

Laboratorijske vežbe iz oblasti mikroelektronike u virtuelnoj realnosti

Aleksandar Gavrić
Elektronski fakultet
Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
agavric@elfak.rs

Nikola Mitrović
Elektronski fakultet
Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
nikola.mitrovic@elfak.ni.ac.rs

Emilija Živanović
Elektronski fakultet
Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
emilija.zivanovic@elfak.ni.ac.rs

Miloš Marjanović
Elektronski fakultet
Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
milos.marjanovic@elfak.ni.ac.rs

Danijel Danković
Elektronski fakultet
Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
danijel.dankovic@elfak.ni.ac.rs

Sandra Veljković
Elektronski fakultet
Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
sandra.veljkovic@elfak.ni.ac.rs

Milan Danković
The Polytechnic University of Milan
Milano, Italija
milan.dankovic@mail.polimi.it

Aleksandar Stanimirović
Elektronski fakultet
Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
aleksandar.stanimirovic@elfak.ni.ac.rs

Leonid Stoimenov
Elektronski fakultet
Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
leonid.stoimenov@elfak.ni.ac.rs

Abstract— Eksplozivni razvoj novih tehnologija transformiše brojna polja obrazovanja pa time i obrazovanje iz mikroelektronike čiji se praktični deo tradicionalno zasniva na neposrednom izvođenju laboratorijskih vežbi. Dok konvencionalne metode imaju svoje prednosti, platforme sa imerzivnim sadržajem nude nove načine za angažovanje učenika, čineći učenje opipljivijim i intuitivnijim. Ovaj rad postavlja temelje istraživanju o efikasnosti nastave korišćenjem virtuelne realnosti (VR) i predlaže sistem za generisanje povratnih informacija pri izvođenju vežbi iz mikroelektronike. Predloženi sistem integriše praćenje pažnje učenika pružajući studentima personalizovani mehanizam povratnih informacija zasnovan na jezičkom modelu (LLM). Evaluacija sistema je sprovedena putem testova znanja i pokazano je da VR pristup ima prednost u poređenju sa konvencionalnim pristupom laboratorijskim vežbama.

Ključne reči— Obrazovanje; virtuelna realnost; praktičan rad

I. UVOD

POTREBA za imerzivnim, intuitivnim i prilagođenim obrazovnim iskustvima postaje sve očiglednija u doba digitalne transformacije. Mikroelektronika, često praćena praktičnim eksperimentima, nije netaknuta ovim pedagoškim promenama. Tradicionalni pristup učenju koji je zasnovan na radu u laboratoriji, ima svoja ograničenja – ograničene resurse, opasnosti od grešaka u realnom vremenu i često nedostatak usklađenosti sa izazovima u stvarnom svetu.

Virtuelna realnost (VR) je tehnologija koja obećava ne samo da će odražavati stvarnost, već i da će da uvećava stvarnost, nudeći učenicima priliku da komuniciraju sa apstraktnim konceptima na inovativne načine.

Brojni autori [1-4] ukazuju na težnju da se ispitaju granice i potencijal virtuelne realnosti kao sredstva za poboljšanje efikasnosti nastavnog procesa.

Ovaj rad postavlja temelje za dubinsko istraživanje

efektivnosti upotrebe VR tehnologije u edukaciji, sa posebnim osvrtom na oblast mikroelektronike. Predloženi sistem je koncipiran tako da inkorporira dva ključna elementa: praćenje pažnje studenta i automatizovanu generaciju odgovora na pitanja postavljena u slobodnoj formi. Sistem je dizajniran da u realnom vremenu prati angažovanost studenata i da pruži personalizovane povratne informacije koje su ključne za samoocenjivanje i dublje razumevanje materije. Sa ciljem da se ove tehnike validiraju, istraživanje koje sledi ima za cilj da ne samo istakne prednosti upotrebe VR-a u edukativne svrhe, već i da identifikuje načine na koje se ovakav pristup može optimizovati za potrebe studenta koji se suočava sa složenim i zahtevnim konceptima mikroelektronike.

