

Proširena stvarnost i mogućnosti njene upotrebe u obrazovanju

Seminarski rad u okviru kursa
Tehničko i naučno pisanje
Matematički Fakultet

Filip Nedeljković
mi22043@alas.matf.bg.ac.rs

Matija Đorđević
mi22059@alas.matf.bg.ac.rs

Mlađan Simić
mi22090@alas.matf.bg.ac.rs

Igor Stojanović
mi22159@alas.matf.bg.ac.rs

17. decembar 2022.

Sažetak

Proširena stvarnost je tehnologija koja se počela koristiti početkom 90-ih godina prošlog veka, tada u vojnoj instituciji vazdušnih snaga SAD-a. Sam termin „proširena stvarnost“ skovan je 1990. godine. Samim time, radi se o relativno novoj tehnologiji. U radu je prikazan njen razvoj, razvoj hardvera i softvera koji je ključan za rad, širu dostupnost i mogućnosti proširene stvarnosti, kako je tehnologija postala šire dostupna, način na koji se ova tehnologija može iskoristiti na šta ćemo fokus staviti na primenu tehnologije proširene stvarnosti u obrazovanju.

Sadržaj

1	Uvod	2
2	Istorija	2
3	Način rada AR tehnologije	4
3.1	Senzor	4
3.2	Procesor	5
3.3	Displej	6
3.4	Softver	6
4	Primena u obrazovanju	7
5	Zaključak	8
	Literatura	8

1 Uvod

Proširena stvarnost (engl. *Augmented reality*, skraćeno AR) predstavlja takav spoj fizičkog i digitalnog sveta, u kojem digitalni elementi (slika, tekst, animacija ili zvuk) dopunjavaju fizički svet. Ljudi traže prirodniji, efikasniji i pristupačniji način za interakciju sa računarima i današnjim digitalnim svetom. Iz tog razloga okreće se tehnologijama AR i VR (engl. *Virtual reality* - virtuelna stvarnost). Glavna razlika između ovih tehnologija je u tome što VR zamenjuje predstavljanje stvarnog sveta, dok AR dodaje informacije stvarnom svetu, zbog čega postoji i razlika u korišćenom hardveru. Međutim, VR i AR tehnologije ne isključuju jedna drugu, naprotiv, često su komplementarne jedna drugoj, a razvoj i primena jedne je uticala na razvoj i primenu druge. AR tehnologija nam omogućava da vidimo elemente koji ne postoje u stvarnom životu putem aplikacije kroz ekran uređaja, obično mobilnog telefona. Tehnologija proširene stvarnosti (AR) se koristi u mnogim oblastima kao što su zabava, vojska, marketing, inženjering, medicina, psihologija, oglašavanje. S obzirom na naprednu tehnologiju i bogato okruženje za učenje koje nudi AR, istaknuta je i primena ove tehnologije u oblasti obrazovanja. Za razliku od AR, VR tehnologija zahteva upotrebu naočara kroz koje ne možete videti ništa oko sebe, već samo virtuelno stvoreni svet. Obe tehnologije su veoma mlade, njihov razvoj počinje u drugoj polovini 20. a šira upotreba i dostupnost tek početkom 21. veka. Ali, uprkos tome, sve brži tehnološki napredak i globalizacija doveli su do toga da se obe tehnologije veoma brzo šire, postaju dostupne sve većem broju ljudi, a svakim danom im se pronalaze nove potencijalne upotrebe.[2]

2 Istorija

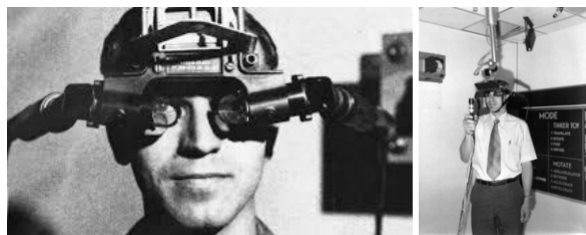
Od početka civilizacije, ljudi su težili unapređenju svog okruženja. Rani pokušaji obuhvatali su manipulaciju objekata u fizičkom smislu a kako se čovečanstvo razvijalo, ideje su dobile vodeći značaj.[5] Uz pomoć novih uređaja i pomagala, ulazi se u vreme u kome nestaju granice između fizičkog i idejnog sveta.

