CZU: 004.891:378.147 **https://doi.org/10.59295/tehfizuvs25.09**

INTEGRAREA INTELIGENȚEI ARTIFICIALE ÎN MEDII DE REALITATE VIRTUALĂ PENTRU SIMULĂRI EDUCAȚIONALE

INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO VIRTUAL REALITY ENVIRONMENTS FOR EDUCATIONAL SIMULATIONS

Olga DARII[1] e-mail: olga.darii@usm.md ORCID ID: 0009-0001-2319-8350
Maria BELDIGA[2] e-mail: maria.beldiga@usm.md ORCID ID: 0009-0001-2319-8350

[1,2]**Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova**

Abstract. *The paper analyzes the integration of artificial intelligence (AI) into virtual reality (VR) environments for developing interactive and personalized educational simulations, based on studies conducted in European institutions. The main objective is to highlight the benefits of using AI to adapt educational content according to the learner's progress and learning style. The methodology consists of a review of the literature and existing experiments, with a focus on platforms such as Unity and machine learning algorithms implemented through TensorFlow. The analysis reveals increased engagement, motivation, and learning efficiency in VR scenarios assisted by AI. The paper also proposes an experimental design for applying these technologies in higher education, aiming at virtual laboratory simulations and adaptive feedback to facilitate the assimilation of abstract concepts in programming courses. The conclusions emphasize the potential of these solutions in transforming modern education and outline future directions for research and implementation.*
Keywords: *Adaptive learning, Artificial intelligence, Interactive environments, Educational simulations, Virtual reality.*

INTRODUCERE

Articolul de față reprezintă o sinteză a celor mai recente lucrări dedicate integrării inteligenței artificiale (IA) și realității virtuale (VR) în educație, cu accent pe utilizarea acestora în simulările educaționale. În contextul digitalizării accelerate, sistemele educaționale traversează un proces amplu de transformare, în care tehnologiile emergente devin factori-cheie în redefinirea strategiilor de predare–învățare. Realitatea virtuală creează medii imersive, sigure și controlate, care facilitează explorarea conceptelor abstracte sau a situațiilor complexe, contribuind la dezvoltarea competențelor vizuale, cognitive și tehnice ale studenților [1]. În același timp, inteligența artificială permite analiza datelor, învățarea adaptivă și personalizarea conținutului, optimizând parcursul educațional al fiecărui utilizator [2]. Studiile recente demonstrează că integrarea concomitentă a IA și VR generează îmbunătățiri semnificative în performanța studenților, conform analizelor statistice aplicate în contexte experimentale [3]. De asemenea, cercetările aplicate în mediul universitar confirmă utilitatea IA în personalizarea învățării, automatizarea proceselor de evaluare și dezvoltarea competențelor digitale necesare profesiilor tehnologice moderne [4]. Lucrarea urmărește analizarea modului în care IA poate fi integrată în medii VR pentru realizarea unor simulări educaționale eficiente, interactive și scalabile. Se evidențiază avantajele documentate în literatura de specialitate—învățare experiențială, adaptivitate, gamificare, feedback în timp real—alături de provocările tehnice, pedagogice și etice asociate acestei integrări [5].

Studiul abordează o perspectivă interdisciplinară, combinând contribuții din informatică, psihologie educațională și inginerie, și integrează modele și rezultate provenite din lucrări axate pe simulări, design computațional și arte vizuale [6]. În cadrul cercetării sunt analizate exemple practice relevante: tutorii virtuali inteligenți, laboratoarele simulate, scenariile de învățare adaptivă, precum și metode inovatoare de vizualizare conceptuală și evaluare automată. În completarea analizei teoretice,

studiul introduce direcția unui experiment pilot care utilizează medii VR dezvoltate în Unity și module IA bazate pe TensorFlow și OpenAI API, orientat spre formarea competențelor tehnice ale studenților din domeniul IT. Experimentul urmărește evaluarea performanței academice, a motivației și a implicării studenților în raport cu simulările educaționale, oferind contextul necesar pentru validarea concluziilor desprinse din literatura analizată.

