforia Target Manager“ koja je web baza podataka u oblaku. S

druge strane ne podržava rad na bazi podataka izvan „Vuforia Target Managera“, što ograničava rad na bazi podataka samo kada je internetska veza dostupna, a to u bilo kojem trenutku može predstavljati problem u samom tijeku izrade aplikacije. Izrada 3D markera zahtjeva posebnu aplikaciju „Vuforia Object Scanner“, koja omogućuje skeniranje stvarnog objekta u oblak točaka koji je spremljen u .od formatu, a Vuforia AR SDK ga kasnije sprema i automatski prepoznaje, što znatno olakšava proces izrade 3D objekta kao target markera.



Slika 26 Prikaz proces izrade 3D markera koristeći aplikaciju „Vuforia Object Scanner“



Slika 27 Prikaz skeniranog 3D objekta unutar aplikacije „Vuforia Object Scanner“

U kategoriji „Provjera kompatibilnosti“, Vuforia AR SDK unutar Unity Game Enginea provjerava samo je li moguća početna inicijalizacija aplikacije, no ne provjerava kompatibilnost aplikacije sa vrstom pametnog telefona (vrsta/brand pametnog telefona, npr. Samsung, Huawei i dr.) ili sa njegovom verzijom operacijskog sustava. Ovaj problem najviše dolazi do izražaja kada se kamera mobilnog uređaja uključuje, tj. ne uključuje, a sama aplikacija tada ne detektira target

marker i ne prikazuje virtualnu informaciju, upravo zbog nekompatibilnosti aplikacije sa vrstom pametnog telefona ili sa njegovom verzijom operacijskog sustava.

Tablica 6 Tablica evaluacije kategorija Vuforia AR SDK

| KATEGORIJE/KRITERIJI                | Podržava li    | Vrijeme pokretanja | Kvaliteta projekcije | Količina treperenja | Zadržavanje fokusa | Vrijeme učitavanja |
|-------------------------------------|----------------|--------------------|----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| Detekcija 2D slika - J              | 1              | 5                  | 5                    | 5                   | 5                  | 5                  |
| Detekcija 2D slika - S              | 1              | 4                  | 5                    | 5                   | 5                  | 5                  |
| Detekcija 3D objekata               | 1              | 4                  | 5                    | 5                   | 3                  | 5                  |
| Detekcija više objekata             | 1              | 4                  | 5                    | 5                   | 2                  | 5                  |
| Bez markerska detekcija             | 1              | 5                  | 5                    | 4                   | 5                  | 5                  |
|                                     | Uređaj interna | Uređaj eksterna    | U oblaku             |                     |                    |                    |
| Baza podataka target markera        | 2              | 2                  | 2                    |                     |                    |                    |
|                                     | U oblaku       | Izvan oblaka       | Izrada 3D markera    |                     |                    |                    |
| Rad na bazi podataka target markera | 2              | 0                  | 2                    |                     |                    |                    |
|                                     | Postoji li     |                    |                      |                     |                    |                    |
| Provjera kompatibilnosti            | 1              |                    |                      |                     |                    |                    |
| <b>SUMA</b>                         | 127            | <b>POSTOTAK</b>    | 91,37%               |                     |                    |                    |

## 6.2. Wikitude AR SDK

Drugi SDK nad kojim je bilo provedeno istraživanje bio je Wikitude AR SDK. Wikitude AR SDK podržava sve kategorije koje se evaluiraju prema modificiranoj likertovoj skali, a kategorije koje podržava su: detekcija 2D slika jednostavna i složena, detekcija 3D objekata, detekcija više objekata i bez markerska detekcija.

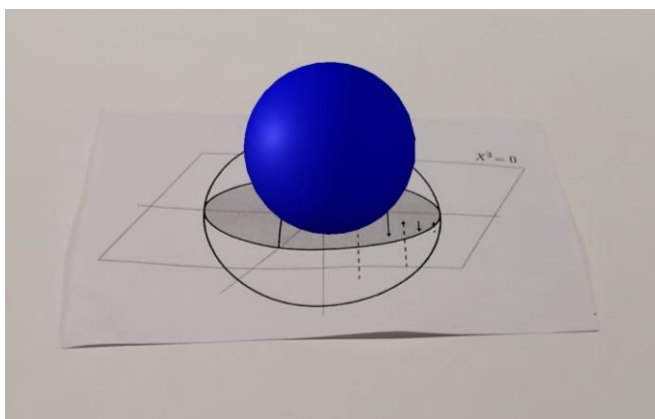
U kategoriji „Detekcija 2D slika“, „Vrijeme pokretanja“ jednostavnog modela je bilo instantno, pa je prema tome vrijeme pokretanja 0,00 sekundi, a prema modificiranoj likertovoj skali ovom kriteriju je dodijeljena vrijednost 5. Isto tako vrijeme pokretanja složenog modela sa animacijom je bilo instantno, pa je prema tome vrijeme pokretanja također 0,00 sekundi, a prema modificiranoj likertovoj skali ovom kriteriju je dodijeljena vrijednost 5.

Prema kriteriju „Kvaliteta projekcije“ i za jednostavan objekt i sa složeni objekt dodijeljena je vrijednost 5 jer je vizualna virtualna informacija identično prikazana na zaslonu mobilnog uređaja kroz aplikaciju i na zaslonu računala.

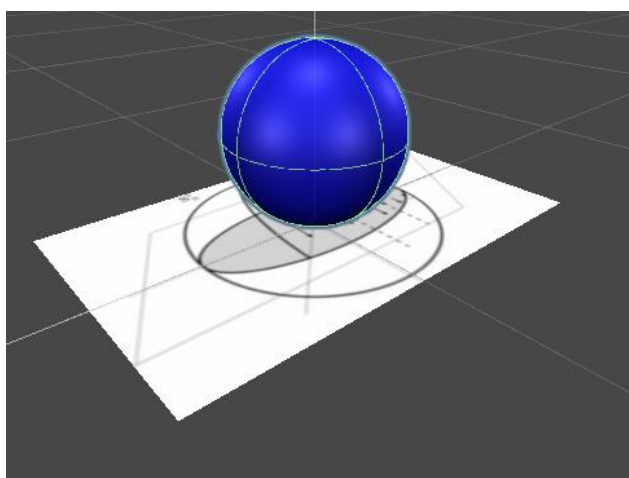
Prema kriteriju „Količina treperenja“ dodijeljena vrijednost je 5 jer virtualna informacija ne treperi kada je kamera mobilnog uređaja statična ni kada je kamera mobilnog uređaja u slabom pomaku.

Prema kriteriju „Zadržavanje fokusa“ dodijeljena vrijednost je 5 za jednostavan i složeni model sa animacijom jer prilikom pomaka target markera ili prilikom većeg pomaka kamere mobilnog uređaja, virtualna informacija ostaje centrirana na target markeru uz statistički neznačajne pomake.

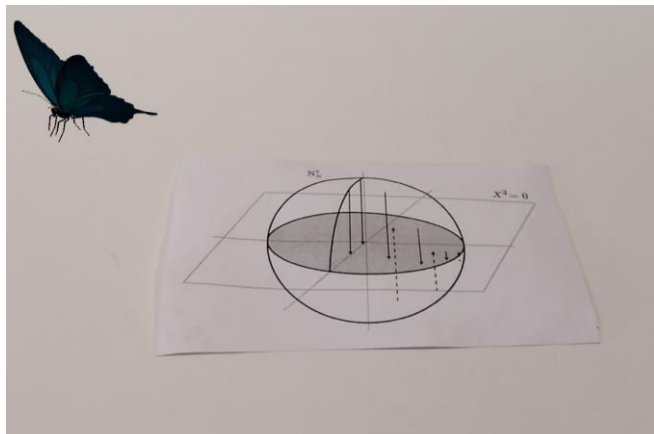
Prema kriteriju „Vrijeme učitavanja“, vrijeme učitavanja jednostavnog modela je 0,34 sekunde, a dodijeljena numerička vrijednost prema uspostavljenoj skali je 4, dok je s druge strane vrijeme učitavanja složenog modela s animacijom instantno, a dodijeljena numerička vrijednost je 5.



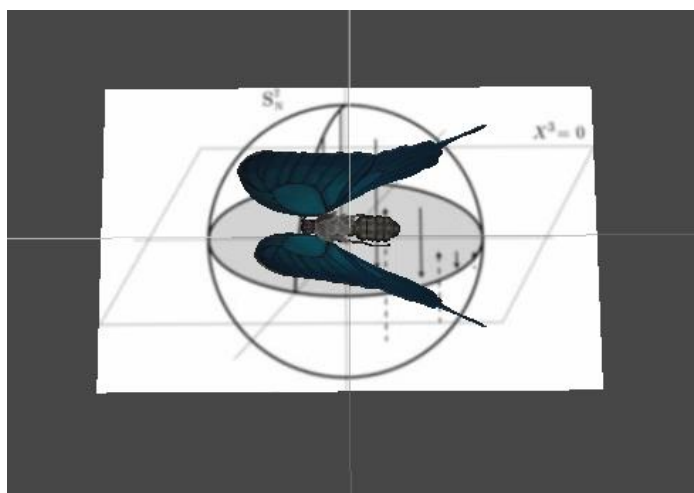
*Slika 28 Detekcija 2D slika - J: Prikaz jednostavnog modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije WikitudeResearchApp*



*Slika 29 Detekcija 2D slika - J: Prikaz jednostavnog modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći Wikitude AR SDK*



*Slika 30 Detekcija 2D slika - S: Prikaz složenog modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije WikitudeResearchApp*



*Slika 31 Detekcija 2D slika - S: Prikaz složenog modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći Wikitude AR SDK*

U kategoriji „Detekcija 3D objekata“, vrijeme virtualne informacije iznosi 0,98 sekundi te kao takvo zadovoljava kriterij jer je u rasponu od 0,60 sekundi do 1,50 sekundi, a prema modificiranoj likertovoj skali ovom kriteriju je dodijeljena vrijednost 4.

Prema kriteriju „Kvaliteta projekcije“ virtualne informacije dodijeljena je vrijednost 5 jer je vizualna virtualna informacija identično prikazana na zaslonu mobilnog uređaja kroz aplikaciju i na zaslonu računala.

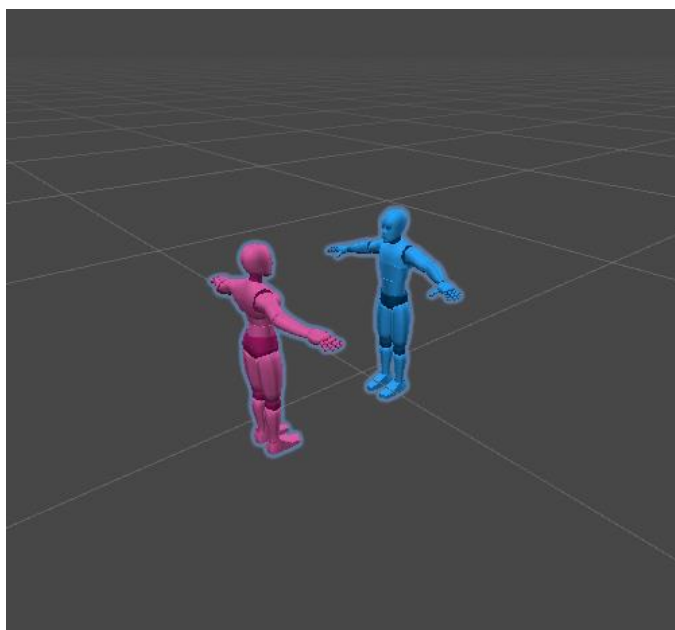
Prema kriteriju „Količina treperenja“ dodijeljena vrijednost je 5 jer virtualna informacija ne treperi kada je kamera mobilnog uređaja statična ni kada je kamera mobilnog uređaja u slabom pomaku.

Prema kriteriju „Zadržavanje fokusa“ dodijeljena vrijednost je 5 jer prilikom pomaka target markera ili prilikom većeg pomaka kamere mobilnog uređaja, virtualna informacija ostaje centrirana na target markeru uz statistički neznačajne pomake.

Prema kriteriju „Vrijeme učitavanja“, vrijeme učitavanja virtualnih informacija je instantno, te je prema modificiranoj likertovoj skali dodijeljena vrijednosti 5



*Slika 32 Detekcija 3D objekta: Prikaz modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije WikitudeResearchApp*



*Slika 33 Detekcija 3D objekta: Prikaz modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći Wikitude AR SDK*

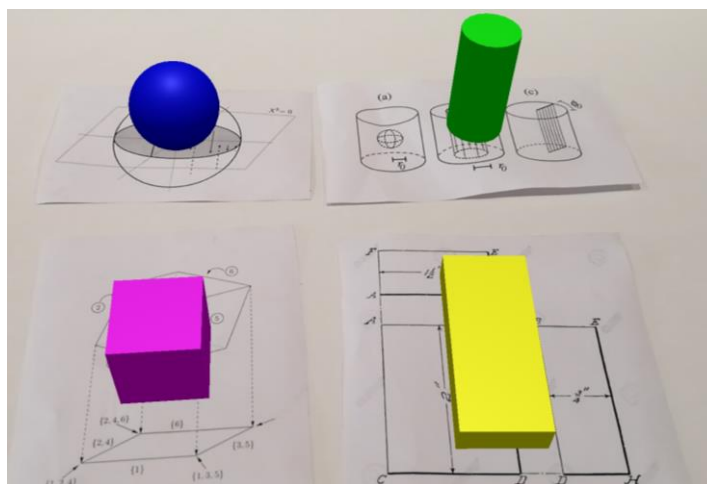
U kategoriji „Detekcija više objekata“, „Vrijeme pokretanja“ virtualnih informacija iznosi 1,28 sekundi te kao takvo zadovoljava kriterij jer je u rasponu od 0,60 sekundi do 1,50 sekundi, a prema modificiranoj likertovoj skali ovom kriteriju je dodijeljena vrijednost 4.

Prema kriteriju „Kvaliteta projekcije“ virtualne informacije dodijeljena je vrijednost 5 jer je vizualna virtualna informacija identično prikazana na zaslonu mobilnog uređaja kroz aplikaciju i na zaslonu računala.

Prema kriteriju „Količina treperenja“ dodijeljena vrijednost je 3 jer virtualna informacija treperi u statistički značajno srednjoj količini kada je kamera mobilnog uređaja statična i kada je kamera mobilnog uređaja u slabom pomaku.

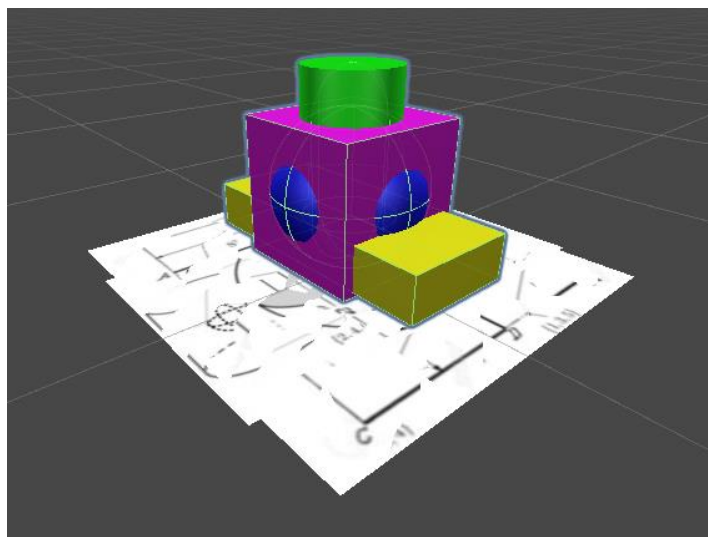
Prema kriteriju „Zadržavanje fokusa“ dodijeljena vrijednost je 3 jer iako virtualna informacija zadržava fokus, tj. centrirana je prilikom većeg pomaka kamere mobilnog uređaja, no prilikom pomaka target markera virtualna informacija ne ostaje centrirana na target markeru, već svojom rotacijom ili translacijom gubi svojstvo centriranja te uopće ne slijedi target marker, što ujedno znači da je ovaj kriterij djelomično zadovoljen.