Pojam „proširene realnosti“ je tek u skorije vreme postao popularan, ali su se ljudi ovom tematikom bavili stotinama godina koristeći se optičkom naukom. Još u 17. veku poznat je primer „*Peperovog duha*“, pozorišna iluzionistička tehnika koja je refleksijom posmatraču dala utisak viđenja duha. U toku Drugog svetskog rata, Vojska Velike Britanije razvila je tehnologiju koja je omogućila prikaz radarskih informacija na vetrobranu borbenih aviona i time olakšala prepoznavanje neprijatelja.

Kinematograf Morton Hejlig je u periodu od 1955. do 1962. godine radio na projektu zvanom „*Sensorama*“ koji je, njegovim rečima, predstavljao „budućnost filma i bioskopa“ jer je umesto statičnog posmatranja, nudio bliži osećaj prisutnosti.

Ubrzanim razvojem računarskih nauka i arhitekture računara otvorilo se novo poglavlje proširene realnosti. Ajvan Saderland je razvio „*Sketchpad*“, prvu interaktivnu grafičku aplikaciju na Masačusetskom Institutu Tehnologije 1963. godine.

Pet godina kasnije, na Harvard Univerzitetu, zajedno sa Bobom Sprulom, stvara prvi prototip sistema proširene realnosti kakve danas znamo. Prototip se sadržao od displeja postavljenog preko cele glave korisnika sa brojnim kablovima povezanim na velike kompjutere(slika 1). Iako primitivan, sistem je omogućavao prikaz trodimenzionalne grafike prikazane



Slika 1: Rani prototip

preko stvarnosti. Korisnik je imao 40 stepeni vidnog polja, a posrebrana ogledala u prizmi su zaslužna za prikaz slike iz katodne cevi i realnosti istovremeno.

Majron Kruger 1975. godine uspostavio laboratoriju za veštačku realnost na Univerzitetu u Konektikutu zvanu „*Videoplace*“. Njegova ideja se zasnivala na proširenoj realnosti koja nije podrazumevala korišćenje pomagala poput naočara ili rukavica. „*Videoplace*“ je koristio projektore, kamere, specijalizovani hardver i siluete korisnika kako bi prilagodio virtuelno okruženje. Pokreti korisnika su analizirani i obrađeni tako da se promene vide u realnom vremenu.

Na vrhuncu Hladnog rata, najveći budžet za projekte ove tematike dodeljivan je, očekivano, onima sa vojno-industrijskom svrhom. Uglavnom se radilo na unapređenju kokpita vojnih aviona a značajni pomaci ostvarivani su u Amrstrong Laboratoriji (Američko ratno vazduhoplovstvo), Ames Istraživačkom centru (NASA), Univerzitetu Severne Karoline, i tako dalje.[6] Interesantan primer je *tenkovski simulator* koji je napravila vojska Švajcarske. Imao je za cilj osposobljavanje korisnika da upravlja ju tenkom bez potrebe da ih stavi u potencijalno opasnu situaciju gde je svaka greška poprilično skupa.

Devedesetih godina prošlog veka, proširena realnost dobija svoju formalnu definiciju, i to u naučnom radu Ronalda Azume koji je identifikuje kao spoj stvarnog i virtuelnog okruženja gde su oba interaktivna u realnom vremenu. [7] Sistemi se koriste za razne nove funkcionalnosti poput navigacije, medicine, edukacije, itd.

Prva igrice u proširenoj realnosti je „*ARQuake*“, razvijena od strane Brusa Tomasa 2000. godine i predstavljena na Internacionalnom simpozijumu prenosnih računara. Hirokazu Kato u periodu dvehiljaditih razvija open-source biblioteku nazvanu „*ArToolKit*“ koja pomaže ostalim programerima pri razvoju aplikacija u proširenoj realnosti.

U nastavku prve decenije, Microsoft je razvio „*Kinect*“, uređaj za detekciju pokreta i odvajanje korisnika od okoline, primarno korišćen za razonodu. Funkcioniše na strukturisanim svetlosnim računanjima, koja se izvede uz RGB kamere i infracrvene projektore i detektore.

„*Google Glass*“ je razvijen od strane Google X, ustanove u okviru Google-a posvećenoj tehnološkim dostignućima. Manji je i tanji nego bilo koji prethodni pokušaj dizajna prenosivih naočara. Liči na standardne naočare, sa sočivima zamenjenim monitorom. Glass je predstavljao inovativan koncept ali nije uspeo da se probije na tržištu.