Autori ovog istraživanja su demonstrirali inovacije u obrazovanju tokom proteklih desetak godina kroz implementaciju različitih inovativnih pristupa, posebno fokusiranih na praktični rad učenika i studenata [5-11]. Rad [5] predstavlja korak ka modernizaciji nastavnog procesa kroz upotrebu tehnoloških alata poput Raspberry Pi računara kako bi se omogućilo interaktivno učenje u oblasti fizike, istovremeno podstičući studente na praktičnu primenu teorije u laboratorijskom okruženju. Projekat „Centra za promociju nauke „Za IEEEESTEC se spremi“ na Elektronskom fakultetu u Nišu“ [6, 7] ističe angažovanost autora u promociji nauke među mladima, prikazujući njihovu sposobnost da kroz različite aktivnosti podstaknu interesovanje za STEM oblasti, kao i da povežu teoriju sa praksom kroz interaktivne događaje i demonstracije. Radovi [8, 9] naglašavaju ključnu ulogu praktičnog rada učenika i studenata u razvoju veština i razumevanju složenih koncepta, ističući neophodnost integracije praktičnih aktivnosti u obrazovni proces radi bolje pripreme studenata za izazove realnog sveta. Dodatno, autori su delili svoja iskustva i rezultate kroz učešće na međunarodnim konferencijama, kao što je dokumentovano u radu [10]. Autori su u [11] istražili prepoznatljivost mikroelektronike u srpskom

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Srbije [broj subvencije 451-03-65/2024-03/200102].

obrazovnom sistemu, što doprinosi razumevanju položaja te discipline u nacionalnom kontekstu. Svi ovi radovi jasno pokazuju posvećenost autora unapređenju obrazovnog iskustva kroz inovaciju, praktičnu primenu i kontinuirano istraživanje.

U sledećem poglavlju dat je pregled literature na ovu tematiku i formulirana je motivacija ovog rada. Treće poglavlje je posvećeno metodologiji i implementaciji rešenja koje je predstavljeno u ovom radu. Diskusija o evaluaciji metode i rezultata eksperimenta je data u četvrtom poglavlju, nakon koga sledi zaključak i pregled korišćene literature.

II. PREGLED RELEVANTNE LITERATURE I MOTIVACIJA

Još 2001. godine su objavljeni koncepti virtuelne laboratorije za mikroelektroniku [12]. ICLAB virtuelna laboratorija za mikroelektroniku je jedan od takvih alata koji je doprineo učenju nudeći isplativu, vremenski efikasnu i sigurniju alternativu tradicionalnim laboratorijama, značajno unapređujući obrazovni proces u mikroelektronici kroz realističke, bezrizične simulacije. ICLAB softver ubrzava razumevanje simuliranjem dugotrajnih procesa unutar nekoliko sati, podstičući praktično učenje koje je inače nedostižno u tipičnim učioničkim okruženjima. Štaviše, ICLAB podstiče angažovanje studenata, ohrabrujući aktivno učešće i dijalog, čime se produbljuje razumevanje i kolaborativno učenje na način koji tradicionalne metode ne mogu da dostignu.

Leung et al. [13] analizirali su uticaj tehnologije VR-a na teorije učenja u obrazovanju. Autori su raspravljali o četiri istaknute teorije učenja: konstruktivističkoj teoriji učenja, teoriji situiranog učenja, teoriji ugrađene kognicije i teoriji socijalne kognicije, te su predstavili kako se ove teorije mogu implementirati u VR-baziranim obrazovnim okruženjima. Dodatno, autori su pokazali kako VR-bazirana obrazovna okruženja mogu pružiti mogućnosti za učenike da dožive imerzivne i interaktivne situacije učenja, što može olakšati primenu ovih teorija učenja. Na primer, tehnologija VR može stvoriti okruženje koje u velikoj meri oponaša stvarne situacije, omogućavajući učenicima da se angažuju u aktivnom učenju i konstrukciji znanja. Pored toga, VR-bazirana obrazovna okruženja mogu pružiti učenicima prilike za socijalnu interakciju, olakšavajući primenu teorije socijalne kognicije.

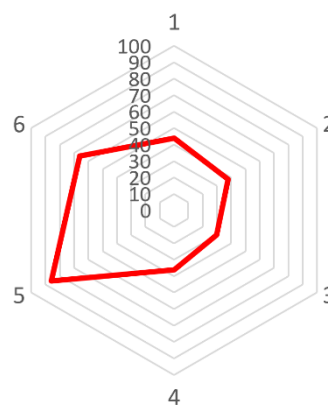
Sveukupno, rad Leunga et al. [13] osvetlio je potencijal tehnologije VR da unapredi učenje u obrazovanju i pružila uvide u to kako se uspostavljene teorije učenja mogu primenjivati u VR-baziranim obrazovnim okruženjima. Dodatno, Chen [14] je ispitala kako se tehnologija VR može iskoristiti za podršku principima konstruktivističkog učenja. Konkretno, [14] naglašava kako tehničke sposobnosti VR mogu poboljšati učešće i angažovanje učenika tokom procesa učenja. Rad uvodi novi "VRID" model kao način da se pruže uputi za dizajniranje i razvoj virtualnih obrazovnih okruženja u skladu s principima konstruktivističkog učenja.