Prema kriteriju „Vrijeme učitavanja“, vrijeme učitavanja virtualnih informacija iznosi 3,47 sekundi te kao takvo zadovoljava kriterij jer je u rasponu od 2,50 sekundi do 4,00 sekunde, a prema modificiranoj likertovoj skali ovom kriteriju je dodijeljena vrijednost 2.



*Slika 34 Detekcija više objekata: Prikaz modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije WikitudeResearchApp*





*Slika 35 Detekcija više objekata: Prikaz modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći Wikitude AR SDK*

U kategoriji „Bez markerska detekcija“, „Vrijeme pokretanja“ virtualne informacije je bilo instantno, a računalno izmjerena vrijednost je manja od vrijednosti broja na dvije decimale pa je prema tome vrijeme pokretanja 0,00 sekundi, stoga je ovom kriteriju dodijeljena vrijednost 5.

Prema kriteriju „Kvaliteta projekcije“ dodijeljena je vrijednost 5 jer je vizualna virtualna informacija identično prikazana na zaslonu mobilnog uređaja kroz aplikaciju i na zaslonu računala.

Prema kriteriju „Količina treperenja“ dodijeljena vrijednost je 5 jer virtualna informacija ne treperi kada je kamera mobilnog uređaja statična ni kada je kamera mobilnog uređaja u slabom pomaku.

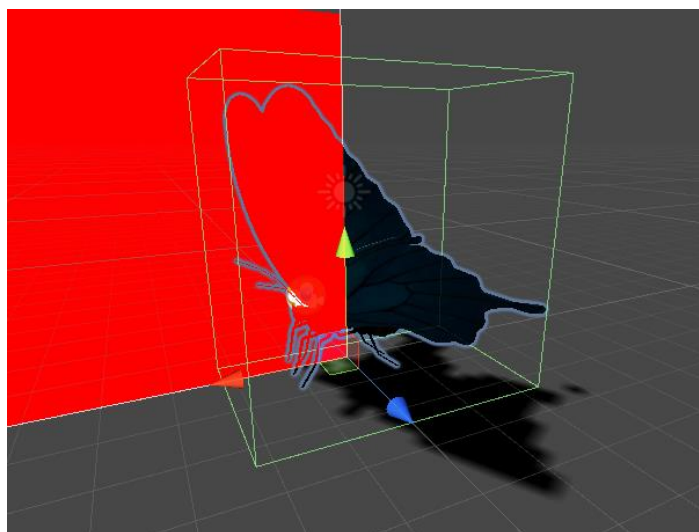
Prema kriteriju „Zadržavanje fokusa“ dodijeljena vrijednost je 5 jer prilikom pomaka target markera ili prilikom većeg pomaka kamere mobilnog uređaja, virtualna informacija ostaje centrirana na target markeru uz statistički neznačajne pomake.

Prema kriteriju „Vrijeme učitavanja“, vrijeme učitavanja virtualne informacije je instantno te vrijedi isti opis kao i za kriterij „Vrijeme pokretanja“, stoga je vrijeme učitavanja 0,00 sekundi, a dodijeljena vrijednost je 5.

Za uspješan rad bez markerskog dijela aplikacije potreban je barem akcelerometar koji mjeri usmjereno kretanje, tj. linearnu akceleraciju. Prema tome ovaj dio aplikacije je nemoguće testirati unutar Unity Game Engine, već se mora testirati kao aplikacija na pametnom telefonu, pošto pametan telefon sadrži akcelerometar.

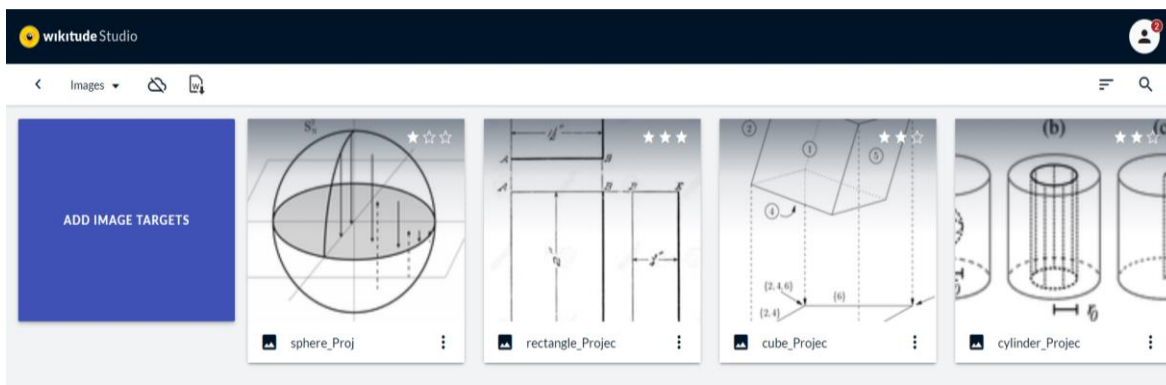


*Slika 36 Bez markerska detekcija: Prikaz modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije WikitudeResearchApp*

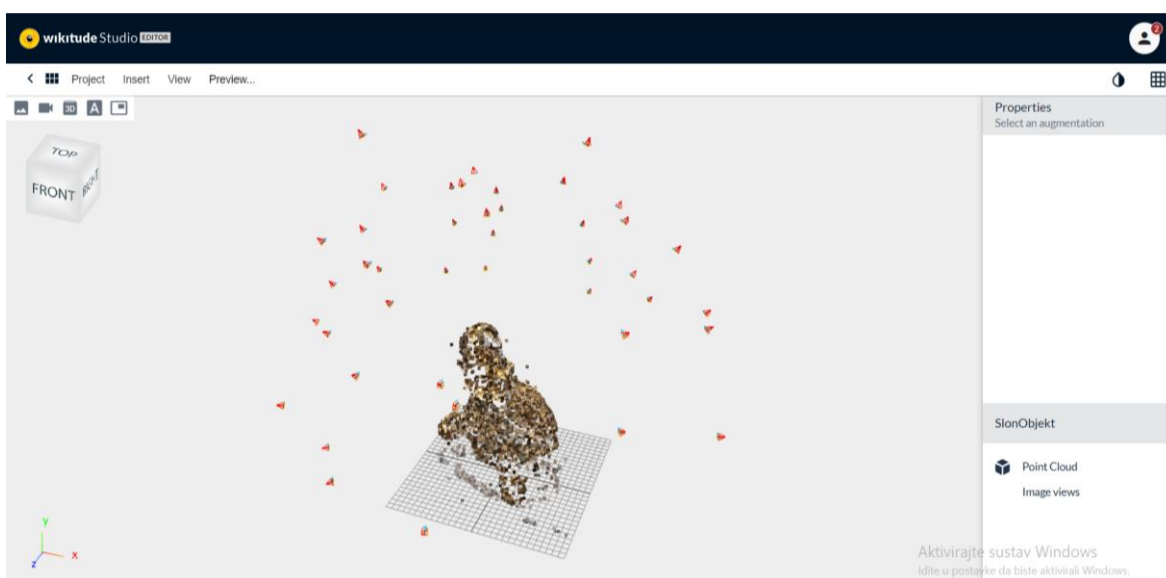


*Slika 37 Bez markerska detekcija: Prikaz modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći Wikitude AR SDK*

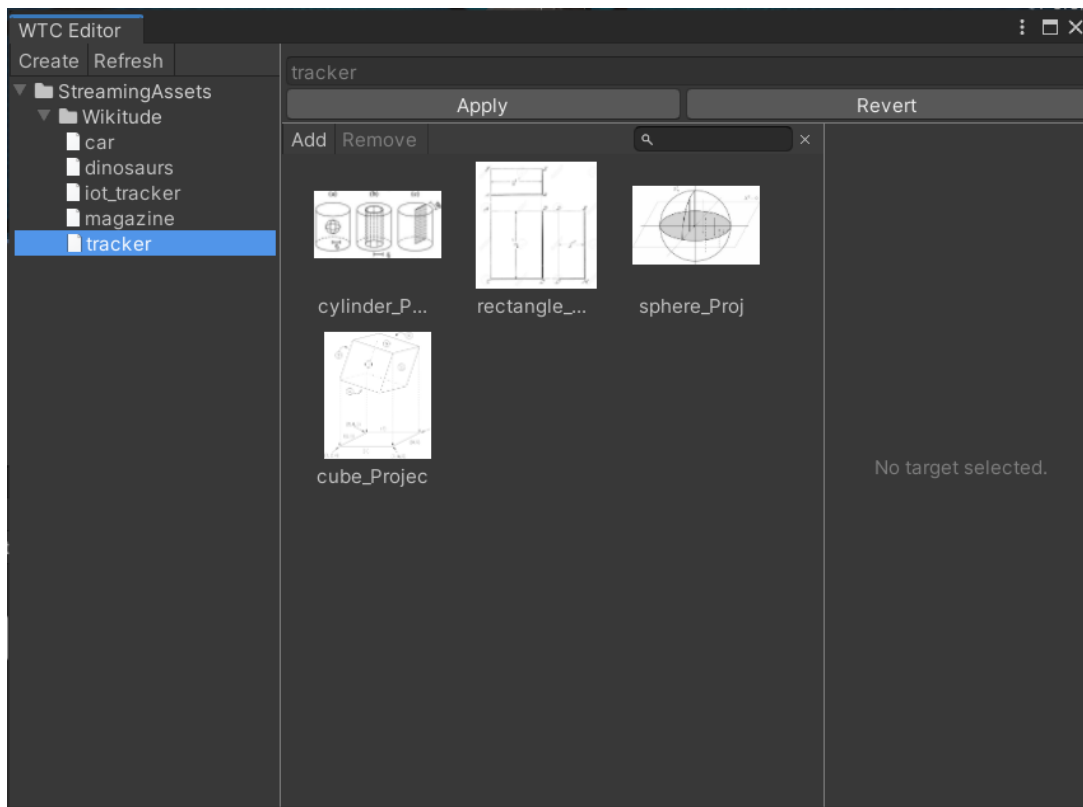
U kategoriji „Baza podataka target markera“, Wikitude AR SDK omogućava internu bazu podataka formata *.wtc* za bazu podataka target markera za detekciju 2D slika te internu bazu podataka formata *.wto* za bazu podataka target markera za detekciju 3D objekata. Obje interne baze podataka dolaze u instalacijskom paketu zajedno sa aplikacijom (*.apk* format), te isto tako omogućava eksterne baze podataka koja se zajedno sa aplikacijom nalazi na mobilnom uređaju. Podržava i bazu podataka target markera koja se nalazi u oblaku no ona je omogućena samo kada postoji veza sa internetom.



*Slika 38 Prikaz Wikitude AR SDK baze podataka za detekciju 2D slika u oblaku unutar web preglednika*

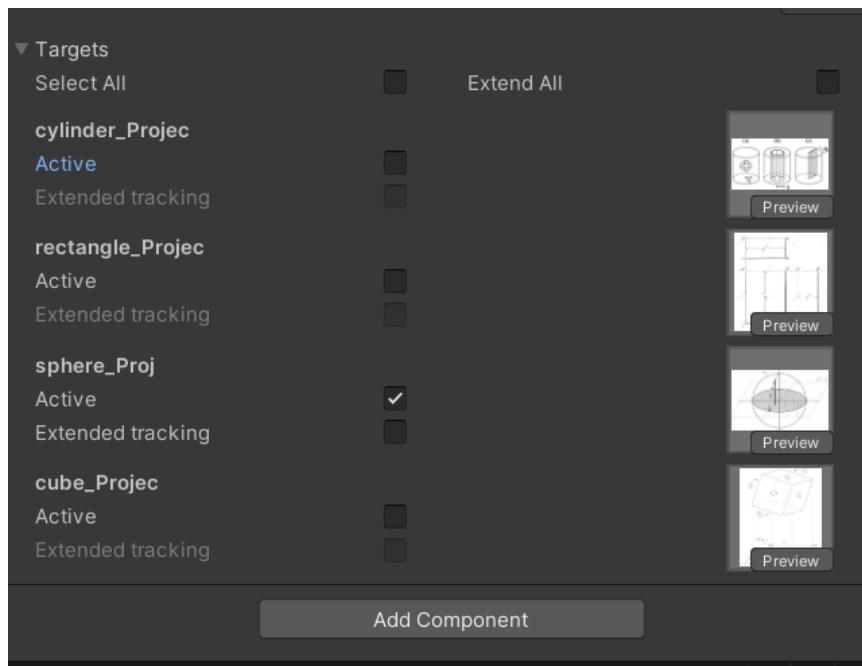


*Slika 39 Prikaz Wikitude AR SDK baze podataka za detekciju 3D objekata u oblaku unutar web preglednika*



Slika 40 Prikaz Wikitude AR SDK baze podataka unutar Unity Game Enginea - „WTC Editor“

U kategoriji „Rad na baz podataka target markera“, Wikitude AR SDK podržava rad na bazi podataka u oblaku. Baze podataka target markera za detekciju 2D slika i baza podataka target markera za detekciju 3D objekata su međusobno odvojene, kako ne bi došlo do miješanja različitih vrsta target markera, što uvelike olakšava rad na bazama podataka. Isto tako Wikitude AR SDK podržava rad na bazi podataka izvan web preglednika i oblaka, tj. unutar Unity Game Enginea preko sučelja „WTC Editor“, što omogućava rad na bazi podataka kada internetska veza ne postoji, a to predstavlja olakotnu okolnost u samom tijeku izrade aplikacije. Izrada 3D markera ne zahtjeva posebne aplikacije, već se 3D marker izrađuje koristeći pojednostavljenu fotogrametrijsku metodu. Naime, potrebno je fotografirati željeni 3D marker iz čim više kuteva te tako da se fotografije međusobno preklapaju u pojedinim dijelovima. Zatim se fotografije stavljaju u bazu podataka u oblaku unutar web preglednika, gdje se automatski generira reprezentacija 3D objekta sa fotografija u obliku oblaka točaka.



Slika 41 Prikaz rada na bazi podataka Wikitude AR SDK unutar Unity Game Enginea, tj. izvan oblaka i web preglednika

U kategoriji „Provjera kompatibilnosti“, Wikitude AR SDK unutar Unity Game Enginea provjerava je li moguća početna inicijalizacija aplikacije, provjerava kompatibilnost aplikacije sa vrstom pametnog telefona ili sa njegovom verzijom operacijskog sustava. Isto tako Wikitude AR SDK koristi deklarirane klase za provjeru inicijalizacije target markera i za provjeru inicijalizacije virtualne informacije te koristi deklarirane klase za provjeru mogućih grešaka.