METODE ȘI MATERIALE APLICATE

Abordare metodologică generală. Studiul a fost realizat printr-o analiză bibliografică sistematică asupra literaturii recente privind integrarea inteligenței artificiale (IA) și a realității virtuale (VR) în educație. Au fost analizate articole științifice, prezentări academice și ghiduri tehnice publicate în perioada 2020–2024, cu relevanță directă pentru domeniul educației digitale. Sursele includ studii cantitative privind impactul IA și VR asupra învățării [3], lucrări despre utilizarea VR în procesul de predare [7], analize interdisciplinare [6] și contribuții aplicate din mediul universitar [8].

Criteriile de selecție a literaturii. Selecția surselor a avut la bază următoarele criterii: *relevanță tematică*: lucrări care abordează relația IA–VR cu învățarea; *actualitate*: lucrări recente, în special după 202; *rigoare metodologică:* studii cu metodologii clare, teste statistice, rezultate verificabile (ex.: test T); *diversitate disciplinară:* educație tehnică, arte digitale, psihologie educațională, inginerie; *acces complet:* articole din CSV, whitepaper-e, prezentări universitare. Sursele examinate au permis o analiză interdisciplinară solidă. Metode de analiză utilizate. Analiza bibliografică a folosit următoarele metode: analiza comparativă a rezultatelor raportate în studiile privind impactul IA și VR [3], analiza tematică pentru identificarea conceptelor comune precum imersiune, adaptivitate, personalizare [1], analiza critică a avantajelor și limitelor tehnologiilor hibride IA–VR [2], sinteza narativă pentru integrarea rezultatelor provenite din domenii complementare, triangularea informațiilor din surse academice, ghiduri tehnice [9] și materiale aplicate din mediul universitar [8].

Instrumentele conceptuale ale studiului. În cadrul analizei au fost utilizate următoarele instrumente teoretice, care permit interpretarea modului în care IA și VR influențează procesele cognitive, motivația și performanța utilizatorilor:

- modele ale învățării adaptative și personalizate [10],
- modele de imersiune și învățare experiențială [7],
- principii de etică și guvernanță a IA [5],
- modele cognitive și vizuale utilizate în VR pentru explicarea conceptelor abstracte [1].

Pe baza direcțiilor evidențiate în literatură, experimentul viitor va utiliza: platforma Unity 3D pentru construcția mediilor VR [9], TensorFlow pentru integrarea componentelor IA, OpenAI API pentru generarea feedbackului adaptiv și a dialogului educațional [10]. Aceste instrumente sunt menționate doar ca fundament al designului conceptual, urmând a fi detaliate în Direcții viitoare de dezvoltare.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Rezultatele extrase din literatura analizată arată, în mod convergent, că integrarea combinată a inteligenței artificiale și a realității virtuale în educație are efecte pozitive semnificative asupra performanței academice, motivației și implicării studenților. Studiile experimentale care au comparat medii tradiționale (cursuri, fișe, broșuri) cu scenarii educaționale IA–VR raportează, în general, îmbunătățiri statistice semnificative ale scorurilor la testele de cunoștințe după intervenția în VR, validate prin teste t și analize cantitative standardizate [3], [7].



Figura 1. Fluxul metodologic al cercetării privind integrarea IA și VR în educația artistică [3]

În contextul educației artistice, studiul asupra influenței tehnologiilor IA și VR asupra concentrării și creativității elevilor de gimnaziu arată că trecerea de la un model tradițional de predare, la unul bazat pe medii imersive și interacțiune digitală, conduce la creșteri semnificative ale creativității și capacității de concentrare [3]. În acest articol, fluxul de cercetare este reprezentat schematic (Fig. 1) printr-o succesiune de pași – analiză de problemă, investigație, utilizarea tehnologiei VR, design experimental și analiză de performanță – ilustrând modul în care mediile VR sunt integrate într-un cadru pedagogic bazat pe învățare profundă. Figurile dedicate procesului didactic și implicării elevilor evidențiază rolul social și colaborativ al învățării asistate de tehnologie. Rezultate similare sunt raportate și în învățarea programării. În studiul privind aplicația IA–VR pentru învățarea tipurilor de colecții Python la studenți de inginerie și informatică [7], grupul experimental care a utilizat aplicația VR gamificată, cu asistent virtual bazat pe NLP, a înregistrat îmbunătățiri semnificative între pre-test și post-test, spre deosebire de grupul care a învățat dintr-o broșură tradițională. În plus, analiza encefalogramă (EEG) a indicat niveluri medii mai ridicate de atenție și angajament la studenții din VR.