U objavljenom pregledu radova, Checa i Bustillo [15] pregledali su 135 predloga za ozbiljne igre u imerzivnim VR okruženjima. Pregledni rad [15] analizira domene primene, ciljane publiku, dizajn, tehnološku implementaciju, proceduru evaluacije performansi i rezultate odabranih radova. Cilj je identifikovati standarde predloženih rešenja i razlike između

aplikacija za obuku i učenje te pružiti preporuke za poboljšanje ovih alata. Rad pruža osnovu za buduća istraživanja o ozbiljnim igrama u imerzivnim VR okruženjima, što može unaprediti kako zadatke učenja, tako i obuke.

Radiani et al. [16] preduzeli su sveobuhvatnu analizu postojećih istraživanja koja istražuju upotrebu imerzivne virtuelne realnosti (IVR) u visokom obrazovanju. Karakteristike dizajna, ciljevi istraživanja i uvidi dobijeni iz primene IVR u obrazovnom okruženju detaljno su procenjeni od strane istraživača. Njihovi nalazi ukazuju na to da IVR može stvoriti angažujuće i privlačno okruženje za učenje, podstičući aktivno učešće i povećavajući zadržavanje informacija. Kao rezultat toga, rad predlaže istraživački plan za popunjavanje ovih praznina u postojećoj literaturi i naglašava potencijal IVR-a kao alata za transformaciju visokog obrazovanja.

Opravdanost ovog rada proizlazi iz rezultata sprovedene ankete koja istražuje stavove studenata modula Elektronske komponente i mikrosistemi (EKM) na Elektronskom fakultetu u Nišu o korišćenju VR tehnologije u edukaciji, posebno fokusirajući se na oblast mikroelektronike. Prvo pitanje ankete je ispitalo da li studenti smatraju značajnim korišćenje VR tehnologije u obrazovanju. Drugo pitanje je istraživalo koliko su studenti upoznati sa korišćenjem VR tehnologije u virtuelnim laboratorijama za realizaciju laboratorijskih vežbi. Treće pitanje je ispitalo da li studenti smatraju da je za realizaciju vežbi potreban konačan skup pitanja koji bi služio za proveru znanja. Četvrto pitanje je istraživalo da li su studenti saglasni da kroz realizaciju vežbi iz jednog predmeta učestvuju u obezbeđivanju podataka radi realizacije projekta. Peto pitanje je ispitalo stavove studenata o tome da li različiti stilovi učenja mogu pomoći prilikom sveobuhvatnog sagledavanja materije. I šesto pitanje se odnosilo na to kako studenti ocenjuju potencijal integracije interaktivnih elemenata, posebno pitanja i odgovora, u procesu učenja. Ova pitanja su omogućila prikupljanje relevantnih informacija koje su poslužile kao osnova za dalje istraživanje i razvoj u oblasti primene VR tehnologije u edukaciji, s posebnim fokusom na mikroelektroniku. Rezultati ankete su priloženi na Slici 1.



Sl. 1. Vizualizacija ankete koje su radili studenti modula EKM.

S obzirom na pozitivne odgovore studenata, koji prepoznaju značaj korišćenja VR tehnologije u obrazovnom procesu, opravdanost ovog rada se dodatno potvrđuje. Anketa je omogućila identifikaciju ključnih područja interesa i potreba

studenta u vezi s ovom temom, što pruža osnovu za dalje istraživanje i razvoj sistema koji bi integrisao VR tehnologiju u nastavu mikroelektronike na način koji odgovara njihovim potrebama i preferencijama. Stoga, na osnovu rezultata ankete, ovaj rad ima opravdanost jer nastoji da istraži načine na koje se VR tehnologija može efikasno koristiti u edukaciji, uzimajući u obzir stavove i potrebe studenata modula EKM.

III. METODOLOGIJA I REŠENJE

U nastojanju da se sveobuhvatno analizira uloga imerzivne tehnologije u obrazovanju u oblasti mikroelektronike, usvojen je višestruki pristup prikupljanju podataka. Centralno za našu metodologiju je integracija prikupljanja više različitih izvora informacija tokom održavanja laboratorijskih vežbi. Prvo su snimljeni video snimci kamerom za snimanje u 360 stepeni, pružajući holistički vizuelni prikaz okruženja predavanja, beležeći detalje fizičke sredine koje bi konvencionalni video snimci mogli da previde. Primer takvog snimka dat je na Slici 2. Ovom tehnologijom se omogućilo pravljenje realističnijih virtuelnih lekcija.