Tablica 7 Tablica evaluacije kategorija Wikitude AR SDK

| KATEGORIJE/KRITERIJI         | Podržava li    | Vrijeme pokretanja | Kvaliteta projekcije | Količina treperenja | Zadržavanje fokusa | Vrijeme učitavanja |
|------------------------------|----------------|--------------------|----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| Detekcija 2D slika - J       | 1              | 5                  | 5                    | 5                   | 5                  | 4                  |
| Detekcija 2D slika - S       | 1              | 5                  | 5                    | 5                   | 5                  | 5                  |
| Detekcija 3D objekata        | 1              | 4                  | 5                    | 5                   | 5                  | 5                  |
| Detekcija više objekata      | 1              | 4                  | 5                    | 3                   | 3                  | 2                  |
| Bez markerska detekcija      | 1              | 5                  | 5                    | 5                   | 5                  | 5                  |
|                              | Uređaj interna | Uređaj eksterna    | U oblaku             |                     |                    |                    |
| Baza podataka target markera | 2              | 2                  | 2                    |                     |                    |                    |
|                              | U oblaku       | Izvan oblaka       | Izrada 3D markera    |                     |                    |                    |
| Rad na bazi podataka target  | 2              | 2                  | 2                    |                     |                    |                    |

|                                 |                   |                 |        |  |  |  |
|---------------------------------|-------------------|-----------------|--------|--|--|--|
| <b>markera</b>                  |                   |                 |        |  |  |  |
|                                 | <b>Postoji li</b> |                 |        |  |  |  |
| <b>Provjera kompatibilnosti</b> | 2                 |                 |        |  |  |  |
|                                 |                   |                 |        |  |  |  |
| <b>SUMA</b>                     | 129               | <b>POSTOTAK</b> | 92,81% |  |  |  |

### 6.3. Easy AR Sense SDK

Treći SDK nad kojim je bilo provedeno istraživanje bio je Easy AR Sense SDK. Easy AR Sense SDK podržava četiri kategorije od pet koje se evaluiraju prema modificiranoj likertovoj skali, a kategorije koje podržava su: detekcija 2D slika jednostavna i složena, detekcija više objekata i bez markerska detekcija. Važno je napomenuti da Easy AR Sense SDK podržava detekciju 3D objekata, no ne na način koji je tražen u ovom istraživanju. Naime, Easy AR Sense SDK može detektirati samo 3D objekte koji su u *.obj* formatu, dok za teksturu koriste *.mtl* format, a to je zapravo format 3D modela koji su izrađeni u jednom od programa za izradu 3D modela (npr. Autodesk Maya, Blender). Kako bi takav model dobili u stvarnom svijetu potrebno je koristiti 3D printer ili koristiti fotogrametrijske metode kako bi stvaran model prenijeli u virtualne informacije. S obzirom na prethodno navedene stvari za potrebe ovog istraživanja smatra se da Easy AR Sense SDK ne podržava detekciju 3D objekata te je stoga numerička vrijednost koja je dodijeljena toj kategoriji 0.

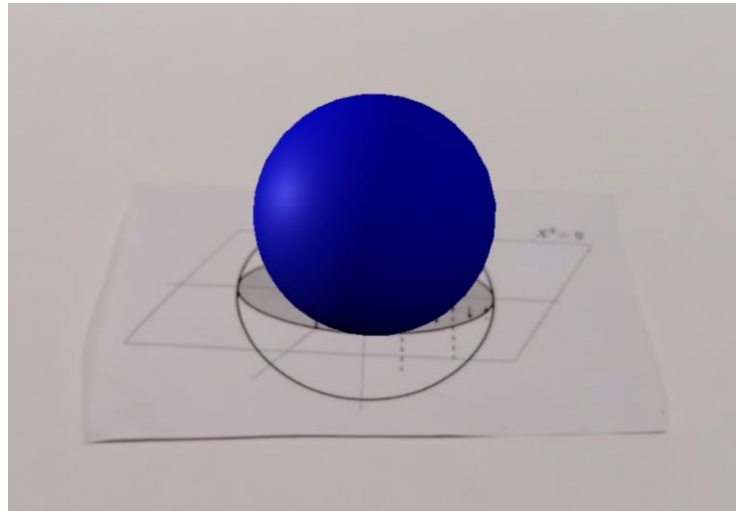
U kategoriji „Detekcija 2D slika“, „Vrijeme pokretanja“ jednostavnog modela iznosi 0,48 sekundi, a prema modificiranoj likertovoj skali ovom kriteriju je dodijeljena vrijednost 4. S druge strane vrijeme pokretanja složenog modela sa animacijom je bilo 1,22 sekunde, a prema modificiranoj likertovoj skali ovom kriteriju je dodijeljena vrijednost 4.

Prema kriteriju „Kvaliteta projekcije“ i za jednostavan objekt i sa složeni objekt dodijeljena je vrijednost 5 jer je vizualna virtualna informacija identično prikazana na zaslonu mobilnog uređaja kroz aplikaciju i na zaslonu računala.

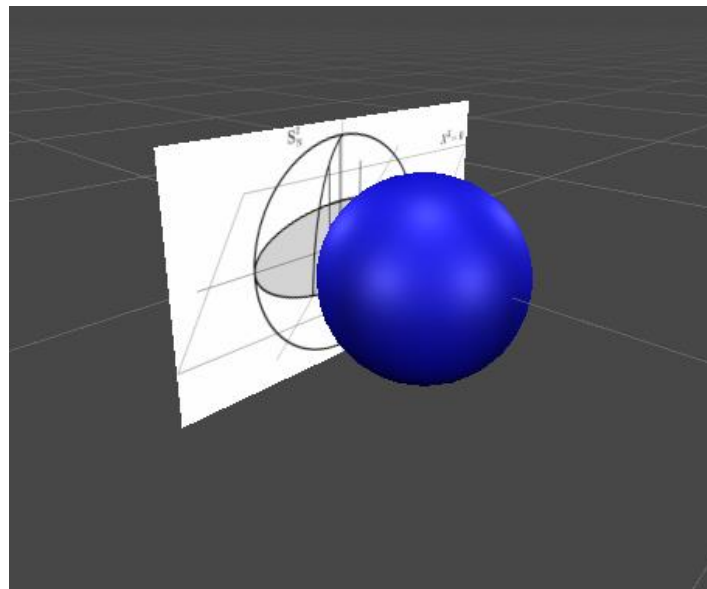
Prema kriteriju „Količina treperenja“ dodijeljena vrijednost je 5 jer virtualna informacija ne treperi kada je kamera mobilnog uređaja statična ni kada je kamera mobilnog uređaja u slabom pomaku.

Prema kriteriju „Zadržavanje fokusa“ dodijeljena vrijednost je 5 za jednostavan i složeni model sa animacijom jer prilikom pomaka target markera ili prilikom većeg pomaka kamere mobilnog uređaja, virtualna informacija ostaje centrirana na target markeru uz statistički neznačajne pomake.

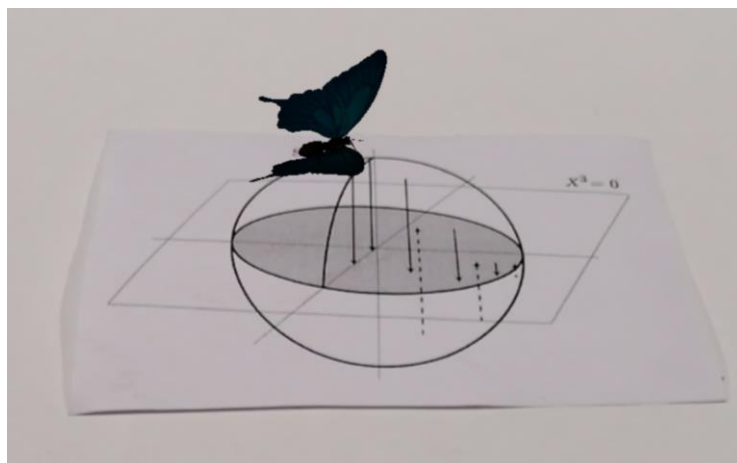
Prema kriteriju „Vrijeme učitavanja“, vrijeme učitavanja jednostavnog modela je instantno, stoga je vrijeme učitavanja 0,00 sekunde, a dodijeljena vrijednost je 5, dok je s druge strane vrijeme učitavanja složenog modela s animacijom 0,21 sekunda, a dodijeljena vrijednost je 5.



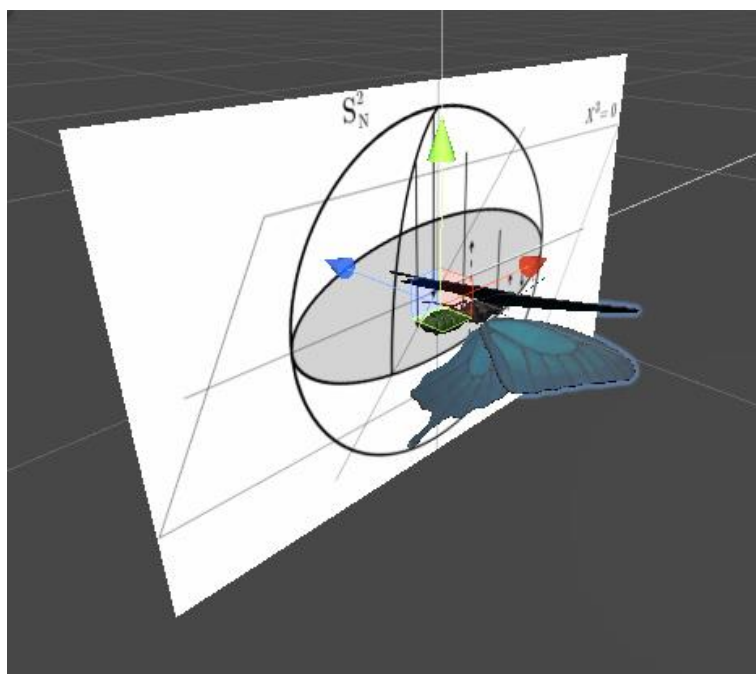
*Slika 42 Detekcija 2D slika - J: Prikaz jednostavnog modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije EasyARSenseResearchApp*



*Slika 43 Detekcija 2D slika - J: Prikaz jednostavnog modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći Easy AR Sense SDK*



*Slika 44 Detekcija 2D slika - S: Prikaz složenog modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije EasyARSenseResearchApp*



*Slika 45 Detekcija 2D slika - S: Prikaz složenog modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći Easy AR Sense SDK*

U kategoriji „Detekcija više objekata“, „Vrijeme pokretanja“ virtualnih informacija iznosi 0,84 sekundi te kao takvo zadovoljava kriterij jer je u rasponu od 0,60 sekundi do 1,50 sekundi, a prema modificiranoj likertovoj skali ovom kriteriju je dodijeljena vrijednost 4.

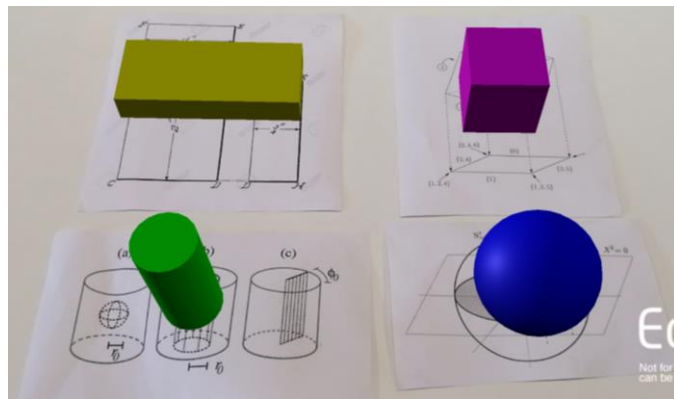
Prema kriteriju „Kvaliteta projekcije“ virtualne informacije dodijeljena je vrijednost 5 jer je vizualna virtualna informacija identično prikazana na zaslonu mobilnog uređaja kroz aplikaciju i na zaslonu računala.



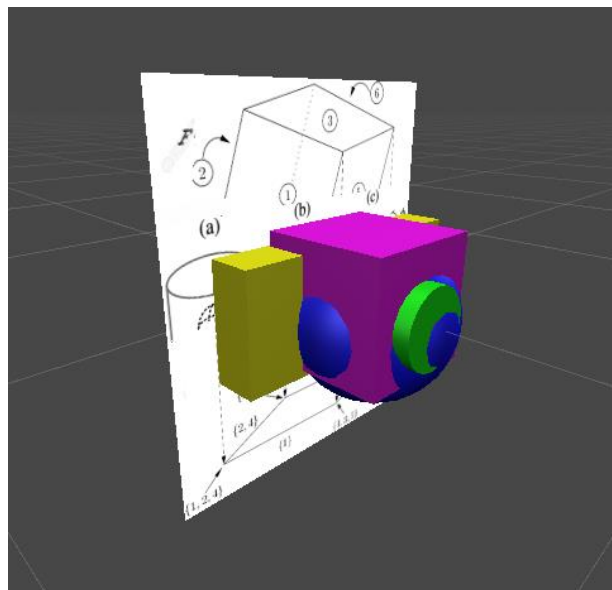
Prema kriteriju „Količina treperenja“ dodijeljena vrijednost je 3 jer virtualna informacija treperi u statistički značajno srednjoj količini kada je kamera mobilnog uređaja statična i kada je kamera mobilnog uređaja u slabom pomaku.

Prema kriteriju „Zadržavanje fokusa“ virtualna informacija jedva zadržava fokus, tj. ostaje centrirana prilikom većeg pomaka kamere mobilnog uređaja i prilikom pomaka target markera stoga ne zadovoljava ovaj kriterij, a dodijeljena numerička vrijednosti je 2.

Prema kriteriju „Vrijeme učitavanja“, vrijeme učitavanja virtualnih informacija prosječno iznosi 3,90 sekundi te kao takvo jedva zadovoljava kriterij jer je u rasponu od 2,50 sekundi do 4,00 sekunde, a prema modificiranoj likertovoj skali ovom kriteriju je dodijeljena vrijednost 2.



*Slika 46 Detekcija više objekata: Prikaz modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije EasyARSenseResearchApp*



*Slika 47 Detekcija više objekata: Prikaz modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći Easy AR Sense SDK*

U kategoriji „Bez markerska detekcija“, „Vrijeme pokretanja“ virtualne informacije je bilo instantno, a računalno izmjerena vrijednost je manja od vrijednosti broja na dvije decimale pa je prema tome vrijeme pokretanja 0,00 sekundi, stoga je ovom kriteriju dodijeljena vrijednost 5.

Prema kriteriju „Kvaliteta projekcije“ dodijeljena je vrijednost 5 jer je vizualna virtualna informacija identično prikazana na zaslonu mobilnog uređaja kroz aplikaciju i na zaslonu računala.

Prema kriteriju „Količina treperenja“ dodijeljena vrijednost je 5 jer virtualna informacija ne treperi kada je kamera mobilnog uređaja statična ni kada je kamera mobilnog uređaja u slabom pomaku.

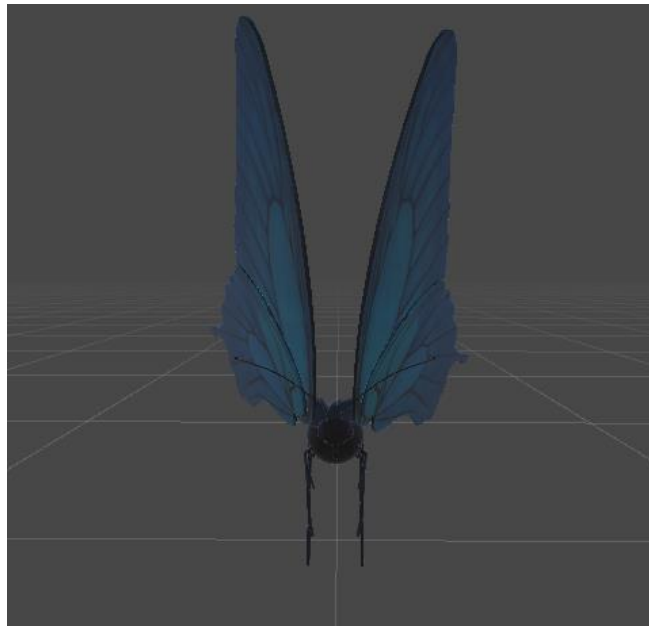
Prema kriteriju „Zadržavanje fokusa“ dodijeljena vrijednost je 5 jer prilikom pomaka target markera ili prilikom većeg pomaka kamere mobilnog uređaja, virtualna informacija ostaje centrirana na target markeru uz statistički neznačajne pomake.

Prema kriteriju „Vrijeme učitavanja“, vrijeme učitavanja virtualne informacije je instantno te vrijedi isti opis kao i za kriterij „Vrijeme pokretanja“, stoga je vrijeme učitavanja 0,00 sekundi, a dodijeljena vrijednost je 5.

Za uspješan rad bez markerskog dijela aplikacije potreban je žiroskop koji mjeri lateralnu orijentaciju, tj. kutnu brzinu i akcelerometar koji mjeri usmjereno kretanje, tj. linearnu akceleraciju. Prema tome ovaj dio aplikacije je nemoguće testirati unutar Unity Game Engine, već se mora testirati kao aplikacija na pametnom telefonu, pošto pametan telefon sadrži žiroskop i akcelerometar.