Razvoj mobilnih uređaja koji sada poseduju sredstvo za navigaciju, fotografisanje, reprodukciju zvuka i snimka, žiroskope, itd., omogućio je nastanak mnoštva aplikacija koje su kombinovale sve te aspekte i zapravo stvorile jedno okruženje proširene realnosti. Najpopularniji primer je igri-

ca „*Pokemon GO*“ koja je za kratko vreme osvojila svet. Potencijal koji se nalazi u ovoj tehnologiji je velik i nesumnjivo je da će u jednom trenutku biti uveliko prihvaćena od strane šire javnosti i prosečnih ljudi za njihove različite potrebe.

3 Način rada AR tehnologije

Tokom razvijanja nekih aplikacija koje koriste ovu tehnologiju, developer treba da razmotri koje hardverske komponente će se koristiti za izradu jer za istu primenu će postojati i više opcija. Jedne od bitnih razlika su optimizacija, jednostavnost i cena, koja i najviše ograničava. Napredovanjem tehnologije povećava se sposobnost hardvera kako bi on bio bolji i brži za manju cenu, što naravno odgovara developerima.

Osnovne hardverske komponente:

- senzor
- procesor
- ekran

Svaka od ovih tri stavki vrši drugačije uloge u zavisnosti od napravljene aplikacije.^[5]

3.1 Senzor

Uloga senzora: Sensori dobavljaju informacije iz realnog sveta aplikaciji u zavisnosti od potrebe. Neke od najčešćih su lokacija, orijentacija a pored toga i ostale informacije o okolnoj sredini poput temperature, svetlost/tama, pH, itd.

Neki od senzora koji dodatno poboljšava ovu uslugu (optičko praćenje) jeste kamera, tako što pruža signal u vidu slike onoga što zabeleži i kroz tu sliku se sakupljaju informacije koje koristi aplikacija. Pored obične kamere, mogu se koristiti infracrvene (Nintendo Wii koristi takvu tehnologiju kako bi zabeležio pokrete korisnika) i ultraljubičaste. Optičko praćenje se tako najčešće koristi kada se proizvode pokreti, koje treba aplikacija da zabeleži onako kako su izvedeni. Prednost jeste što kablovi nisu neophodni kao ni šta što bi bilo zakačeno za objekat koji se prati. Novije kamere koje imaju sposobnost optičkog praćenja su trenutno veoma prisutne kov većine telefona koje ljudi trenutno poseduju, stoga korišćenje ove tehnologije je jeftino. Mana jeste što je neophodna svetlost kako bi kamera mogla da zabeleži precizno informaciju praćenog objekta, ne sme da se ništa nalazi između kamere i objekta kako bi pravilno funkcionisalo i više praćenih pomerajućih objekta u blizini mogu poremititi praćenje.

Mikrofon spada u vrstu senzora, čime dobavljanjem zvuka, pruža informaciju aplikaciji. Potrebno je da mikrofon bude zakačen za praćeni objekat, ili više mikrofona u željenom prostoru. Zvuk koji mikrofon najčešće beleži je ultrazvuk, tako da pomerajući objekat proizvodi zvuk tokom pomeranja koji mikrofon beleži, tako se saznaje mesto u prostoru. Različiti zvukovi će se proizvoditi na različitim frekvencijama, tako će se i razlikovati i lakše beležiti. Neophodno je da praćeni objekat bude povezan sa nekim kompjuterskim sistemom kako bi on mogao primati signale koji mikrofoni šalju. Prednost na optično praćenje je što funkcioniše nezavisno od svetlosti i svih vizualnih poteškoća koje bi optično praćenje imalo. Mana je što pored praćenih objekata, okolina može proizvoditi zvuke iste frekvencije koje bi mikrofon beležio, takođe i domet signala je ograničen.

Elektromagnetno praćenje je takođe jedan od načina, veoma zastupljen u VR sistemima i postoji sistem koji je veoma dobro odrađen za ovakvo praćenje. U stanju je da prati u 6 stepeni tok prostora, postoji predajnik sa 3 ortogonalne antene, a isto tako i prijemnik koji je zakačen za prateći objekat koji takođe ima tri ortogonalne antene. Tranzmitori emituju signal i u zavisnosti od jačine signala koji antene emituju, određuje se položaj objekta. Za razliku od prethodna dva navedena, precizniji je i ne zavisi od svetlosti i okolnog zvuka. Iako je moguće korišćenjem više predajnika kako bi se povećala daljina emitovanja signala, svakako je ograničeno i predlaže se da to bude što je bliže moguće za kvalitetnije korišćenje. Cena ovakvih uređaja je mnogo veća za razliku od kamere koju poseduju svi noviji telefoni, stoga mnogo je manja korišćenost.