Kao dodatak ovim vizuelnim podacima, korišćeni su tekstualni deskriptori, koji nude detaljan narativ sadržaja predavanja i pomažu u kontekstualizaciji video snimaka.

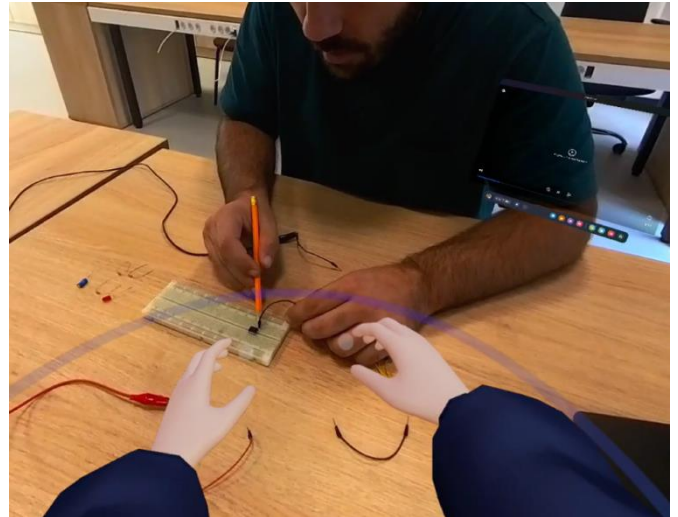
Generisane su i mape percepcije dubine koje su nam omogućile uvid u prostornu dinamiku postavke predavanja, naglašavajući rastojanje i orijentaciju objekata i učesnika u virtuelnom prostoru. Pored toga mogu se opcionalno ugraditi senzorski podaci, dodatno obogaćujući skup podataka.



Sl. 2. Primer slike u 360 stepeni tehnologiji koja je deo snimljene VR instrukcije.

Da bi se dodatno poboljšali uvidi zasnovani na podacima, ljudski instruktor ima ulogu označavanja specifičnih regiona od interesa (ROI) u okviru snimljenih podataka. Označavanjem ovih regiona uspostavljen je snažan mehanizam za praćenje evolucije specifičnih komponenata tokom vremena, prateći njihov značaj i ulogu kako je predavanje napredovalo. Ova priručna napomena ne samo da je ponudila detaljno razumevanje prostorno-vremenske dinamike predavanja, već je takođe pomogla u dekodiranju regiona koji su ključni za svaki korak nastavnog procesa.

Slika 3 ilustruje kadar iz kreirane virtuelne lekcije, a na Slici 4 su prikazani studenti koji interaguju sa VR lekcijom korišćenjem VR naočara.



Sl. 3. Primer VR instrukcije za mikroelektroniku.

Najvažnije za efikasnost ove metodologije je primena mehanizama za praćenje pažnje. Koristeći tehnologije za praćenje očiju, nastoji se da se otkriju načini kojima se studenti angažuju sa imerzivnim sadržajem predavanja. Praćenje pogleda, sa svojom sposobnošću da tačno odredi gde student gleda u bilo kom trenutku, pruža trenutni snimak fokusnih tačaka tokom predavanja.



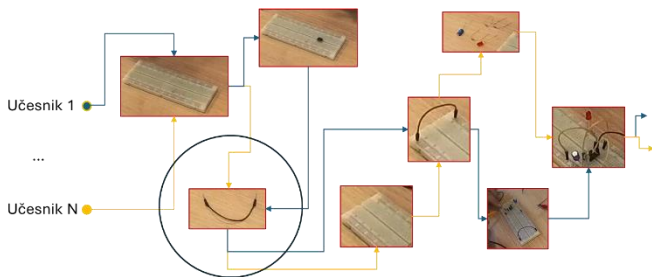
Sl. 4. Učenici koji gledaju VR laboratorijsku vežbu.

S druge strane, praćenje očiju daje dodatne informacije, hvatajući ne samo pravac, već i trajanje i intenzitet pogleda učenika. Tako se otkrivaju elementi koji drže trajno interesovanje ili, obrnuto, oblasti koje mogu izazvati konfuziju ili neizvesnost. Ovakvom tehnologijom, osim što se saznaje gde studenti gledaju, može se kvantitativno i kvalitativno proceniti značaj svakog ROI u kontekstu napredovanja predavanja.