*Slika 48 Bez markerska detekcija: Prikaz modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije EasyARSenseResearchApp*



*Slika 49 Bez markerska detekcija: Prikaz modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći Easy AR Sense SDK*

U kategoriji „Baza podataka target markera“, Easy AR Sense SDK omogućava internu bazu podataka formata *.etd* koja dolazi u instalacijskom paketu zajedno sa aplikacijom te omogućava eksternu bazu podataka koja se zajedno sa aplikacijom nalazi na mobilnom uređaju. Isto tako podržava i bazu podataka target markera koja se nalazi u oblaku, no za nju je potrebna stalna veza sa internetom.

Cloud Database Details

Cloud Database: [EasyARSenseResearchApp\\_Database](#) [Modify](#)

Database Type: API Usage      Database Size: 100000      Usage Rate: 4/100000

Region: North America Region 1      Creation Date: 2021-06-06      Expiration Date: 2021-07-05 [Renew](#)

Billing Plans: 500 requests/Day(Trial)      Excess Handling: Service suspension after exceeding

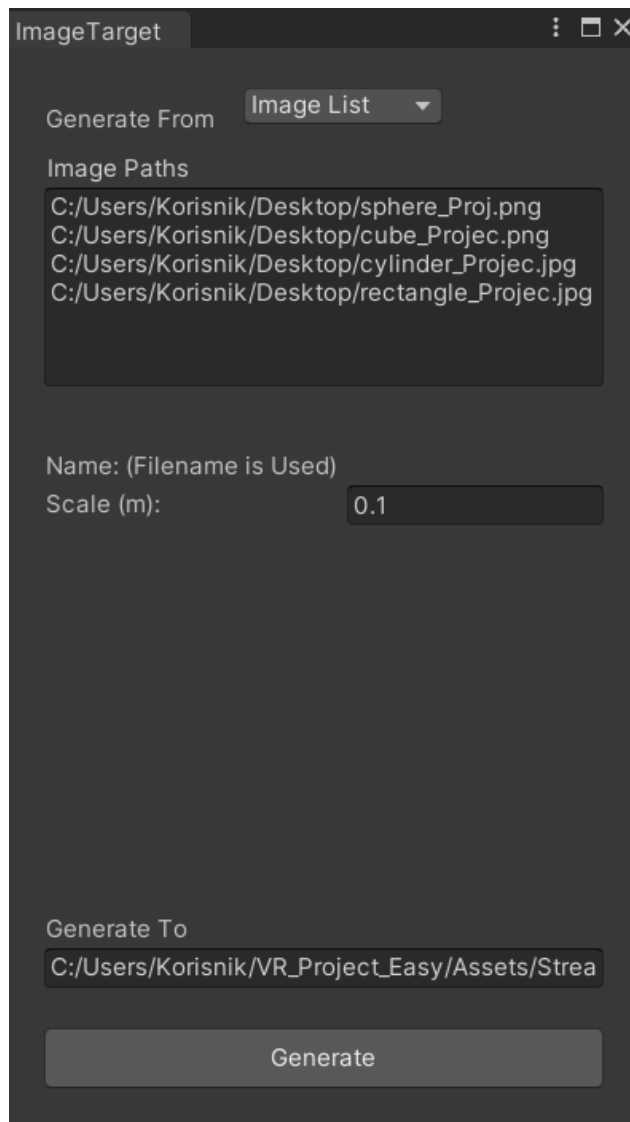
---

[Targets](#)   [Authentication](#)   [Statistical Analysis](#)

[Add Target](#) 🔍 Search by target's name or ID

| <input type="checkbox"/> | Name             | ID                                   | Status   | Creation Date    | Action                 |
|--------------------------|------------------|--------------------------------------|----------|------------------|------------------------|
| <input type="checkbox"/> | cylinder_Projec  | 9f221ccc-581b-45e5-80e6-199c4ac2530d | ● Active | 2021-06-07 17:29 | <a href="#">Manage</a> |
| <input type="checkbox"/> | rectangle_Projec | b40dd181-b81f-4520-adbf-453ae6c06359 | ● Active | 2021-06-07 17:38 | <a href="#">Manage</a> |
| <input type="checkbox"/> | cube_Projec      | 4444a17f-6bca-45d8-9f89-Sae2f14e05b5 | ● Active | 2021-06-07 17:29 | <a href="#">Manage</a> |
| <input type="checkbox"/> | sphere_Projc     | 7272ad07-b7cc-4aee-9ea4-a8e14b93ebd1 | ● Active | 2021-06-07 17:37 | <a href="#">Manage</a> |

*Slika 50 Prikaz Easy AR Sense SDK baze podataka, tj. „Easy Ar Sense CRS“*



*Slika 51 Prikaz Easy AR SDK Sense baze podataka unutar Unity Game Enginea - „Image Target Data“*

U kategoriji „Rad na baz podataka target markera“, Easy AR Sense SDK podržava rad na bazi podataka u oblaku, a sustav koji omogućava web bazu podataka u oblaku je „Easy AR Sense CRS“. Isto tako Easy AR Sense SDK podržava rad na bazi podataka izvan oblaka unutar Unity Game Enginea kroz sučelje „Image Target Data“, što uvelike olakšava tijekom rada te ne zahtjeva stalnu internetsku vezu pa je rad moguć čak i kad je internetska veza nedostupna. Za izradu 3D markera, potreban je softver za fotogrametriju, softver za izradu 3D modela ili 3D printer. Kao što je prethodno spomenuto, „Detekcija 3D objekata“ smatra se nepostojećom i dodijeljena joj je numerička vrijednost 0, stoga će se i kriterij *izrada 3D markera* isto pridružiti numerička vrijednost 0.

U kategoriji „Provjera kompatibilnosti“, Easy AR Sense SDK unutar Unity Game Enginea provjerava samo je li moguća početna inicijalizacija aplikacije, no ne provjerava kompatibilnost

aplikacije sa vrstom pametnog telefona ili sa njegovom verzijom operacijskog sustava. Ovaj problem dolazi do izražaja, no ne u toliko velikoj mjeri kao kod Vuforia AR SDK jer se kamera mobilnog uređaja u ovom slučaju uopće ne uključuje, no to može prouzročiti drukčije probleme kao što je npr. donošenje krivih zaključaka na pitanje „Zašto se kamera ne uključuje?“.

Tablica 8 Tablica evaluacije kategorija Easy AR Sense SDK

| KATEGORIJE/KRITERIJI                | Podržava li           | Vrijeme pokretanja     | Kvaliteta projekcije     | Količina treperenja | Zadržavanje fokusa | Vrijeme učitavanja |
|-------------------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| Detekcija 2D slika - J              | 1                     | 4                      | 5                        | 5                   | 5                  | 5                  |
| Detekcija 2D slika - S              | 1                     | 4                      | 5                        | 4                   | 5                  | 5                  |
| Detekcija 3D objekata               | 0                     | /                      | /                        | /                   | /                  | /                  |
| Detekcija više objekata             | 1                     | 4                      | 5                        | 3                   | 2                  | 2                  |
| Bez markerska detekcija             | 1                     | 5                      | 5                        | 5                   | 5                  | 5                  |
|                                     | <b>Uređaj interna</b> | <b>Uređaj eksterna</b> | <b>U oblaku</b>          |                     |                    |                    |
| Baza podataka target markera        | 2                     | 2                      | 2                        |                     |                    |                    |
|                                     | <b>U oblaku</b>       | <b>Izvan oblaka</b>    | <b>Izrada 3D markera</b> |                     |                    |                    |
| Rad na bazi podataka target markera | 2                     | 2                      | 0                        |                     |                    |                    |
|                                     | <b>Postoji li</b>     |                        |                          |                     |                    |                    |
| Provjera kompatibilnosti            | 1                     |                        |                          |                     |                    |                    |
| <b>SUMA</b>                         | 99                    | <b>POSTOTAK</b>        | 71,22%                   |                     |                    |                    |

#### 6.4. MaxST AR SDK

Četvrti i posljednji SDK nad kojim je bilo provedeno istraživanje bio je MaxST AR SDK. MaxST AR SDK podržava sve kategorije koje se evaluiraju prema modificiranoj likertovoj skali, a kategorije koje podržava su: detekcija 2D slika jednostavna i složena, detekcija 3D objekata, detekcija više objekata i bez markerska detekcija.

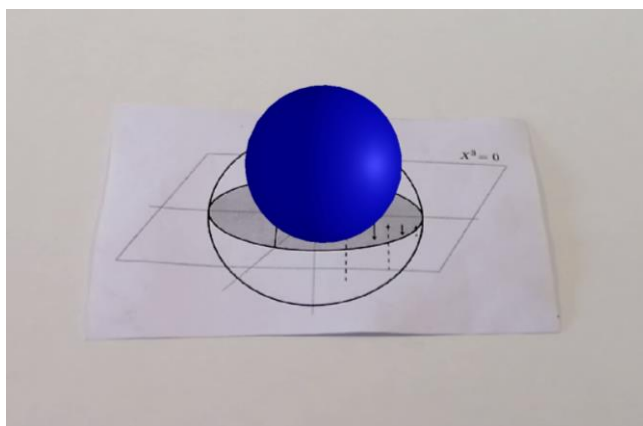
U kategoriji „Detekcija 2D slika“, „Vrijeme pokretanja“ jednostavnog modela je bilo instantno, tj. golom oku nevidljivo, a računalno je izmjerena vrijednost manja od vrijednosti broja na dvije decimale pa je prema tome vrijeme pokretanja 0,00 sekunde, a prema modificiranoj likertovoj skali ovom kriteriju je dodijeljena vrijednost 5. Isto tako vrijeme pokretanja složenog modela sa animacijom je bilo instantno, a prema modificiranoj likertovoj skali ovom kriteriju je dodijeljena vrijednost 5.

Prema kriteriju „Kvaliteta projekcije“ i za jednostavan objekt i sa složeni objekt dodijeljena je vrijednost 5 jer je vizualna virtualna informacija identično prikazana na zaslonu mobilnog uređaja kroz aplikaciju i na zaslonu računala.

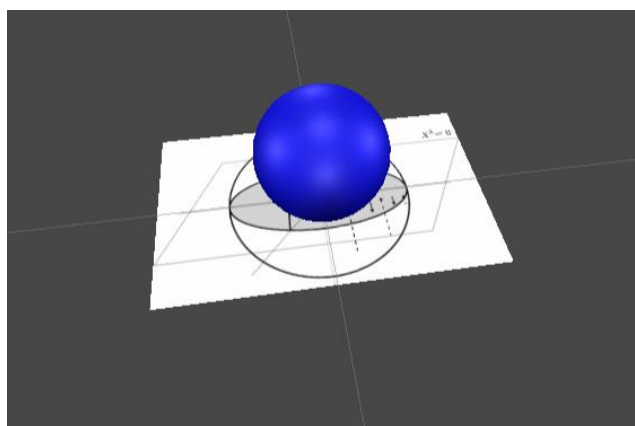
Prema kriteriju „Količina treperenja“ dodijeljena vrijednost je 5 jer virtualna informacija ne treperi kada je kamera mobilnog uređaja statična ni kada je kamera mobilnog uređaja u slabom pomaku.

Prema kriteriju „Zadržavanje fokusa“ dodijeljena vrijednost je 5 za jednostavan i složeni model sa animacijom jer prilikom pomaka target markera ili prilikom većeg pomaka kamere mobilnog uređaja, virtualna informacija ostaje centrirana na target markeru uz statistički neznačajne pomake.

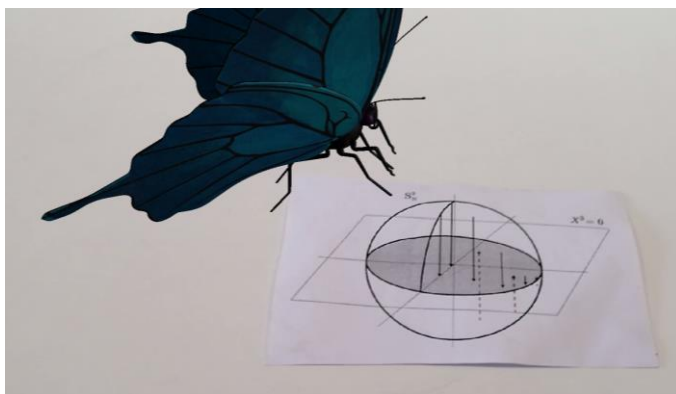
Prema kriteriju „Vrijeme učitavanja“, vrijeme učitavanja jednostavnog modela je instantno te vrijedi isti opis kao i za kriterij „Vrijeme pokretanja“ jednostavnog modela te je stoga vrijeme učitavanja 0,00 sekunde, a dodijeljena vrijednost je 5, dok je s druge strane vrijeme učitavanja složenog modela s animacijom 0,32 sekunde, a dodijeljena numerička vrijednost je 5.



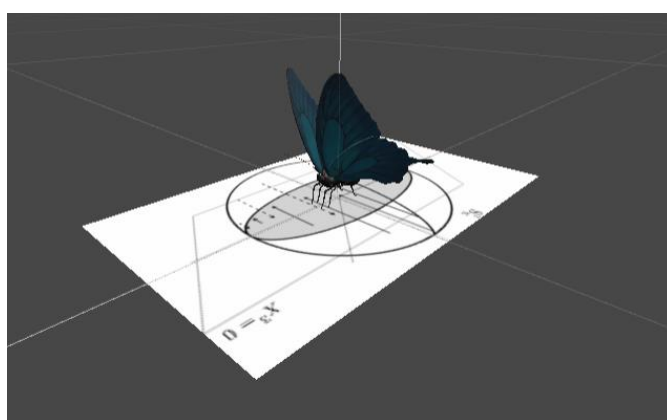
*Slika 52 Detekcija 2D slika - J: Prikaz jednostavnog modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije MaxSTResearchApp*



*Slika 53 Detekcija 2D slika - J: Prikaz jednostavnog modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći MaxST AR SDK*



*Slika 54 Detekcija 2D slika - S: Prikaz složenog modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije MaxSTResearchApp*



*Slika 55 Detekcija 2D slika - S: Prikaz složenog modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći MaxST AR SDK*

U kategoriji „Detekcija 3D objekata“, „Vrijeme pokretanja“ virtualne informacije iznosi 3,78 sekundi te kao takvo jedva zadovoljava kriterij jer je u rasponu od 2,50 sekundi do 4,00 sekunde, a prema modificiranoj likertovoj skali ovom kriteriju je dodijeljena vrijednost 2.

Prema kriteriju „Kvaliteta projekcije“ virtualne informacije dodijeljena je vrijednost 5 jer je vizualna virtualna informacija identično prikazana na zaslonu mobilnog uređaja kroz aplikaciju i na zaslonu računala.

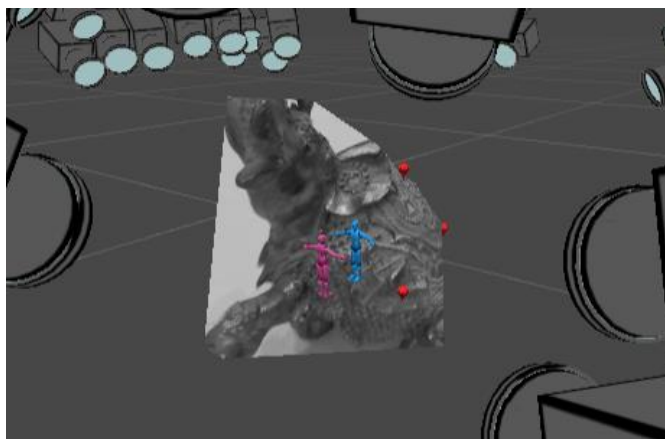
Prema kriteriju „Količina treperenja“ dodijeljena vrijednost je 5 jer virtualna informacija ne treperi kada je kamera mobilnog uređaja statična ni kada je kamera mobilnog uređaja u slabom pomaku.