Un alt domeniu în care IA și VR își dovedesc eficiența este formarea profesională în sănătate. Studiul dedicat unui simulator VR cu agent AI pentru antrenarea comunicării interprofesionale medic–asistent [11] arată creșteri semnificative ale cunoștințelor de comunicare și ale autoeficacității după utilizarea simulatorului. Studenții au raportat experiențe pozitive legate de cadrul virtual și de agentul AI, deși dimensiunea „uman-like” a acestuia a fost evaluată mai modest, ceea ce sugerează necesitatea unei expresivități mai mari a avatarilor inteligenți. Acest studiu confirmă că IA–VR poate substitui parțial sau completa simulările tradiționale, răspunzând problemelor de scalabilitate (număr ridicat de cursanți, limitări logistice).

Tabelul 1. Sinteza rezultatelor t-test în studiile IA–VR

Studiu / sursă	Variabile evaluate	Metodă statistică	Rezultate principale	Interpretare
Cercetare privind influența tehnologiilor IA și VR asupra concentrării și creativității elevilor [3]	Creativitate, concentrare, anxietate	t-test perechi (pre/post)	Diferențe semnificative între pre-test și post-test în grupul IA–VR	IA–VR crește performanța cognitivă și emoțională
VR asistată de inteligență artificială pentru îmbunătățirea învățării în comparație cu metodele tradiționale [7]	Performanță la colecții Python	t-test între grup VR și grup tradițional	Progres semnificativ în grupul VR, progres limitat în grupul tradițional	VR accelerează învățarea conceptelor abstracte
Inteligența artificială în simulările VR pentru instruirea comunicării interprofesionale [11]	Cunoștințe și autoeficacitate în comunicare	t-test pre/post	Creșteri semnificative ale scorurilor post-test	Simulările IA–VR îmbunătățesc competențele de comunicare
VR asistată de inteligență artificială pentru îmbunătățirea învățării în comparație cu metodele tradiționale [7]	Performanță în scenarii tehnice VR	t-test raportat	Rezultate superioare pentru studenții în VR	Medii VR reduc erorile și cresc eficiența

Din perspectivă cantitativă, tabelele de tip t-test și chestionarele pe scală Likert utilizate în articolele analizate permit o comparație sintetică a efectelor raportate. Tabelul 1 rezumă principalele rezultate obținute prin teste t în studiile experimentale: în toate cazurile, grupurile care au utilizat combinația IA–VR (sau VR imersiv cu suport inteligent) au prezentat îmbunătățiri semnificative între pre-test și post-test la indicatori precum creativitate, concentrare, performanță academică sau competențe de comunicare. În unele situații, grupurile tradiționale nu au înregistrat progrese comparabile, ceea ce întărește ideea că simpla expunere la conținut nu mai este suficientă, iar experiența interactivă joacă un rol central.

Tabelul 2. Utilizarea chestionarelor Likert în evaluarea IA–VR

Studiu / sursă	Scopul scalei Likert	Dimensiuni evaluate	Rezultate relevante	Concluzii
Cercetare privind influența tehnologiilor IA și VR asupra concentrării și creativității elevilor [3]	Evaluarea percepției elevilor	Interes, imersiune, dificultate, satisfacție	Scoruri ridicate pentru interes și imersiune	VR stimulează creativitatea și atenția

VR asistată de inteligență artificială pentru îmbunătățirea învățării în comparație cu metodele tradiționale [7]	Evaluarea experienței utilizatorilor	Ușurința utilizării, utilitate, satisfacție	VR evaluat mai favorabil decât metoda tradițională	Studenții preferă medii interactive
Inteligența artificială în simulările VR pentru instruirea comunicării interprofesionale [11]	Evaluarea acceptabilității agentului AI	Utilitate, realism, ușurință de utilizare	Acceptabilitate ridicată, realism perceput moderat	Necesitatea îmbunătățirii „umanității" avatarului AI
Metode de aplicare a IA în testarea software automatizată [8]	Percepția studenților asupra IA în predare	Claritatea explicațiilor, suport în învățare	Feedback pozitiv asupra utilizării IA	IA sprijină înțelegerea conceptelor complexe

Tabelul 2 sintetizează dimensiunile măsurate prin scale Likert în studiile analizate.