U potrazi da se uhvati vremenska progresija pažnje u regionima od interesa, dizajnirana je konstrukcija grafova

pažnje. Ovaj graf, kao svoju osnovu, koristi čvorove koji odgovaraju pojedinačnim ROI na kadrovima videa. Svaki čvor, stoga, deluje kao diskretna jedinica sa vremenskim žigom komponente predavanja, obuhvatajući metriku kolektivne pažnje izvedene iz podataka o pogledu i praćenju očiju za taj specifični trenutak. Ovi čvorovi su međusobno povezani na način koji odražava hronološki tok predavanja. Svaki čvor je povezan sa svojim prethodnikom, koji predstavlja prethodni ROI okvir, i njegovim naslednikom, koji ukazuje na sledeći ROI okvir.

Sa konstrukcijom grafova pažnje, alokacija pažnje na svaki ROI tokom vremena postaje vidljiva na koherentan i strukturiran način. Ovo omogućava dublje razumevanje ne samo toga koji ROI izazivaju najveću pažnju, već i kako se pažnja pomera i prelazi između njih. Analizom puteva na ovom grafikonu, dobijaju se obrasci koji ističu tačke od povećanog interesovanja, potencijalne distrakcije ili prelaze koji su možda bili previše nagli za optimalno razumevanje. Ilustracija grafa pažnje data je na Slici 5.



Sl. 5. Primer grafa pažnje sa fokusom na komponente vežbe.

U savremenim obrazovnim pristupima, samo pružanje sadržaja često nije dovoljno. Integracija interaktivnih elemenata, posebno pitanja i odgovora, može značajno poboljšati iskustvo učenja, osiguravajući bolje razumevanje i zadržavanje. U ovom istraživanju, preuzima se sistematski pristup komentarisanja video zapisa pitanjima i odgovorima, prilagođavajući ih određenim koracima predavanja kako bi se obezbedili pravovremene i kontekstualno relevantne tačke angažovanja. To se postiže kreiranjem skupova odnosno baza pitanja.

Primarni i najautoritativniji skup pitanja je ono što je nazvano „Zlatni skup podataka“. Ova pitanja su izrađena sa pomnom preciznošću, u direktnoj korelaciji sa materijalom predstavljenim u video predavanju. Svako pitanje je strateški postavljeno na ključne tačke u predavanju, obezbeđujući da su kontekstualno relevantne i da mogu poslužiti kao kontrolne tačke za razumevanje. Ova pitanja su osmišljena da testiraju razumevanje, ojačaju ključne koncepte i promovišu dublje razmišljanje o predmetu. Uz svako pitanje davani su odgovori. Ta pitanja i odgovore postavlja čovek, što ovaj skup podataka čini zlatnim standardom naše integracije pitanja i odgovora. Primer pitanja je priložen u Tabeli I.

Sa „Zlatnim skupom podataka“ kao našim temeljnim slojem, proširena je baza pitanja korišćenjem velikih jezičkih modela (LLM). Ovi modeli, obučeni na ogromnim količinama

lingvističkih podataka, korišćeni su za generisanje dodatnih pitanja koja su dopunila postojeća iz „Zlatnog skupa podataka“. Međutim, dok LLM mogu da proizvedu pitanja sa impresivnom tačnošću i relevantnošću, ljudski nadzor je i dalje od suštinskog značaja za obezbeđivanje visokih pedagoških standarda. Shodno tome, svako pitanje koje su generisali LLM je podvrgnuto pregledu i reviziji od strane stručnjaka za predmet - instruktora predavanja. Ovaj iterativni proces generisanja mašina praćen ljudskim usavršavanjem rezultirao je onim što je nazvano „Srebrni skup podataka“. Iako nije prvobitno napravljen od strane ljudskih stručnjaka, konačni rezultat, nakon revizije, zadržao je visok nivo kvaliteta i relevantnosti.

Poslednji sloj u našem pristupu bilo je stvaranje „Bronzanog skupa podataka“. Prepoznajući da će učenici imati potrebu da postavljaju pitanja na vrlo različite načine, postalo je imperativ da se pitanja predstavljaju u više formata i struktura. Ponovo koristeći LLM, generisane su parafraze postojećih pitanja iz zlatnih i srebrnih skupova podataka. Ovi parafrazirani upiti, dok semantički odražavaju originalna pitanja, predstavili su sadržaj u različitim lingvističkim strukturama, osiguravajući da upiti odgovaraju širem spektru učenika. „Bronzani skup podataka“ je tako obogatio bazu pitanja, pružajući alternativne načine za učenike da postavljaju pitanja, a da i dalje ta pitanja budu prepoznata u svom sličnom obliku u našoj bazi pitanja.