Prema kriteriju „Zadržavanje fokusa“ dodijeljena vrijednost je 5 jer prilikom pomaka target markera ili prilikom većeg pomaka kamere mobilnog uređaja, virtualna informacija ostaje centrirana na target markeru uz statistički neznačajne pomake.

Prema kriteriju „Vrijeme učitavanja“, vrijeme učitavanja virtualnih informacija zadovoljava kriterij jer je manje od 0,60 sekundi, a iznosi 0,31 sekundu te je prema modificiranoj likertovoj skali dodijeljena vrijednosti 5.



*Slika 56 Detekcija 3D objekta: Prikaz modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije MaxSTRsearchApp*



*Slika 57 Detekcija 3D objekta: Prikaz modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći MaxST AR SDK*

U kategoriji „Detekcija više objekata“, „Vrijeme pokretanja“ virtualne informacije je bilo instantno, a računalno izmjerena vrijednost je manja od vrijednosti broja na dvije decimale pa je prema tome vrijeme pokretanja 0,00 sekundi, stoga je ovom kriteriju dodijeljena vrijednost 5.

Prema kriteriju „Kvaliteta projekcije“ virtualne informacije dodijeljena je vrijednost 5 jer je vizualna virtualna informacija identično prikazana na zaslonu mobilnog uređaja kroz aplikaciju i na zaslonu računala.

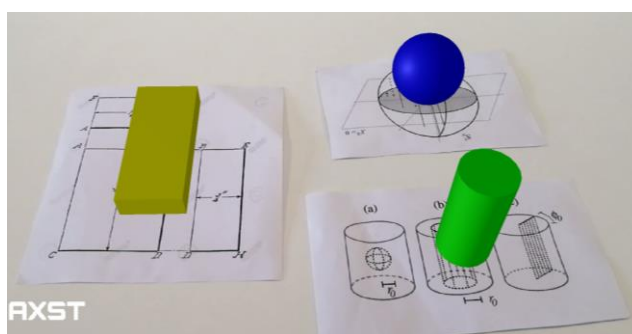


Prema kriteriju „Količina treperenja“ dodijeljena vrijednost je 3 jer virtualna informacija treperi u statistički značajno srednjoj količini kada je kamera mobilnog uređaja statična i kada je kamera mobilnog uređaja u slabom pomaku.

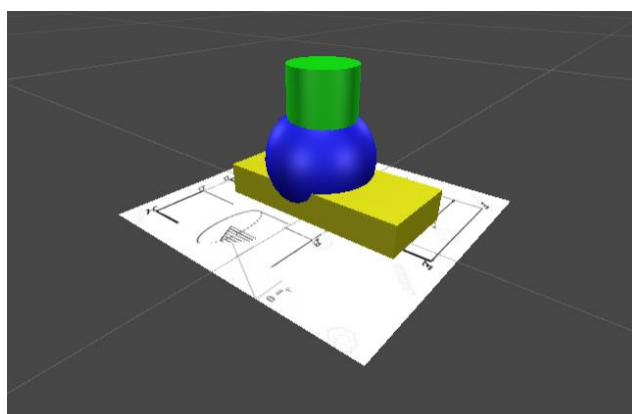
Prema kriteriju „Zadržavanje fokusa“ dodijeljena vrijednost je 5 jer prilikom pomaka target markera ili prilikom većeg pomaka kamere mobilnog uređaja, virtualna informacija ostaje centrirana na target markeru uz statistički neznačajne pomake.

Prema kriteriju „Vrijeme učitavanja“, vrijeme učitavanja virtualnih informacija u potpunosti zadovoljava kriterij jer je manje od 0,60 sekundi, a iznosi 0,23 sekunde te je ovom kriteriju dodijeljena vrijednost 5.

Važno je napomenuti da MaxST AR SDK trenutno podržava detekciju samo 3 objekata odjednom.



*Slika 58 Detekcija više objekata: Prikaz modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije MaxSTResearchApp*



*Slika 59 Detekcija više objekata: Prikaz modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći Vuforia AR SDK*

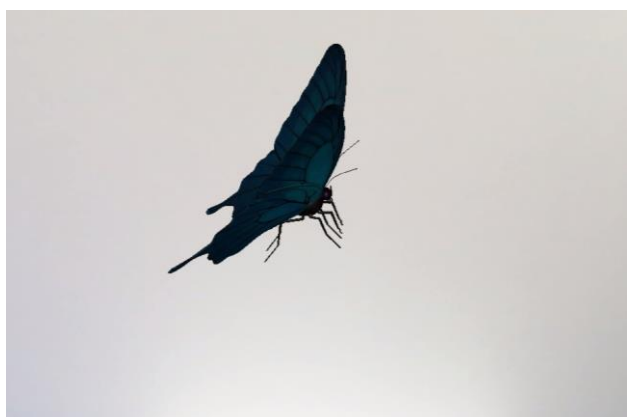
U kategoriji „Bez markerska detekcija“, „Vrijeme pokretanja“ virtualne informacije je bilo instantno, a računalno izmjerena vrijednost je manja od vrijednosti broja na dvije decimale pa je prema tome vrijeme pokretanja 0,00 sekundi, stoga je ovom kriteriju dodijeljena vrijednost 5.

Prema kriteriju „Kvaliteta projekcije“ dodijeljena je vrijednost 5 jer je vizualna virtualna informacija identično prikazana na zaslonu mobilnog uređaja kroz aplikaciju i na zaslonu računala.

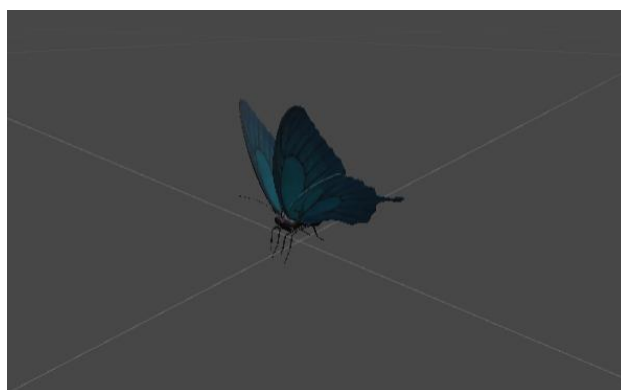
Prema kriteriju „Količina treperenja“ dodijeljena vrijednost je 5 jer virtualna informacija ne treperi kada je kamera mobilnog uređaja statična ni kada je kamera mobilnog uređaja u slabom pomaku.

Prema kriteriju „Zadržavanje fokusa“ dodijeljena vrijednost je 5 jer prilikom pomaka target markera ili prilikom većeg pomaka kamere mobilnog uređaja, virtualna informacija ostaje centrirana na target markeru uz statistički neznačajne pomake.

Prema kriteriju „Vrijeme učitavanja“, vrijeme učitavanja virtualne informacije je instantno te vrijedi isti opis kao i za kriterij „Vrijeme pokretanja“, stoga je vrijeme učitavanja 0,00 sekundi, a dodijeljena vrijednost je 5.



*Slika 60 Bez markerska detekcija: Prikaz modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije MaxSTRearchApp*

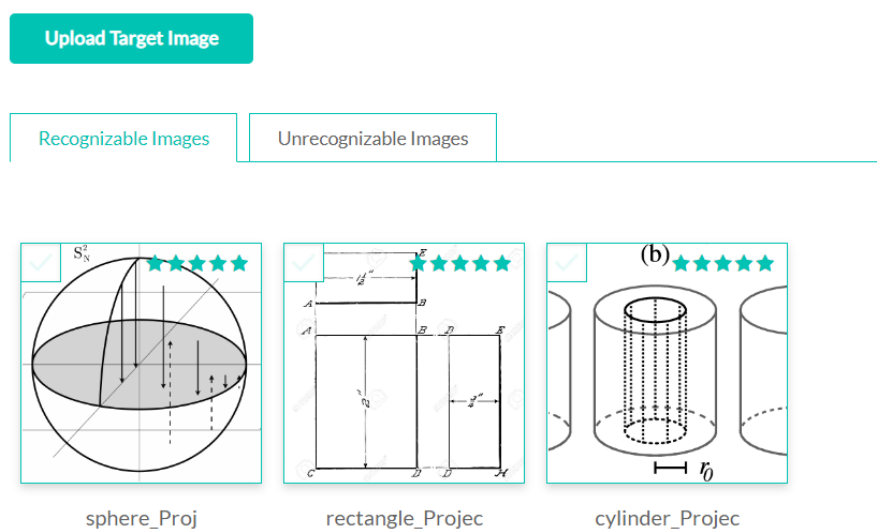


*Slika 61 Bez markerska detekcija: Prikaz modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći MaxST AR SDK*

U kategoriji „Baza podataka target markera“, MaxST AR SDK omogućava internu bazu podataka formata *.2dmap* za bazu podataka target markera za detekciju 2D slika te internu bazu

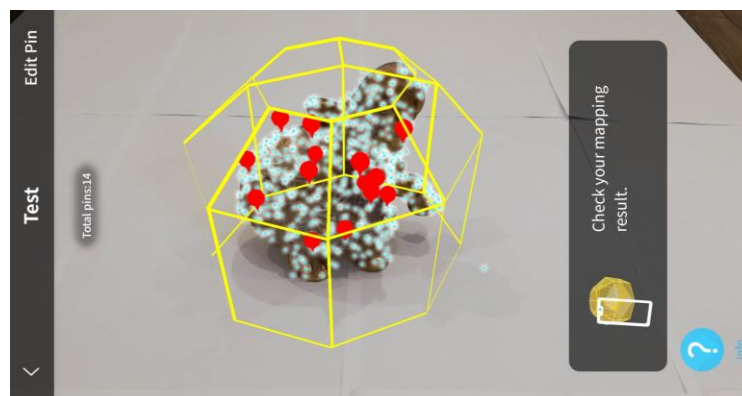
podataka formata *.3dmap* za bazu podataka target markera za detekciju 3D objekata. Obje interne baze podataka dolaze u instalacijskom paketu zajedno sa aplikacijom (*.apk* format), te isto tako omogućava eksterne baze podataka koja se zajedno sa aplikacijom nalazi na mobilnom uređaju. Podržava i bazu podataka target markera koja se nalazi u oblaku no ona je omogućena samo kada postoji veza sa internetom kao i sve ostale baze podataka u oblaku. Važno je napomenuti da *.2dmap* i *.3dmap* nisu prave baze podataka jer svaki od ovih formata podržava samo jedan element. Isto tako *.3dmap* format se ne može pohraniti u bazu podataka u oblaku već se direktno prosljeđuje iz aplikacije za skeniranje 3D objekata.

### Sphere (4)

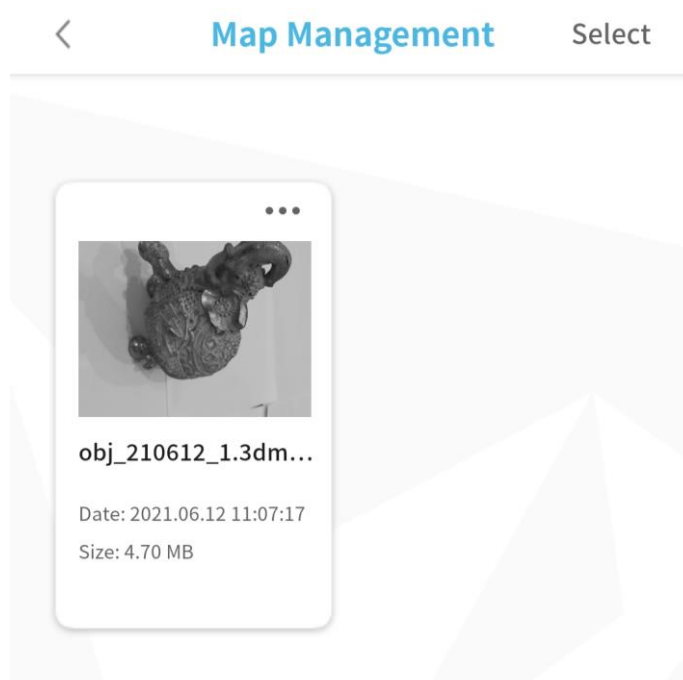


Slika 62 Prikaz MaxST AR SDK baze podataka za detekciju 2D slika u oblaku unutar web preglednika, tj. „Target Manager“

U kategoriji „Rad na baz podataka target markera“, MaxST AR SDK podržava rad na bazi podataka u oblaku, tj. koristi „Target Manager“ koja je web baza podataka u oblaku. S druge strane ne podržava rad na bazi podataka izvan „Target Managera“, što ograničava rad na bazi podataka samo kada je internetska veza dostupna, a to u bilo kojem trenutku može predstavljati problem u samom tijeku izrade aplikacije. Izrada 3D markera je u potpunosti identična izradi 3D markera za Vuforia AR SDK, no zahtjeva posebnu aplikaciju „Visual SLAM Tool App“, koja isto tako omogućuje skeniranje stvarnog objekta u oblak točaka koji je spremljen u *.3dmap* formatu, a MaxST AR SDK ga kasnije sprema i automatski prepoznaje, što znatno olakšava proces izrade 3D objekta kao target markera.



Slika 63 Prikaz proces izrade 3D markera koristeći aplikaciju Visual SLAM Tool App



Slika 64 Prikaz skeniranog 3D objekta unutar aplikacije Visual SLAM Tool App

U kategoriji „Provjera kompatibilnosti“, MaxST AR SDK unutar Unity Game Enginea provjerava samo je li moguća početna inicijalizacija aplikacije, no ne provjerava kompatibilnost aplikacije sa vrstom pametnog telefona ili sa njegovom verzijom operacijskog sustava.

Tablica 9 Tablica evaluacije kategorija MaxST AR SDK

| KATEGORIJE/KRITERIJI   | Podržava li | Vrijeme pokretanja | Kvaliteta projekcije | Količina treperenja | Zadržavanje fokusa | Vrijeme učitavanja |
|------------------------|-------------|--------------------|----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| Detekcija 2D slika - J | 1           | 5                  | 5                    | 5                   | 5                  | 5                  |
| Detekcija 2D slika - S | 1           | 5                  | 5                    | 5                   | 5                  | 5                  |
| Detekcija 3D objekata  | 1           | 2                  | 5                    | 5                   | 5                  | 5                  |

|  |                           |                            |                              |   |   |   |
|--|---------------------------|----------------------------|------------------------------|---|---|---|
| <b>Detekcija više objekata</b>                 | 1                         | 5                          | 5                            | 3 | 5 | 5 |
| <b>Bez markerska detekcija</b>                 | 1                         | 5                          | 5                            | 5 | 5 | 5 |
|  | <b>Uredaj<br/>interna</b> | <b>Uredaj<br/>eksterna</b> | <b>U oblaku</b>              |   |   |   |
| <b>Baza podataka target<br/>markera</b>        | 2                         | 2                          | 2                            |   |   |   |
|  | <b>U oblaku</b>           | <b>Izvan oblaka</b>        | <b>Izrada 3D<br/>markera</b> |   |   |   |
| <b>Rad na bazi podataka target<br/>markera</b> | 2                         | 0                          | 2                            |   |   |   |
|  | <b>Postoji li</b>         |                            |                              |   |   |   |
| <b>Provjera kompatibilnosti</b>                | 1                         |                            |                              |   |   |   |
| <b>SUMA</b>                                    | 131                       | <b>POSTOTAK</b>            | 94,24%                       |   |   |   |

## 6.5. Komparativna analiza odabranih SDK

Nakon analize i evaluacije svakog SDK zasebno, u ovom dijelu izvršena je njihova deskriptivna i numerička komparacija, tj. komparativna analiza kako bi se mogao izvesti konkretan zaključak, te kako bi se utvrdilo jesu li uspostavljene hipoteze prihvaćene ili su odbijene.

Sažimanjem numeričkih vrijednosti svakog SDK zasebno, dobivena je završna tablica komparacije rezultata koji su proizašli iz ovog istraživanja.