Mehaničko praćenje funkcioniše tako što je praćeni objekat povezan sa nekim zglobnim spojevima/vezama kojima je potrebno očitati ugao pod kojim se nalaze, čime nakon očitavanje svih veza, dobija se tačna lokacija/poza oprečenog objekta u prostoru. Veoma su precizne u prostoru i samom pokretu, dodatan način signal kakav daje je što snaga kojom primera radi, pritiskamo prstima nešto, može da se tačno detektuje čime se dobija detaljnije informacije koje mogu služiti u raznim aplikacijama sa nekom svrhom. Oprema je skupa i ne može biti lako korišćena u trenutku za razliku od drugih, takođe i domet je ograničen tim mehaničkim vezama. U tabeli (tabela 1) ispod se mogu videti karakteristike navedenih senzora. Još neke vrste senzora su GPS, kompas, brzinometar i slično.[5]

Tabela 1: Poređenje senzora

Vrsta praćenja	Kvalitet	Dostupnost	Cena
Kamera (vizualno)	Srednja	Visoka	Srednja/Niska
Mikrofon (zvuk)	Srednja	Visoka	Srednja
Elektromagnetno	Visok	Srednja	Visoka
Mehaničko	Visok	Niska	Visoka

3.2 Procesor

Uloga procesora: Nephodan je za ovakvu tehnologiju, prima signal koji pomoću instrukcija aplikacije vrši izračunavanja tako da na kraju proizvede to što je zadato na ekranu. Postoje različiti načini obrade informacije procesorom: aplikacije koje rade na telefonima, preko nekog ručnog sistema na remote serveru, preko laptopa/računara povezane na remote servera, preko web aplikacija, preko cloud servera, preko ostalih lokalnih i remote sistema.

Razlike između navedenih obradi jeste brzina procesora koje može postojati u telefonu/računaru/laptopu; zatim memorija zbog koje neke aplikacije ne mogu ni podržati memorijski; korišćenje nekog servera ili clouda može olakšati neke od navedenih problema; razlika može biti u kašnjenju koje se dešava na web aplikacijama, cloud i serveri; moguće je kombinovanje nekih od navedenih načina.

O tome preko čega će biti korišćenja aplikacija, treba odlučiti šta je najbolje za tu svrhu, zbog mana poput kašnjenja, memorije, kompleksnosti... Ručni uređaji poput telefona i tableta su najbolja opcija i najviše će se na njima raditi u buduću, kako budu bili manje ograničeni memorijom i kompleksnošću. Moguće je naravno da bude korišćeno sa više različitih

uređaja do čega dolazi do softverskog problema koji može i ne mora stvarati prepreku. Neke od specifikacija koje su bitne: broj procesora, brzina procesora, memorija, hard memorija, brzina grafike, network bandwidth, network latency.[5]

3.3 Displej

Displej je uređaj koji obrađene informacije daje nama signale našim očima, ušima, dodira, nosa, itd. Vizualni displej proizvodi sliku iz informacija i emituje nam na ekran, tako može i emitovati: stacionarski vizualni displej, vizualni displej koji se pomera sa glavom korisnika, vizualni displej koji se pomera sa rukom ili drugim delovima tela korisnika.

Isto kao i vizualni displej, može se podeliti na: stacionarski vizualni displej, vizualni displej koji se pomera sa glavom korisnika, vizualni displej koji se pomera sa rukom ili drugim delovima tela korisnika.[5]

3.4 Softver

Za bolju funkciju hardvera, neophodan je dobro razvijen softver, u ovom slučaju, postoji nekoliko kategorija softvera kada se pravi AR aplikacija: softver direktno u AR aplikaciji, softver za pravljenje AR aplikacije, softver za pravljenje sadržaja AR aplikacije

Softver direktno u AR aplikaciji - Bitne stvari za stvaranje ovakvih softvera jesu AR biblioteke, u kojima već imaju spremne stvari poput stupanja okruženja (eng. *Environmental Acquisition*), softver za renderovanje, application engine... Mana biblioteka jeste korišćenje komponenti iz različitih biblioteka, zatim ograničenost biblioteke prema nekoj platformi, stoga mnogi developeri prave svoje zasebne.

Environmental Acquisition je softver koji radi kao interfejs između AR sistema i senzora, tj. podatke koje senzor (npr. kamera) dobije pretvori u sliku tako da ostatak softvera može da nastavi sa daljim radom.