TABELA I
PRIMER PITANJA ZA EVALUACIJU USPEŠNOSTI VEŽBE

R.br.	Pitanje	Ponuđeni odgovori
1.	Koliki broj pinova ima kolo NE555?	4, 6, 8
2.	Koji pinovi kola NE555 su povezani na masu?	1, 2, 3
3.	Koja komponenta je povezana redno sa LE diodom sa ciljem da ograniči struju?	kondenzator, otpornik, NE555
4.	Koji pin kola NE555 je povezan na napajanje sa ciljem da spreči konstantno resetovanje?	4, 5, 6
5.	Kako se određuje RC konstanta povezanog kola?	sabiranjem R i C, množenjem R i C, deljenjem R i C
6.	Koji od priključaka LE diode je povezan na masu?	anoda, katoda, nijedan

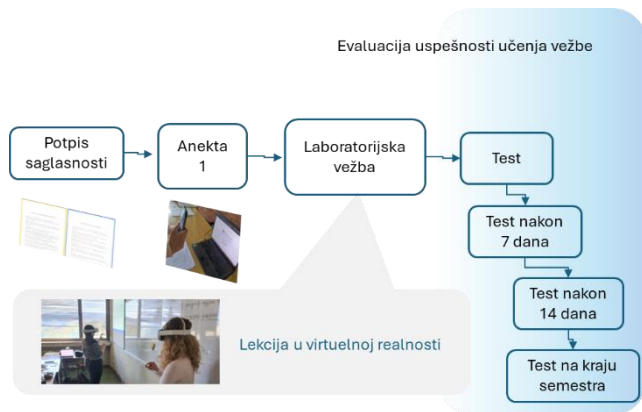
Kroz ovaj višestepeni pristup generisanja pitanja i beleški, naše istraživanje ne samo da poboljšava metrike interaktivnosti video predavanja, već takođe obezbeđuje da studenti imaju više načina da testiraju i ojačaju svoje razumevanje.

Predloženi sistem takođe integriše mehanizam za generisanje povratnih informacija baziran na odgovorima učenika na pitanja u slobodnoj formi koji je zasnovan na jezičkom modelu (LLM) ChatGPT 3.5 [17]. Korišćenjem naprednih tehnika obrade prirodnog jezika i mašinskog učenja, sistem analizira odgovore studenata, ocenjuje njihovo razumevanje koncepta mikroelektronike i pruža personalizovane sugestije i objašnjenja. Na ovaj način, studenti dobijaju priliku da kroz direktnu interakciju sa sistemom prodube svoje znanje i razumevanje materijala.

IV. DISKUSIJA EVALUACIJE

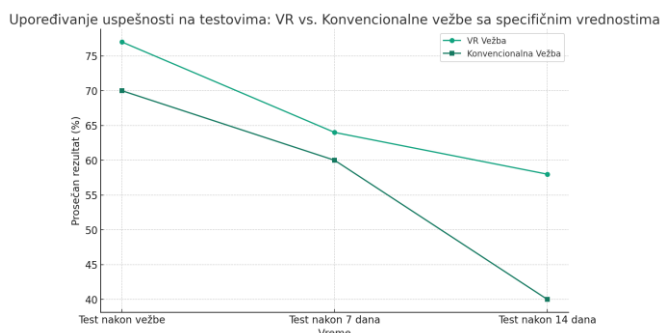
Eksperimentalna evaluacija edukativnih tehnologija, kao što je primena virtuelne realnosti u procesu učenja, predstavlja kritičan korak u razumevanju i poboljšanju efikasnosti savremenih metoda nastave. Temelj našeg eksperimenta je grupa studenata koji učestvuju u VR lekcijama, pri čemu se njihova pažnja i razumevanje materijala prate putem senzora i naprednih algoritama za praćenje očnih pokreta i analizu ponašanja. Ovi podaci su neophodni za utvrđivanje trenutaka kada studenti gube fokus ili kada su najangažovaniji, što nam omogućava da se prilagodi tempo i sadržaj lekcija njihovim individualnim potrebama.