U kategoriji „Detekcija 2D slika – jednostavni model“ svi SDK-ovi su zadovoljili kriterije. Vuforia AR SDK i MaxST SDK u potpunosti zadovoljavaju sve kriterije u ovoj kategoriji prema modificiranoj likertovoj skali stoga je svakom kriteriju dodijeljena numerička vrijednost 5, a suma numeričkih vrijednosti iznosi 25. Wikitude AR SDK u potpunosti zadovoljava četiri kriterija od pet, stoga je ovim kriterijima dodijeljena numerička vrijednost 5. Kriterij „Vrijeme učitavanja“ zadovoljava no ne u potpunosti te je stoga dodijeljena numerička vrijednost 4, a prema tome suma numeričkih vrijednosti iznosi 24. Easy AR Sense SDK isto kao i Wikitude AR SDK u potpunosti zadovoljava četiri kriterija od pet, stoga je tim kriterijima dodijeljena numerička vrijednost 5, dok kriterij „Vrijeme pokretanja“ zadovoljava no ne u potpunosti te je stoga dodijeljena numerička vrijednost 4, a prema tome suma numeričkih vrijednosti iznosi 24.

U kategoriji „Detekcija 2D slika – složeni model/model sa animacijom“ svi SDK-ovi su zadovoljili kriterije. Wikitude AR SDK i MaxST SDK u potpunosti zadovoljavaju sve kriterije u ovoj kategoriji prema modificiranoj likertovoj skali stoga je svakom kriteriju dodijeljena numerička vrijednost 5, a suma numeričkih vrijednosti iznosi 25. Vuforia AR SDK u potpunosti zadovoljava četiri kriterija od pet, stoga je ovim kriterijima dodijeljena numerička vrijednost 5. Kriterij „Vrijeme pokretanja“ zadovoljava no ne u potpunosti te je stoga dodijeljena numerička

vrijednost 4, a prema tome suma numeričkih vrijednosti iznosi 24. Easy AR Sense SDK u potpunosti zadovoljava tri kriterija od pet, stoga je tim kriterijima dodijeljena numerička vrijednost 5, dok kriterij „Vrijeme pokretanja“ i kriterij „Količina treperenja“ zadovoljava no ne u potpunosti te je stoga dodijeljena numerička vrijednost tim kriterijima 4, a prema tome suma numeričkih vrijednosti iznosi 23.

U kategoriji detekcija 3D objekta ne postoji SDK koji u potpunosti zadovoljava sve kriterije. Wikitude AR SDK u potpunosti zadovoljava četiri kriterija od pet, stoga je ovim kriterijima dodijeljena numerička vrijednost 5. Kriterij „Vrijeme pokretanja“ zadovoljava no ne u potpunosti, stoga je dodijeljena numerička vrijednost 4, a ukupna suma numeričkih vrijednosti iznosi 24. MaxST SDK isto kao i Wikitude AR SDK u potpunosti zadovoljava četiri kriterija od pet, stoga je ovim kriterijima dodijeljena numerička vrijednost 5. Kriterij „Vrijeme pokretanja“ prema modificiranoj likertovoj skali ne zadovoljava stoga je dodijeljena numerička vrijednost 2, a ukupna suma numeričkih vrijednosti iznosi 22. Vuforia AR SDK u potpunosti zadovoljava tri kriterija od pet, a tim kriterijima je dodijeljena numerička vrijednost 5. Kriterij „Vrijeme pokretanja“ zadovoljava no ne u potpunosti stoga je dodijeljena numerička vrijednost 4, dok kriterij „Zadržavanje fokusa“ djelomično zadovoljava, a tom kriteriju je dodijeljena numerička vrijednost 3. Prema tome ukupna suma numeričkih vrijednosti za Vuforia AR SDK iznosi 22. Easy AR Sense SDK ne podržava ovu kategoriju u statistički relevantnoj mjeri za ovo istraživanje, pa je prema kontrolnoj varijabli dodijeljena numerička vrijednost 0 za cijelu kategoriju i sve kriterije te kategorije.

U kategoriji „Detekcija više objekata“ kao i u kategoriji „Detekcija 3D objekata“ ne postoji SDK koji u potpunosti zadovoljava sve kriterije. Max ST SDK u potpunosti zadovoljava četiri kriterija od pet, stoga je ovim kriterijima dodijeljena numerička vrijednost 5. Kriterij „Količina treperenja“ je djelomično zadovoljen, stoga je dodijeljena numerička vrijednost 3, a ukupna suma numeričkih vrijednosti iznosi 23. Vuforia AR SDK u potpunosti zadovoljava tri kriterija od pet, pa je ovim kriterijima dodijeljena numerička vrijednost 5. Kriterij „Vrijeme pokretanja“ zadovoljava no ne u potpunosti, a pridružena vrijednost ovom kriteriju je 4, dok kriterij „Zadržavanje fokusa“ ne zadovoljava stoga je tom kriteriju dodijeljena numerička vrijednost 2. Ukupna suma numeričkih vrijednosti za Vuforia AR SDK iznosi 21. Wikitude AR SDK u potpunosti zadovoljava samo kriterij „Kvaliteta projekcije“ pa je tom kriteriju dodijeljena numerička vrijednost 5. Kriterij „Vrijeme pokretanja“ zadovoljava no ne u potpunosti a numerička vrijednosti dodijeljena ovom kriteriju je 4. Kriterij „Količina treperenja“ i kriterij „Zadržavanje fokusa“ djelomično zadovoljava stoga je tim kriterijima dodijeljena numerička vrijednost 3. Kriterij „Vrijeme učitavanja“ ne zadovoljava a prema skali ovom kriteriju je dodijeljena numerička vrijednost 2, dok ukupna suma numeričkih vrijednosti iznosi 17. Easy AR Sense SDK kao i

Wikitude AR SDK u potpunosti zadovoljava samo jedan kriterij, a to je kriterij „Kvaliteta projekcije“, stoga je tom kriteriju dodijeljena numerička vrijednost 5. Kriterij „Vrijeme pokretanja“ zadovoljava ne ne u potpunosti te je tom kriteriju dodijeljena numerička vrijednost 4. Kriterij „Količina treperenja“ djelomično zadovoljava stoga je tom kriteriju dodijeljena numerička vrijednost 3. Kriterij „Zadržavanje fokusa“ i kriterij „Vrijeme učitavanja“ ne zadovoljava a prema modificiranoj likertovoj skali ovim kriterijima je dodijeljena numerička vrijednost 2, a ukupna suma numeričkih vrijednosti iznosi 16.

U kategoriji „Bez markerska detekcija“ Wikitude AR SDK, Easy AR Sense SDK i MaxST SDK u potpunosti zadovoljavaju sve kriterije u ovoj kategoriji prema modificiranoj likertovoj skali stoga je svakom kriteriju dodijeljena numerička vrijednost 5, a suma numeričkih vrijednosti iznosi 25. Vuforia AR SDK u potpunosti zadovoljava četiri kriterija od pet, stoga je ovim kriterijima dodijeljena numerička vrijednost 5, dok kriterij „Količina treperenja“ zadovoljava ne ne u potpunosti, stoga je ovom kriteriju dodijeljena numerička vrijednost 4, a prema tome suma numeričkih vrijednosti iznosi 24.

U kategoriji „Baza podataka target markera“ svaki SDK je u potpunosti zadovoljio sve kriterije, stoga je svakom kriteriju dodijeljena numerička vrijednost 2, a ukupna suma numeričkih vrijednosti za svaki SDK iznosi 6.

U kategoriji „Rad na baz podataka target markera“ jedini SDK koji u potpunosti zadovoljava sve kriterije je Wikitude AR SDK, pa je prema tome kriterijima dodijeljena numerička vrijednost 2, a ukupna suma numeričkih vrijednosti iznosi 6. Vuforia AR SDK, Easy AR Sense SDK i MaxST AR SDK u potpunosti zadovoljavaju dva kriterija, stoga je tim kriterijima pridružena vrijednost 2. Kriterij izrada 3D markera ne zadovoljava niti jedan od prethodno navedenih SDK-ova, pa je tom kriteriju pridružena numerička vrijednost 0, a ukupna suma numeričkih vrijednosti iznosi 4.

U kategoriji „Provjera kompatibilnosti“, Wikitude AR SDK u potpunosti zadovoljava ovaj kriterij dok je dodijeljena numerička vrijednost 2. Vuforia AR SDK, Easy AR Sense SDK i MaxST AR SDK djelomično zadovoljavaju ovu kategoriju, a dodijeljena numerička vrijednost je 1.

Iz analize numeričkih vrijednosti proizlaze slijedeći rezultati:

1. Vuforia AR SDK – ukupna suma svih kategorijama prema kriterijima iznosi 127 što je ukupno 91,37% ispunjenosti kategorija

2. Wikitude AR SDK - ukupna suma svih kategorijama prema kriterijima iznosi 129 što je ukupno 92,81% ispunjenosti kategorija

3. Easy AR Sense SDK - ukupna suma svih kategorijama prema kriterijima iznosi 99 što je ukupno 71,22% ispunjenosti kategorija

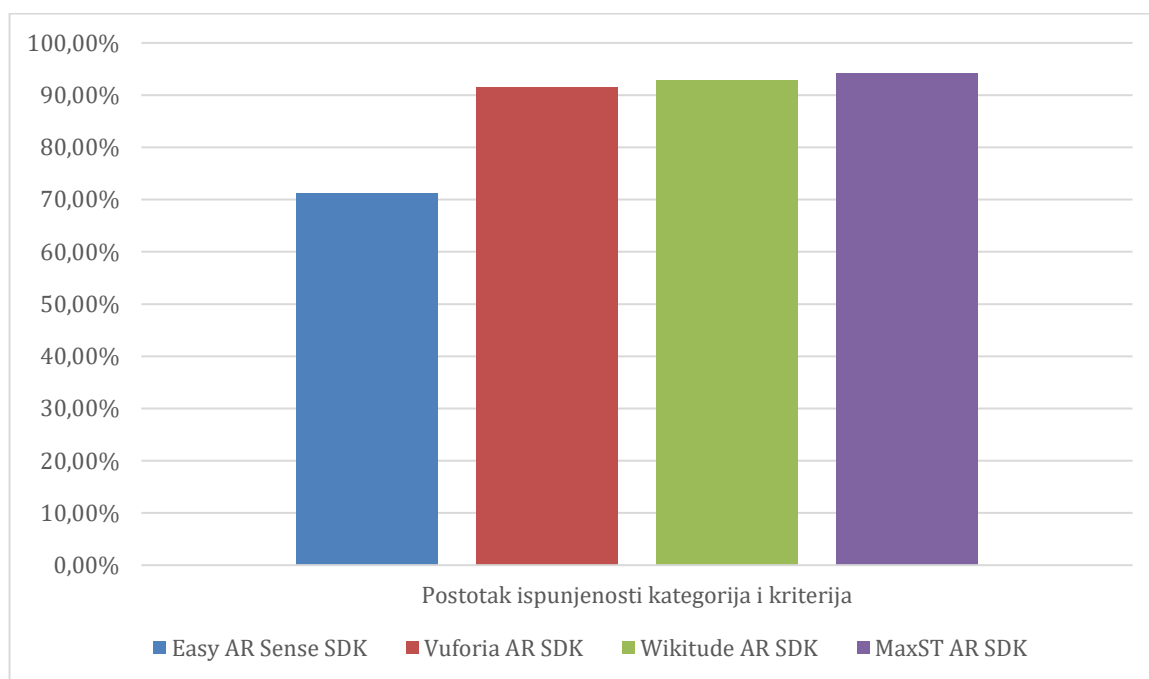
4. MaxST AR SDK - ukupna suma svih kategorijama prema kriterijima iznosi 131 što je ukupno 94,24% ispunjenosti kategorija.

Tablica 10 Tablica komparacije rezultata dobivenih istraživanjem prema kategorijama za svaki SDK

| KATEGORIJE/SDK                      | Vuforia AR SDK | Wikitude AR SDK | Easy AR Sense SDK | MaxST AR SDK |
|-------------------------------------|----------------|-----------------|-------------------|--------------|
| Detekcija 2D slika - J              | 25             | 24              | 24                | 25           |
| Detekcija 2D slika – S              | 24             | 25              | 23                | 25           |
| Detekcija 3D objekata               | 22             | 24              | 0                 | 22           |
| Detekcija više objekata             | 21             | 17              | 16                | 23           |
| Bez markerska detekcija             | 24             | 25              | 25                | 25           |
| Baza podataka target markeru        | 6              | 6               | 6                 | 6            |
| Rad na bazi podataka target markera | 4              | 6               | 4                 | 4            |
| Provjera kompatibilnosti            | 1              | 2               | 1                 | 1            |
| <b>SUMA/POSTOTAK</b>                | 127/91,37%     | 129/92,81%      | 99/71,22%         | 131/94,24%   |
| <b>Mjera razlike</b>                | +2,15% *       | +1,44% *        | +21,59% *         | -2,15% **    |

\*Simbol plus označava pozitivan predznak mjere razlike, što označava da je takav AR SDK statistički lošiji

\*\*Simbol minus označava negativan predznak mjere razlike, što označava da je takav AR SDK statistički bolji



Slika 65 Grafikon postotka ispunjenosti kategorija i kriterija svih SDK uključenih u istraživanje



Temeljem sveopće analize rezultata i prethodne komparativne analize utvrđuje se slijedeće:

**Prva hipoteza H1:** „AR SDK-ovi se razlikuju prema postavljenim kriterijima, a mjera razlike statistički nije značajna“ se prihvaća zato što se AR SDK-ovi nad kojima je sprovedeno istraživanje razlikuju prema pojedinim postavljenim kriterijima, no mjera njihove razlike statistički nije značajna (Vuforia AR SDK – 91,37%, Wikitude AR SDK – 92,81%, MaxST AR SDK - 94,24%) osim u slučaju Easy AR SDK – 71,22%. Prosječna mjera razlike između Vuforia AR SDK, Wikitude AR SDK i MaxST AR SDK iznosi 1,91% što potvrđuje da mjera razlike statistički nije značajna. Važno je napomenuti da se Easy AR SDK pokazao kao specifična iznimka u ovom istraživanju, jer ne podržava kategoriju „Detekcija 3D objekata“ u obliku relevantnom za ovo istraživanje, stoga se Easy AR SDK isključuje iz prve hipoteze ovog istraživanja.

**Druga hipoteza H2:** „Ne postoji AR SDK koji predvodi prema svim postavljenim kriterijima, tj. ne postoji onaj koji je univerzalan i generalno najpogodniji za izradu edukacijskih aplikacija“ se prihvaća što potvrđuje ukupna suma ispunjenosti kategorija i kriterija svakog SDK, jer troje AR SDK (Vuforia AR SDK, Wikitude AR SDK i MaxST AR SDK) imaju ukupnu sumu višu od 90%, a manju od 95%. Isto tako niti jedan AR SDK ne predvodi u svakom istraženom i postavljenom kriteriju, prema tome generalno najpogodniji SDK za izradu edukacijskih aplikacija ne postoji te je samim tim, ova hipoteza potvrđena.

**Treća hipoteza H3:** „Ne postoji AR SDK koji nije pogodan za izradu edukacijskih aplikacija“ se prihvaća, jer svaki istraženi AR SDK podržava sve postavljene kategorije, osim u slučaju Easy AR Sense SDK koji je kao što je već prethodno spomenuto specifična iznimka, jer podržava kategoriju „Detekcija 3D objekta“, no ne u obliku relevantnim za ovo istraživanje. Nadalje, ukupni postotak izvršenosti svih kategorija i kriterija svakog AR SDK iznosi više od 70%, što dokazuje da je svaki istraženi AR SDK pogodan za izradu edukacijskih aplikacija.