Integracija senzora (eng. *Sensor integration*) radi tako da signale dobijene iz senzora, obrađuje i integriše tako da budu pogodne za ostatak AR aplikacije. Najbolji primer upotreba podataka kamere za praćenje, gde je potrebno da aplikacija zna gde se kamera nalazi u odnosu na drugi marker, uglavnom se kombinuje više senzora kako bi zajedno dobro funkcionisali (GPS, kompas,...itd.).

Motor aplikacije (eng. *Application engine*) sakupi obrađene podatke iz senzora i stvara informaciju koja se posle šalje za renderovanje kako bi se napravio signal za displej. U ovom delu se prave simulacije, "pravila" taj virtualni/realni svet.

Softver za renderovanje konvertuje sakupljene informacije iz AR aplikacije u signal za displej. Postoji softver za renderovanje zvuka, slike, dodire, ređe za miris i ukus, kao i za druge vrste informacija.

Za developere je bitno koji audio ili video fajl sistem podržava, zbog toga je i biranje biblioteke mnogo komplikovanije za olakšano pravljenje.

Softver za pravljenje AR aplikacije - Za pravljenje aplikacije, uglavnom se koriste isti alati i resursi, bitna stvar je efikasnost odnosno sa što manje kašnjenja. S obzirom da se na sličan način pravi, nema velike razlike osim odabira biblioteke koja tu ima glavnu ulogu, zbog platforme na kojoj bi se koristila aplikacija kao jedna od najbitnijih stvari a naravno i prilagođavanje gore navedenim stvarima.

Softver za pravljenje sadržaja AR aplikacije - U softveru sa pravljenje sadržaja AR aplikacija, može se podeliti na pravljenje i editovanje: 3D grafike, 2D grafike i zvuka.

Pravljenje 3D grafike je deo 3D modelinga koji se radi u određenim aplikacijama kao stvar za sebe, stoga izabrana biblioteka mora da se uklopi sa izlaznom datotekom neke od ovih programa. Ovde se odrađuje ceo 3D svet aplikacije za koji motor stvara pravila.

Za pravljenje 2D grafike nema veće razlike osim aplikacije pomoću koje se vrši izrada.

Pravljenje zvuka je takođe zasebna stvar, potrebno je obezbediti mogućnost snimanja i editovanja pomoću raznih programa tako da je moguće izvršiti implementaciju u AR aplikaciji.[5]

4 Primena u obrazovanju

Obrazovni sistem evoluirao i prilagođava se dostupnoj tehnologiji i potrebama studenata. Tradicionalne knjige zamenjuju se digitalnim nastavnim sadržajima. U većini akademskih oblasti, kao što su *matematika, nauka, inženjerstvo i statistika*, uspeh studenata u velikoj meri zavisi od njihove sposobnosti da predvidi i manipuliše apstraktnim informacijama. Jedan od glavnih razloga zašto se VR i AR koriste u svrhe obrazovanja i obuke je podrška visoke interaktivnosti i sposobnosti predstavljanja virtuelnog okruženja koje podseća na stvarni svet. Pomoću ove tehnologije moguće je istraživanje i manipulisanje trodimenzionalnim interaktivnim okruženjem. Tradicionalne metode obrazovanja zasnovane na predavanjima suočavaju se sa problemom nedovoljne angažovanosti studenata, što za posledicu može da ima negativan uticaj na njihov uspeh.

Istraživači potvrđuju da tehnološki alati koji se koriste u obrazovanju doprinose aktiviranju motivacije, nude nove mogućnosti, pružaju prijatnu atmosferu za učenje, povećavaju interakciju među učenicima, čine proces učenja aktivnijim, efikasnijim i sadržajnijim. Na sličan način AR tehnologija privlači pažnju naučnika u obrazovanju jer favorizuje interakciju stvarnih i virtuelnih objekata i stvara okruženje koje podstiče iskustveno učenje. Naučnici smatraju da AR tehnologija pomaže u predstavljanju apstraktnih stvari, u prikazivanju opasnih slučajeva, prikazivanju složenih tema, zatim u podučavanju nevidljivih stvari i događaja. Štaviše, AR tehnologija pruža studentima fleksibilnost, podstiče veštine kreativnog razmišljanja, veštine tumačenja i rešavanja problema. Mnogi naučnici koji istražuju upotrebu tehnologije i interneta u obrazovanju ukazuju na značaj karakteristika učenika i upotrebe tehnologije za poboljšanje ishoda učenja u oblasti visokog obrazovanja. [1]