U okviru eksperimenta, studenti su izloženi seriji VR lekcija koje obuhvataju osnovne i napredne teme iz mikroelektronike. Nakon svake lekcije, studenti su podvrgnuti testovima koji mere njihovo razumevanje i sposobnost primene znanja u praksi. Analizom podataka prikupljenih tokom ovih sesija, u mogu se izvesti zaključci o tome koliko su VR lekcije doprinele sticanju znanja u poređenju sa tradicionalnim metodama učenja. Šema evaluacije je ilustrovana na Slici 6.



Sl. 6. Ilustracija evaluacije uspešnosti sprovedene lekcije.

Ovaj rad takođe istražuje kako različiti stilovi učenja utiču na efikasnost VR edukacije. Prateći i analizirajući kako različiti studenti interaguju sa materijalom u VR okruženju, može se prilagoditi sistem tako da odgovara različitim preferencijama učenja - od vizuelnih do kinestetičkih studentata. Ovo diferencirano pristupanje omogućava svim studentima da maksimalno iskoriste prednosti koje VR tehnologija pruža. Slika 7 predstavlja rezultate sprovedenih testova.



Sl. 7. Rezultati evaluacije na testovima nakon laboratorijskih vežbi.

Primer generisane personalizovane povratne informacije korišćenjem jezičkog modela [17] za transformaciju prikupljenih metrika pažnje u personalizovane povratne informacije za studente je data u Tabeli II.

TABELA II
PRIMER GENERISANE PERSONALIZOVANE POVROTNE INFORMACIJE
KORIŠĆENJEM JEZIČKOG MODELA

Ulazna informacija	Generisana povratna informacija za stud. X
1. Graf pažnje za studenta X	<i>Na osnovu tvojih odgovora na kviz o kolu NE555, primetili smo da bi mogao imati poteškoće u razumevanju broja pinova NE555 kola i povezivanju komponenata sa masom. Posebno, preporučujemo da se fokusiraš na proučavanje funkcija pinova NE555, kao i na pravilno povezivanje komponenata u električnim kolima, uključujući i pravilan odabir komponenti za ograničavanje struje kroz LE diodu.</i>
2. Odgovori studenta X na eval. testovima	

V. ZAKLJUČAK

Evolucija obrazovnih metodologija je uvek bila usko isprepletena sa tehnološkim napretkom. Ovo istraživanje, fokusirano na fuziju imerzivne tehnologije sa obrazovanjem iz mikroelektronike, teži da ispita horizonte do kojih se može doći kada se tradicionalna pedagogija susreće sa tehnološkim inovacijama.

Primenjeni sistematski pristup beleženju video snimaka, integracijom generisanih pitanja i odgovora, a zatim korišćenjem modela učenja jezika za poboljšanu interaktivnost, ilustruje potencijal mešanja ljudske stručnosti sa veštačkom inteligencijom u obrazovanju. Kreiranjem višeslojnih skupova podataka pitanja i zatim finim podešavanjem LLM-a za rešavanje upita u realnom vremenu, ilustrovano je kako se mašine mogu efikasno upotrebiti da poboljšaju, a ne zamene, nastavna sredstva kao što su laboratorijske vežbe.

Opisani grafovi pažnje mogu da poboljšavaju naše razumevanje dinamike angažovanja učenika, i ponude neprocenjiv uvid u to kako se isporuka nastavnog sadržaja može dalje optimizovati. Sposobnost praćenja i merenja pažnje kroz regione od interesa pruža analitičku osnovu na kojoj se mogu izgraditi budući obrazovni alati.

Potencijalna isplativost imerzivne tehnologije predstavlja snažan argument za njenu širu integraciju u redovno obrazovanje.

ZAHVALNICA

Zahvaljuje se studentima koji su učestvovali u prikupljanju eksperimentalnih podataka.

LITERATURA

- [1] I. Stojić, A. Ivkov Džigurski, O. Maričić, Lj. Ivanović Bibić, and S. Đukićin Vučković, "Possible application of virtual reality in geography teaching," *Journal of Subject Didactics*, vol. 1, no. 2, pp. 83–96, 2017.
- [2] L. Freina and M. Ott, "A literature review on immersive virtual reality in education: State of the art and perspectives," *Proc. of the 11th International*