## 7. Zaključak

U današnje doba zbog ogromnog tehnološkog napretka i sveobuhvatne virtualizacije društva, sve više se koriste tehnologije proširene stvarnosti koje zadiru u sva područja ljudske djelatnosti, pa tako i edukacije. Iako se proširena stvarnost koristi u edukaciji i u obrazovnom procesu, ona je još uvijek u svojem infantilnom obliku, što zbog duboko ukorijenjenih starijih metoda edukacije, a što zbog nedovoljne količine istraživanja vezanih uz primjenu i praksu. Da bi se proširena stvarnost počela u većoj količini koristiti u edukaciji, važno je detaljnije istražiti upravo njezinu praktičnu uporabu u svim područjima i aspektima edukacije, što je i svrha ovog istraživanja.

Cilj ovog istraživanja je bio dokazati postoji li najpogodniji SDK proširene stvarnosti za izradu edukacijskih aplikacija, a istraživanje se temeljilo na hipotezama da ne postoji SDK koji generalno najbolji iako se oni međusobno razlikuju, no ne u statistički relevantnoj mjeri. Naime, provedbom ovog istraživanja upravo u praktičnom obliku te evaluacijom, analizom i komparacijom krajnjih rezultata, dokazalo se da uistinu ne postoji generalno najpogodniji SDK za izradu edukacijskih aplikacija te da su svi SDK-ovi statistički i praktično pogodni za njihovu izradu. No, usprkos tome za daljnju i poboljšanu implementaciju proširene stvarnosti u edukaciju, važno je pogledati sve aspekte edukacije te svakom prilagoditi pojedinu aplikaciju s obzirom na objekt njegovog interesa.

Naposlijetku, važno je spomenuti da je ovo istraživanje svojevrsna dopuna prethodnih srodnih istraživanja, a korištenjem drugačije metodologije i analize rezultata izdvaja se od prethodnih istraživanja i samim tim opravdava svoju relevantnost u ovom području te pritom daje novi temelj svim budućim srodnim istraživanjima.

U Varaždinu, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Potpis studenta

## 8. Diskusija

U ovo istraživanje uključena su četiri SDK proširene stvarnosti – Vuforia AR SDK, Wikitude AR SDK, Easy AR Sense SDK i MaxST AR SDK, zbog vremenskog ograničenja istraživanja i minimalnih kapaciteta, a sva četiri navedena SDK su u potpunosti zadovoljavala izborne kriterije. Kada ne bi postojalo vremensko ograničenje istraživanja te kada bi ljudskih resursa bilo više, ovo istraživanje bi se moglo proširiti korištenjem mnogo više SDK-ova. SDK-ovi koji su spomenuti u potpoglavlju „*Vrste SDK za aplikacije proširene stvarnosti*“, a nisu direktno uključeni u ovo istraživanje kao naprimjer ARCore SDK ili Onirix SDK, zadovoljavaju sve izborne kriterije pa bi se ovo istraživanje moglo proširiti njihovim uključivanjem. Štoviše, udaljavanjem od zadanih izbornih kriterija, tj. brisanjem nekih od njih, kao što je naprimjer drugi izborni kriterij „*AR SDK mora podržavati Android platformu za mobilne uređaje kao ciljnu platformu*“ u ovo istraživanje bi se mogao uključiti i SDK koji specifično cilja iOS mobilnu platformu, a to je Appleov ARKit XR Plugin. U tom slučaju kada se drugi izborni kriterij ne bi koristio, bilo bi preporučljivo da se istraživanje maksimalno proširi tako da obuhvaća sve mobilne platforme, tj. da bude *cross-platform*.

Nadalje, moguće je da se sam proces evaluacije aplikacija mogao poboljšati na način da se koriste strogi studijski uvjeti koji bi uključivali studijsko osvjetljenje, motorizirane ili ručne gramofone za fotografiranje predmeta u 360 stupnjeva (eng. *Turntable*), stativ za mobilne uređaje te čiste bijele površine. Ovakvi uvjeti bi predstavljali veliku prednost kod izrade target markera, a pogotovo kod izrade 3D target markera jer bi omogućili nesmetano fotografiranje ili 3D skeniranje objekta bez okolinskih šumova i sjena. Samim tim target markeri bi dobili veće ocjene (eng. *Rating*) što bi možda ubrzalo detekciju pojedinih target markera. Usprkos tome, u velikoj većini slučajeva projekcija virtualne informacije ne odvija se u strogim studijskim uvjetima, već se odvija u svakodnevnoj okolini koja odudara od studijskih uvjeta zbog različitog i neravnomjernog osvjetljenja i sjena, te različitih okolinskih elemenata (npr. razne vrste pozadina i ostalih objekata u sceni). U tom slučaju moguće je da rezultati dobiveni takvim načinom ne bi bili relevantni za svakodnevnu uporabu aplikacija, već bi ti rezultati reprezentirali vršne mogućnosti i kvalitete svakog SDK pojedinačno.

Ovo istraživanje bi se također moglo proširiti kada bi se u fazi testiranja koristilo više različitih mobilnih uređaja kako bi se prikupilo čim više podataka koji bi omogućili pronalazak prosječne vrijednosti i stope devijacije za svaki SDK. Mobilni uređaji koji bi se pritom koristili trebali bi biti od različitih proizvođača, različitih kategorija te različitog cjenovnog raspona za što veću pokrivenost relevantnih podataka i krajnjih rezultata.

Kada bi se proširile evaluacijske kategorije i kriteriji, tako da se na primjer omogući korištenje vanjskih dodataka kao što su razni geolokacijski dodaci, skripte za poboljšavanje detekcije i ostalo, tada bi se kao jedna od evaluacijskih kategorija mogla pojaviti i geolokacijska detekcija koju podržava svaki evaluirani SDK iz ovog istraživanja, no ne zasebno već uz vanjske dodatke. U tom slučaju možda bi se analizom i evaluacijom dobili drugačiji rezultati koji bi statistički odudarali rezultatima i zaključcima ovog istraživanja ili bi se istraživanje na taj način dodatno proširilo a zaključci bi pritom ostali jednaki.

Uspoređujući ovo istraživanje sa srodnim istraživanjima iz poglavlja „*Presjek ranijih i srodnih istraživanja*“ dolazi se do zaključka da ovo istraživanje statistički gledano odudara od prethodnih srodnih istraživanja. U komparaciji ovog istraživanja sa istraživanjem Herpich F. i suradnika (2017) [35] moguće je detaljnije uočiti elemente koji su doveli do djelomično različitih rezultata. Kada bi se istraživanje Herpich F. i suradnika (2017) saželo na tri AR SDK koja su istražena u oba istraživanja, tada se uočava da poredak AR SDK prema sveukupnom ispunjenju kategorija ostaje jednak, no postotak ispunjenja kategorija svakog AR SDK pojedinačno varira. Naime, u ovom istraživanju Wikitude AR SDK i Vuforia AR SDK su statistički prema postotku gotovo jednaki (1,44%), dok u istraživanju Herpich F. i suradnika (2017), razlika između Wikitude AR SDK i Vuforia AR SDK je 10%. Nadalje, postotak Easy AR SDK u ovom istraživanju je 71,22%, dok je postotak Easy AR SDK u istraživanju Herpich F. i suradnika (2017) 30%. U ovom slučaju, kada se kompariraju samo krajnje vrijednosti rezultata, može se zaključiti da istraživanja donose drugačije zaključke, no vrlo je važno kod komparacije bilo kojih istraživanja provjeriti sve varijable i generalne aspekte istraživanja kako bi se sa sigurnošću zaključilo gdje se pojedino istraživanje prema rezultatima razilazi.



IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

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

Ja, ANDREJ ČEP (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/~~autor~~/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom KOMPARATIVNA ANALIZA PRILIKA ZA RAZVIJANJE SOFTVERA PROSJEKNE STABILNOSTI ZA IZRADU EDUKACIJSKE APLIKACIJE UNUTAR UNITY GAME ENGINEA (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Andrej Čep  
(vlastoručni potpis)

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

Ja, ANDREJ ČEP (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/~~autor~~ s javnom objavom ~~završnog~~/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom KOMPARATIVNA ANALIZA PRILIKA ZA RAZVIJANJE SOFTVERA PROSJEKNE STABILNOSTI ZA IZRADU EDUKACIJSKE APLIKACIJE UNUTAR UNITY GAME ENGINEA (upisati naslov) čiji sam autor/~~autor~~.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Andrej Čep  
(vlastoručni potpis)

## 9. Literatura

- [1] Furht, B. (2011). *Handbook of Augmented Reality*, Izdavač: Springer, Florida, SAD  
Preuzeto: 19.4.2021.:  
[https://books.google.hr/books?hl=hr&lr=&id=fG8JUdrScsYC&oi=fnd&pg=PR3&dq=augmented+reality&ots=ifyfPuP6YA&sig=geLTWdZHEe3LRfDondqKbZ4CaAE&redir\\_esc=y#v=onepage&q=augmented%20reality&f=false](https://books.google.hr/books?hl=hr&lr=&id=fG8JUdrScsYC&oi=fnd&pg=PR3&dq=augmented+reality&ots=ifyfPuP6YA&sig=geLTWdZHEe3LRfDondqKbZ4CaAE&redir_esc=y#v=onepage&q=augmented%20reality&f=false)
- [2] Carmigniani, J. i Furht, B.(2011). *Augmented Reality: An Overview*, Izdavač: Springer, Florida, SAD  
Preuzeto: 19.4.2021.: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-0064-6\\_1](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-0064-6_1)
- [3] Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E. i Ivkovic, M. (2011). *Augmented reality technologies, systems and applications, Multimedia Tools and Applications* 51, 341-377 str.  
Preuzeto: 20.4.2021.: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-010-0660-6>
- [4] Red Hat, Inc. (2021). *What is an SDK?*  
Preuzeto: 20.4. 2021.: <https://www.redhat.com/en/topics/cloud-native-apps/what-is-SDK>
- [5] Amin, D. i Govilkar, S. (2015). *Comparative Study of Augmented Reality SDKs, International Journal on Computational Sciences & Applications (IJCSA) Vol.5, No.1.*, Izdavač: Department of Computer Engineering, University of Mumbai, PIIT, New Panvel, India  
Preuzeto: 21.4.2021.:  
[https://www.researchgate.net/publication/276855764\\_Comparative\\_Study\\_of\\_Augmented\\_Reality\\_Sdk's](https://www.researchgate.net/publication/276855764_Comparative_Study_of_Augmented_Reality_Sdk's)
- [6] Brito, P. Q. i Stoyanova, J. (2017). *Marker versus Markerless Augmented Reality. Which Has More Impact on Users? International Journal of Human-Computer Interaction, 34:9, 819-833 str.*  
Preuzeto: 21.4.2021.:  
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10447318.2017.1393974>
- [7] Alakärppä, I., Jaakkola, E., Väyrynen, J. i Häkkinen (2017). *Using nature elements in mobile AR for education with children, Proceedings of the 19th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services, No.41, 1-13 str.*  
Preuzeto: 24.4.2021.: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3098279.3098547>
- [8] PTC Inc. (2021). *Getting Started with Vuforia Engine in Unity*  
Preuzeto: 24.4.2021.: <https://library.vuforia.com/articles/Training/getting-started-with-vuforia-in-unity.html>

- [9] Linowes, J. i Babilinski, K. (2017). *Augmented Reality for Developers – Build practical augmented reality applications with Unity, ARCore, ARKit, and Vuforia*  
Izdavač: Packt Publishing, Birmingham-Mumbai  
Preuzeto: 24.4.2021.:  
[https://books.google.hr/books?hl=en&lr=&id=8xhKDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=vuforia&ots=vf0sIWkTQv&sig=UefFezO4L6k337qw8t6lgil09Jc&redir\\_esc=y#v=onepage&q=vuforia&f=false](https://books.google.hr/books?hl=en&lr=&id=8xhKDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=vuforia&ots=vf0sIWkTQv&sig=UefFezO4L6k337qw8t6lgil09Jc&redir_esc=y#v=onepage&q=vuforia&f=false)
- [10] Google (2021). *ARCore SDKs overview*  
Pristupano: 25.4.2021.: <https://developers.google.com/ar/develop>
- [11] Nowacki, P. i Woda, M. (2019). *Capabilities of ARCore and ARKit Platforms for AR/VR Applications, Advances of Intelligent Systems and Computing Vol. 987*  
Pristupano: 25.4.2021.: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-19501-4\\_36](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-19501-4_36)
- [12] Mallik, A. i Kapila, V. (2020). *Interactive Learning of Mobile Robots Kinematics Using ARCore, 5th International Conference on Robotics and Automation Engineering (ICRAE)*  
Pristupano: 28.4.2021.: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9310865>
- [13] Apple Inc. (2021). *About ARKit XR Plugin*  
Pristupano: 28.4.2021.:  
<https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arkit@4.1/manual/>
- [14] Dilek, U. i Erol, M. (2018). *Detecting position using ARKit, Buca Faculty of Education, Vol 53, No.2*  
Pristupano: 28.4.2021.: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6552/aaa0e6/meta>
- [15] Craciun, D. i Bunoiu, M. (2016). *Augmented Reality in Romanian Science Education Pros and Cons, The 12th International Scientific Conference eLearning and Software for Education Bucharest*  
Pristupano: 29.4.2021.:  
<https://www.proquest.com/openview/580d877a513aa5001dff0d043a9339dd/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1876338>
- [16] Wikitude GmbH (2019). *Getting started – Introduction to the Wikitude SDK*  
Pristupano: 29.4.2021.:  
<https://www.wikitude.com/external/doc/documentation/latest/unity/>
- [17] DeliĆ, A., Domančić, M., Vujević, P., Drljević, N. i Botički, I. (2014). *AuGeo: A geolocation-based augmented reality application for vocational geodesy education, Proceedings ELMAR-2014*  
Pristupano: 29.4.2021.: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6923372>

- [18] Badeche, M. i Benmohammed, M. (2012). *Proposition of a 3D pattern for e-learning augmented reality applications based on ARToolkit library*, *International Conference on Education and e-Learning Innovations*  
Pristupano: 29.4.2021.: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6360672>
- [19] ARToolworks (2021). *ARToolKit*  
Pristupano: 30.4.2021.: <https://artoolworks.com/products/commercial-software/artoolkit-for-unity.html> 72
- [20] Nechypurenko, P. P., Stoliarenko, V. G., Starova T. V., Selivanova T. V., Markova O. M., Modlo Y. O. i Shmeltser E. O. (2020). *Development and implementation of educational resources in chemistry with elements of augmented reality*, *CEUR Workshop Proceedings*  
Pristupano: 30.4.2021.: <http://elibrary.kdpu.edu.ua/handle/123456789/3751>
- [21] VisionStar Information Technology Co. (2020). *EasyAR Sense*  
Pristupano: 30.4.2021.: [https://help.easyar.com/EasyAR%20Sense/v4\\_3/](https://help.easyar.com/EasyAR%20Sense/v4_3/)
- [22] Dongheon, L., Hyoun-Joong, K., June Young C. i Young Jun C. (2020). *Application of Augmented Reality for Reccurent Laryngeal Nerve Identification During Robotic Thyroid Surgery*, *VideoEndocrinology, Vol. 7, No. 4*  
Pristupano: 30.4.2021.: <https://www.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/ve.2020.0174>
- [23] MAXST CO. (2018). *Introduction(5.0.x)*  
Pristupano: 24.4.2021.: [https://developer.maxst.com/MD/doc/5\\_0\\_x/intro](https://developer.maxst.com/MD/doc/5_0_x/intro)
- [24] Terzopoulos, G., Kazanidis, I., Satratzemi, M. i Tsinakos, A. (n.d.). *A Comparative Study of Augmented Reality Platforms for Building Educational Mobile Applications*, *Internet of Things, Infrastructures and Mobile Applications*  
Preuzeto: 30.4. 2021.:  
[https://books.google.hr/books?hl=en&lr=&id=cD\\_8DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA307&dq=sdks+augmented+reality&ots=u5GHOUQc2e&sig=yPztBIvalvCpqsKDyMHoZmI1Nm0&redir\\_esc=y#v=onepage&q=sdks%20augmented%20reality&f=false](https://books.google.hr/books?hl=en&lr=&id=cD_8DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA307&dq=sdks+augmented+reality&ots=u5GHOUQc2e&sig=yPztBIvalvCpqsKDyMHoZmI1Nm0&redir_esc=y#v=onepage&q=sdks%20augmented%20reality&f=false)
- [25] Neosentec (n.d.). *What AR frameworks are used in Onirix?*  
Pristupano: 30.4.2021.: <https://www.onirix.com/ar-sdks/>
- [26] Unity Technologies (2020). *Unity User Manual 2020.3 (LTS)*  
Pristupano: 30.4.2021.: <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>
- [27] Unity Technologies (2020). *FAQ: Licensing & activation*  
Pristupano: 30.4.2021.:  
<https://unity3d.com/unity/faq/2491#:~:text=Each%20STANDARD%20Unity%20license%20allows,they%20have%20exclusive%20use%20of.>
- [28] Unity Technologies (2020). *Getting started with AR development in Unity*  
Pristupano: 30.4.2021.: <https://docs.unity3d.com/Manual/AROverview.html>