Construct3D omogućava studentima da uče koncepte mašinstva, matematike ili geometrije. Nastavni sadržaji iz matematike koji se odnose na tri dimenzije mogu biti teški za učenike jer moraju stalno u glavi da pretvaraju dvodimenzionalni crtež iz udžbenika u trodimenzionalni model i obrnuto. Zbog toga učenici imaju dodatni izazov u kome treba da steknu trodimenzionalna znanja iz dvodimenzionalnih materijala. Trenutno se ovaj problem donekle rešava uz pomoć fizičkih modela geometrijskih tela i 3D grafičkih kalkulatora (npr. *GeoGebra 3D kalkulator*). [2]

AR aplikacije za hemiju omogućavaju studentima da vizuelizuju i komuniciraju sa prostornom strukturom molekula koristeći ručni marker. *HP Reveal*, besplatna aplikacija, koristi se za kreiranje AR kartica za proučavanje mehanizama organske hemije i za kreiranje virtuelnih de-

monstracija kako se koriste laboratorijski instrumenti. [2]

Deca u osnovnoj školi lako uče iz interaktivnih iskustava. Astronomska sazvežđa (slika 2) i kretanje objekata u Sunčevom sistemu mogu se



Slika 2: Primer korišćenja - 3D prikaz Sunčevog sistema

prikazati u pravcu u kome se uređaj drži i proširiti dodatnim video informacijama. Ilustracije naučnih knjiga na papiru mogu da zažive u vidu video zapisa bez potrebe da učenik traži video materijale na internetu.

Proširena stvarnost se može koristiti i kao pomoćno sredstvo u radu sa učenicima koji imaju smetnje u razvoju. Jedan mogući okvir učenja koji koristi proširenu stvarnost i gamifikaciju (integracija postojećeg okruženja sa mehanikom igre) koja nudi dodatnu podršku učenicima sa intelektualnim teškoćama u procesu učenja je da učenici grupišu predmete koji pripadaju životinjama ili voću. Učenici biraju oznake sa nazivima i postavljaju ih ispred kamera, nakon čega se na računaru kreira slika izabrane životinje/voća i računar izgovara naziv životinje/voća. [4]

5 Zaključak

U okruženju koje ima karakteristike globalizovanog, dinamičnog i visoko konkurentnog, prihvatanje i implementacija digitalnih tehnologija postaje neminovna. U takvim uslovima obrazovne institucije suočavaju se sa potrebom da uvrste iste u svoj rad. VR i AR se sve više primenjuju u okviru obrazovnih procesa i njihov potencijal umnogome doprinosi studentima. U radu je istaknuto nekoliko od brojnih prednosti koje tehnologija koja prevodi čoveka u virtuelni svet nosi sa sobom. Po ugledu na primer poznatih svetskih univerziteta i njihovo široko usvajanje virtuelne i proširene stvarnosti, prepoznat je značaj praćenja trendova u obrazovnoj tehnologiji. Upotreba VR i AR tehnologije i efekti te upotrebe veoma su raznoliki, ali ono što se izdvaja kao zajedničko jeste mogućnost neposredne interakcije sa fizički nedostupnim objektima i upoznavanje sa predmetima i situacijama na interesantan i razumljiv način.

Literatura

- [1] E. Solak i R. Cakir. *Investigating the Role of Augmented Reality Technology in the Language Classroom*. Amasija, Turska, 2015.
- [2] P. Pleše. *Proširena stvarnost*. Zagreb, Hrvatska, 2019.
- [3] K. Mitrović, J. Čurčić, A. Jakšić, B. Bogojević i D. Gračanin. *Primena tehnologije virtuelne I proširene stvarnosti u obrazovanju*. Novi Sad, Srbija, 2020.
- [4] K. Stančin. *Upotreba informacijsko-komunikacijske tehnologije u odgoju i obrazovanju učenika s intelektualnim teškoćama*. Zagreb, Hrvatska, 2018.
- [5] A. B. Craig. *Understanding Augmented Reality: Concepts and Applications*. Illinois, Sjedinjene Američke Države, 2013.
- [6] M. Billinghurst, A. Clark, G. Lee. *A Survey of Augmented Reality*. Christchurch, Australia, 2015.
- [7] J. Carmigniani, B. Furht. *Augmented Reality: An Overview*. Florida, Sjedinjene Američke Države.