- Scientific Conference “eLearning and Software for Education” (eLSE), vol. 1, pp. 133-141, 2015.
- [3] Martín-Gutiérrez, C. E. Mora, B. Añorbe-Díaz, and A. González-Marrero, “Virtual technologies trends in education,” *EURASIA Journal of Mathematics Science and Technology Education*, vol. 13, no. 2, pp. 469-486, 2017.
- [4] Z. Merchante, E. T. Goetz, L. Cifuentes, W. Keeney-Kennicutt, and T. J. Davis, “Effectiveness of virtual reality-based instruction on students’ learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis,” *Computers & Education*, vol. 70, pp. 29-40, 2014.
- [5] M. Danković, S. Janković, “Laboratorijska maketa za proučavanje kretanja tela po strmoj ravni zasnovana na Raspberry Pi mini računaru”, Zbornik radova 10th Student Projects Conference IEEEESTEC, Niš, Novembar 2017, pp. 55-58.
- [6] D. Danković, M. Marjanović, “Projekat Centra za promociju nauke “Ža IEEEESTEC se spremi” na Elektronskom fakultetu u Nišu”, Zbornik radova 13th Student Projects Conference IEEEESTEC, Niš, Novembar 2020, pp. 199-200.
- [7] D. Danković, E. Živanović, M. Marjanović, “Petnaest godina Konferencije studentskih projekata IEEEESTEC”, Proceeding of the 15th Student projects conference, IEEEESTEC, Niš, Serbia, Novembar 2022, pp. 1-4.
- [8] D. Danković, M. Marjanović, N. Mitrović, E. Živanović, M. Danković, A. Prijčić, and Z. Prijčić, “The importance of students’ practical work in high schools for higher education in electronic engineering,” *IEEE Trans. Educ.*, pp. 1–10, 2022.
- [9] E. Živanović, M. Marjanović, and D. Danković, “The review of workshops held at the Faculty of Electronic engineering in Niš and their importance for students”, *FU Teach Learn Teach Ed*, Vol. 7, No. 2, pp. 355-370, 2023.
- [10] Z. Prijčić, D. Danković, A. Prijčić, V. Paunović, E. Živanović, M. Dimitrijević, D. Mančić, “Iskustva u realizaciji projekata iz oblasti razvoja visokog obrazovanja na Elektronskom fakultetu Univerziteta u Nišu”, 10th Jubilee International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering, IcETRAN, Istočno Sarajevo, BiH, Jun 2023.
- [11] M. Marjanović, N. Mitrović, S. Veljković, E. Živanović, and D. Danković, “Is Microelectronics Recognizable in Serbian School System?”, *Proc. 2023 IEEE 33rd International Conference on Microelectronics, MIEL 2023*, Niš, Serbia, October 2023, pp. 317-322.
- [12] F. Miller, “Virtual-reality in microelectronics laboratory instruction,” *Proc. of the Fourteenth Biennial University/Government/Industry Microelectronics Symposium*, Richmond, VA, USA, pp. 105-109, 2001.
- [13] T. Leung, F. Tkernine, and I. Haruna, “The use of Virtual Reality in Enhancing Interdisciplinary Research and Education,” arXiv: 1809.08585, 2018.
- [14] C.J. Chen, “Theoretical Bases for Using Virtual Reality in Education,” *Themes Sci. Technol. Educ.*, vol. 2, pp. 71–90, 2009.
- [15] D. Checa and A. Bustillo, “A review of immersive virtual reality serious games to enhance learning and training,” *Multimed Tools Appl.*, vol. 79, pp. 5501–5527, 2020.
- [16] J. Radianti, T.A. Majchrzak, J. Fromm, and I. Wohlgenannt, “A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda,” *Comput. Educ.*, vol. 147, 103778, 2019.
- [17] OpenAI, “ChatGPT (verzija 3.5),” Veliki jezički model, 2023.

ABSTRACT

The exponential development of new technologies is transforming numerous fields of education, including microelectronics education, whose practical part traditionally relies on direct laboratory exercises. While conventional methods have their advantages, platforms with immersive content offer new ways for engaging students, making learning more tangible and intuitive. This paper lays the groundwork for research on the effectiveness of teaching using virtual reality (VR) and proposes a system for generating feedback during microelectronics exercises. The proposed system integrates tracking student attention, providing students with a personalized feedback mechanism based on a language model (LLM). The evaluation of the system was conducted through knowledge tests, and it was shown that the VR approach has an advantage compared to the conventional approach to laboratory exercises.

LABORATORY EXERCISES IN THE FIELD OF MICROELECTRONICS IN VIRTUAL REALITY

Aleksandar Gavrić, Nikola Mitrović, Emilija Živanović, Miloš Marjanović, Danijel Danković, Sandra Veljković, Milan Danković, Aleksandar Stanimirović, Leonid Stoimenov