- [29] Bower, M., Howe C., McCredie, N., Robinson, A. i Grover, D. (2014). *Augmented Reality in education – cases, places and potentials*, Izdavač: Mortimer House, Routledge, London  
Preuzeto: 2.5.2021.:  
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09523987.2014.889400>
- [30] Kesim, M. i Ozarslan, Y. (2012). *Augmented Reality in Education: Current Technologies and the Potential for Education, Procedia – Social and Behavioral Sciences, Vol 47., 297-302 str.*  
Preuzeto: 2.5.2021.:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812023907>
- [31] Wu H.K., Lee S.W.Y., Chang H.Y. i Liang J.C. (2013). *Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education, Computers and Education, Vol 62., 41-49 str.*  
Preuzeto: 2.5.2021.:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360131512002527>
- [32] Yunqiang C., Qing W., Hong C., Xiaoyu S., Hui T. i Mengxiao T. (2009). *An Overview of augmented reality technology, Journal of Physics :Conference Series Vol.1237 No.2*  
Pristupano: 2.5.2021.: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1237/2/022082/meta>
- [33] Chi-Yin Yuen S., Yaoyuneyong G. i Johnson E. (2011). *Augmented Reality: An Overview and Five Directions for AR in Education, Journal of Educational Technology Development and Exchange Vol.4 No.11*  
Pristupano: 2.5.2021.: <https://aquila.usm.edu/jetde/vol4/iss1/11/>
- [34] Dias, B., Keller B. i Delabrida, S. (2019). *Evaluation of Augmented Reality SDKs for Classroom Teaching, Creative Education No.28*  
Preuzeto: 4.5.2021.: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3357155.3358447>
- [35] Herpich, F., Martins Guarese, R. L. i Rockenbach Taroucu, L. M. (2017). *A Comparative Analysis of Augmented Reality Frameworks Aimed at the Development of Educational Applications, Creative Education Vol.08 No.09*  
Preuzeto: 4.5.2021.:  
<https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=77994>
- [36] Bouhorma, M., Lotfli, E. i Hanafi, A. (2019). *A Comparative Study of Augmented Reality SDKs to Develop an Educational Application in Chemical Field*  
Preuzeto: 5.5.2021.:  
[https://www.researchgate.net/publication/333232503\\_A\\_comparative\\_Study\\_of\\_Augmented\\_Reality\\_SDKs\\_to\\_Develop\\_an\\_Educational\\_Application\\_in\\_Chemical\\_Field](https://www.researchgate.net/publication/333232503_A_comparative_Study_of_Augmented_Reality_SDKs_to_Develop_an_Educational_Application_in_Chemical_Field)

- [37] Tongprasom, K., Boongsood, W., Boongsood, W. i Pipatchotitham, T. (2021). *Comparative Study of an Augmented Reality Software Development Kit Suitable for Forensic Medicine Education, International Journal of Information and Education Technology, Vol.11 No.1*  
Preuzeto: 5.5. 2021.: <http://www.ijiet.org/vol11/1482-JK1-043.pdf>
- [38] Kaufmann, H. i Schlamstieg, D. (2002). *Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality, Association for Computing Machinery, 37-41 str.*  
Preuzeto: 5.5.2021.: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/1242073.1242086>
- [39] ResearchGate GmbH (2008-2021). *ResearchGate*  
Preuzeto: 10.5. 2021.: <https://www.researchgate.net/>
- [40] PTC Inc. (2021).  
Preuzeto: 15.5.2021.: <https://developer.vuforia.com/forum/news-and-announcements>
- [41] Wikitude GmbH (2021). *Release Notes Wikitude SDK Professional Edition*  
Preuzeto: 15.5.2021.:  
<https://www.wikitude.com/external/doc/documentation/latest/android/changelog.html>
- [42] VisionStar Information Technology Co. (2021). *Release notes 4.2.0*  
Preuzeto: 15.5.2021.:  
[https://help.easyar.com/EasyAR%20Sense/v4\\_2/ReleaseNotes/EasyAR-Release-Notes-4.2.0.html](https://help.easyar.com/EasyAR%20Sense/v4_2/ReleaseNotes/EasyAR-Release-Notes-4.2.0.html)
- [43] MAXST CO. (2021). *Release note*  
Preuzeto: 15.5.2021.: <https://developer.maxst.com/MD/doc/g/release>

## Popis slika

|  |    |
|--|----|
| Slika 1 Skala Realno-virtualnog kontinuuma [1] .....   | 2  |
| Slika 2 Logo - Vuforia Engine SDK [8].....   | 5  |
| Slika 3 Logo – ARCore SDK [10].....  | 6  |
| Slika 4 Logo - ARKit SDK [13] .....  | 6  |
| Slika 5 Logo - Wikitude SDK [16].....  | 7  |
| Slika 6 Logo - ARToolKit SDK [19] .....  | 7  |
| Slika 7 Logo - EasyAR SDK [21] .....   | 8  |
| Slika 8 Logo - MaxST SDK [23].....   | 8  |
| Slika 9 Logo - Onirix SDK [25] .....   | 9  |
| Slika 10 Graf komparacije AR SDK [35].....   | 15 |
| Slika 11 Prikaz target markera korištenog za kategoriju "Detekcija 2D slika" [39] .....  | 21 |
| Slika 12 Prikaz target markera korištenih za kategoriju "Detekcija više objekata" [39] .....   | 21 |
| Slika 13 Prikaz target markera korištenog za kategoriju "Detekcija 3D objekata" .....  | 22 |
| Slika 14 Primjer izrađenog korisničkog sučelja aplikacije "VuforiaResearchApp", tj. glavnog<br>izbornika .....   | 23 |
| Slika 15 Detekcija 2D slika - J: Prikaz jednostavnog modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom<br>korištenja aplikacije VuforiaResearchApp .....           | 26 |
| Slika 16 Detekcija 2D slika - J: Prikaz jednostavnog modela sa zaslona računala unutar Unity<br>Game Enginea koristeći Vuforia AR SDK.....                   | 26 |
| Slika 17 Detekcija 2D slika - S: Prikaz složenog modela sa animacijom sa zaslona mobilnog<br>uređaja prilikom korištenja aplikacije VuforiaResearchApp ..... | 26 |
| Slika 18 Detekcija 2D slika - S: Prikaz složenog modela sa zaslona računala unutar Unity Game<br>Enginea koristeći Vuforia AR SDK .....                      | 27 |
| Slika 19 Detekcija 3D objekta: Prikaz modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja<br>aplikacije VuforiaResearchApp.....                           | 28 |
| Slika 20 Detekcija 3D objekta: Prikaz modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea<br>koristeći Vuforia AR SDK .....                                 | 28 |
| Slika 21 Detekcija više objekata: Prikaz modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja<br>aplikacije VuforiaResearchApp.....                        | 29 |
| Slika 22 Detekcija više objekata: Prikaz modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea<br>koristeći Vuforia AR SDK .....                              | 29 |
| Slika 23 Bez markerska detekcija: Prikaz modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja<br>aplikacije VuforiaResearchApp.....                        | 30 |

|  |    |
|--|----|
| Slika 24 Bez markerska detekcija: Prikaz modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći Vuforia AR SDK .....                     | 31 |
| Slika 25 Prikaz Vuforia AR SDK baze podataka u oblaku unutar web preglednika, tj. „Vuforia Target Manager“ .....                                 | 31 |
| Slika 26 Prikaz proces izrade 3D markera koristeći aplikaciju „Vuforia Object Scanner“ .....   | 32 |
| Slika 27 Prikaz skeniranog 3D objekta unutar aplikacije „Vuforia Object Scanner“ .....   | 32 |
| Slika 28 Detekcija 2D slika - J: Prikaz jednostavnog modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije WikitudeResearchApp ..... | 34 |
| Slika 29 Detekcija 2D slika - J: Prikaz jednostavnog modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći Wikitude AR SDK .....        | 34 |
| Slika 30 Detekcija 2D slika - S: Prikaz složenog modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije WikitudeResearchApp .....     | 35 |
| Slika 31 Detekcija 2D slika - S: Prikaz složenog modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći Wikitude AR SDK .....            | 35 |
| Slika 32 Detekcija 3D objekta: Prikaz modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije WikitudeResearchApp .....                | 36 |
| Slika 33 Detekcija 3D objekta: Prikaz modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći Wikitude AR SDK .....                       | 36 |
| Slika 34 Detekcija više objekata: Prikaz modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije WikitudeResearchApp .....             | 37 |
| Slika 35 Detekcija više objekata: Prikaz modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći Wikitude AR SDK .....                    | 38 |
| Slika 36 Bez markerska detekcija: Prikaz modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije WikitudeResearchApp .....             | 39 |
| Slika 37 Bez markerska detekcija: Prikaz modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći Wikitude AR SDK .....                    | 39 |
| Slika 38 Prikaz Wikitude AR SDK baze podataka za detekciju 2D slika u oblaku unutar web preglednika .....  | 40 |
| Slika 39 Prikaz Wikitude AR SDK baze podataka za detekciju 3D objekata u oblaku unutar web preglednika .....                                     | 40 |
| Slika 40 Prikaz Wikitude AR SDK baze podataka unutar Unity Game Enginea - „WTC Editor“ .....   | 41 |
| Slika 41 Prikaz rada na bazi podataka Wikitude AR SDK unutar Unity Game Enginea, tj. izvan oblaka i web preglednika .....                        | 42 |

|  |    |
|--|----|
| Slika 42 Detekcija 2D slika - J: Prikaz jednostavnog modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije EasyARSenseResearchApp..... | 44 |
| Slika 43 Detekcija 2D slika - J: Prikaz jednostavnog modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći Easy AR Sense SDK.....         | 44 |
| Slika 44 Detekcija 2D slika - S: Prikaz složenog modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije EasyARSenseResearchApp.....     | 45 |
| Slika 45 Detekcija 2D slika - S: Prikaz složenog modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći Easy AR Sense SDK.....             | 45 |
| Slika 46 Detekcija više objekata: Prikaz modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije EasyARSenseResearchApp .....            | 46 |
| Slika 47 Detekcija više objekata: Prikaz modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći Easy AR Sense SDK.....                     | 46 |
| Slika 48 Bez markerska detekcija: Prikaz modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije EasyARSenseResearchApp .....            | 47 |
| Slika 49 Bez markerska detekcija: Prikaz modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći Easy AR Sense SDK.....                     | 48 |
| Slika 50 Prikaz Easy AR Sense SDK baze podataka, tj. „Easy Ar Sense CRS“ .....   | 48 |
| Slika 51 Prikaz Easy AR SDK Sense baze podataka unutar Unity Game Enginea - „Image Target Data“ .....  | 49 |
| Slika 52 Detekcija 2D slika - J: Prikaz jednostavnog modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije MaxSTRResearchApp .....     | 51 |
| Slika 53 Detekcija 2D slika - J: Prikaz jednostavnog modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći MaxST AR SDK .....             | 51 |
| Slika 54 Detekcija 2D slika - S: Prikaz složenog modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije MaxSTRResearchApp .....         | 52 |
| Slika 55 Detekcija 2D slika - S: Prikaz složenog modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći MaxST AR SDK.....                  | 52 |
| Slika 56 Detekcija 3D objekta: Prikaz modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije MaxSTRResearchApp .....                    | 53 |
| Slika 57 Detekcija 3D objekta: Prikaz modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći MaxST AR SDK.....                             | 53 |
| Slika 58 Detekcija više objekata: Prikaz modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije MaxSTRResearchApp .....                 | 54 |
| Slika 59 Detekcija više objekata: Prikaz modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći Vuforia AR SDK .....                       | 54 |

|   |    |
|---|----|
| Slika 60 Bez markerska detekcija: Prikaz modela sa zaslona mobilnog uređaja prilikom korištenja aplikacije MaxSTResearchApp ..... | 55 |
| Slika 61 Bez markerska detekcija: Prikaz modela sa zaslona računala unutar Unity Game Enginea koristeći MaxST AR SDK.....         | 55 |
| Slika 62 Prikaz MaxST AR SDK baze podataka za detekciju 2D slika u oblaku unutar web preglednika, tj. „Target Manager“ .....      | 56 |
| Slika 63 Prikaz proces izrade 3D markera koristeći aplikaciju Visual SLAM Tool App .....  | 57 |
| Slika 64 Prikaz skeniranog 3D objekta unutar aplikacije Visual SLAM Tool App.....   | 57 |
| Slika 65 Grafikon postotka ispunjenosti kategorija i kriterija svih SDK uključenih u istraživanje .....                           | 61 |

## Popis tablica

|  |    |
|--|----|
| Tablica 1 Tablica podržanih značajki "AR Foundation" [28] .....  | 10 |
| Tablica 2 Tablica izbornih kriterija za Vuforia Engine AR SDK [40].....                                | 24 |
| Tablica 3 Tablica izbornih kriterija za Wikitude AR SDK [41].....                                      | 24 |
| Tablica 4 Tablica izbornih kriterija za Easy AR Sense SDK [42] .....                                   | 24 |
| Tablica 5 Tablica izbornih kriterija za MaxST AR SDK [43] .....  | 24 |
| Tablica 6 Tablica evaluacije kategorija Vuforia AR SDK .....   | 33 |
| Tablica 7 Tablica evaluacije kategorija Wikitude AR SDK.....   | 42 |
| Tablica 8 Tablica evaluacije kategorija Easy AR Sense SDK .....  | 50 |
| Tablica 9 Tablica evaluacije kategorija MaxST AR SDK .....   | 57 |
| Tablica 10 Tablica komparacije rezultata dobivenih istraživanjem prema kategorijama za svaki SDK ..... | 61 |
| Tablica 11 Prazna tablica evaluacije kategorija.....   | 77 |

## Prilozi

Tablica 11 Prazna tablica evaluacije kategorija

| KATEGORIJE/KRITERIJI                | Podržava li    | Vrijeme pokretanja | Kvaliteta projekcije | Količina treperenja | Zadržavanje fokusa | Vrijeme učitavanja |
|-------------------------------------|----------------|--------------------|----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| Detekcija 2D slika - J              |                |                    |                      |                     |                    |                    |
| Detekcija 2D slika - S              |                |                    |                      |                     |                    |                    |
| Detekcija 3D objekata               |                |                    |                      |                     |                    |                    |
| Detekcija više objekata             |                |                    |                      |                     |                    |                    |
| Bez markerska detekcija             |                |                    |                      |                     |                    |                    |
|                                     | Uređaj interna | Uređaj eksterna    | U oblaku             |                     |                    |                    |
| Baza podataka target markera        |                |                    |                      |                     |                    |                    |
|                                     | U oblaku       | Izvan oblaka       | Izrada 3D markera    |                     |                    |                    |
| Rad na bazi podataka target markera |                |                    |                      |                     |                    |                    |
|                                     | Postoji li     |                    |                      |                     |                    |                    |
| Provjera kompatibilnosti            |                |                    |                      |                     |                    |                    |
| <b>SUMA</b>                         |                | <b>POSTOTAK</b>    |                      |                     |                    |                    |