În mod constant, participanții au evaluat pozitiv utilitatea percepută a mediilor VR, nivelul de imersiune, interactivitatea și claritatea explicațiilor generate de sisteme IA. Simulările educaționale au obținut scoruri ridicate la capitolele satisfacție, motivație și dorința de a repeta experiența. În studiile dedicate predării testării software automatizate, studenții și-au exprimat aprecierea față de capacitatea IA de a vizualiza concepte dificile și de a oferi feedback imediat asupra soluțiilor, ceea ce confirmă valoarea adăugată a acestor instrumente în discipline tehnice [8]. În completare, Tabelul 3 prezintă o privire de ansamblu asupra metodelor cantitative utilizate în literatura revizuită: de la EEG și analize statistice tradiționale (SPSS, t-test) până la analize bibliometrice și PRISMA în studiile de sinteză [2]. Bibliometria arată o creștere anuală accentuată a numărului de publicații pe tema IA–VR–AR în educație, confirmând interesul crescând al comunității științifice și consolidând cadrul teoretic pe baza căruia poate fi proiectat experimentul viitor.

Tabelul 3. Metode cantitative și analitice identificate în literatură

Sursă	**Metodă utilizată**	**Rolul metodei**	**Rezultate cheie**
VR asistată de inteligență artificială pentru îmbunătățirea învățării în comparație cu metodele tradiționale [7]	EEG + t-test	Măsurarea atenției și performanței	VR generează atenție și scoruri mai mari
Cercetare privind influența tehnologiilor IA și VR asupra concentrării și creativității elevilor [3]	SPSS + t-test	Validarea impactului IA–VR	Creativitate și concentrare cresc semnificativ
Inteligența artificială în simulările VR pentru instruirea comunicării interprofesionale [11]	Pre/post-test + chestionare	Evaluarea competențelor și a percepției	Îmbunătățiri de cunoștințe și autoeficacitate

Combinarea inteligenței artificiale cu realitatea augmentată și virtuală în educație: tendințe actuale și perspective viitoare [2]	Bibliometrie + PRISMA	Cartografierea domeniului	Creștere rapidă a cercetărilor IA–VR–AR

În ansamblu, rezidă câteva concluzii critice. În primul rând, VR contribuie la creșterea nivelului de imersiune și la facilitarea învățării experiențiale, fiind deosebit de eficient în contextul disciplinelor care implică vizualizare complexă (fine arts, programare, scenarii clinice). În al doilea rând, IA permite personalizarea traiectoriilor de învățare și automatizarea evaluării, reducând diferențele individuale și oferind feedback adaptiv. Integrarea celor două tehnologii într-un sistem unitar duce la efecte mai puternice decât utilizarea lor separată, prin combinarea imersiunii cu adaptivitatea. În același timp, literatura subliniază limite importante: costurile ridicate ale echipamentelor VR, nevoia de infrastructură adecvată, lipsa de pregătire a cadrelor didactice și provocările etice privind confidențialitatea datelor și transparența algoritmilor. Aceste rezultate justifică proiectarea unui experiment pilot în mediul universitar IT, în care să fie evaluate, în mod controlat, efectele unei simulări IA–VR asupra motivației, implicării și performanței studenților. Datele din literatură oferă deja un model metodologic (utilizarea testelor t, a chestionarelor Likert și a eventualelor măsurători obiective de tip EEG), precum și argumente empirice pentru ipoteza conform căreia un astfel de mediu poate depăși, din punct de vedere pedagogic, metodele tradiționale de predare.

DIRECȚII VIITOARE DE DEZVOLTARE

În perspectiva dezvoltării unei direcții experimentale concrete, următorul pas constă în adaptarea modelului metodologic utilizat în studiul *„AI-Powered VR for Enhanced Learning Compared to Traditional Methods”*, în care studenții au învățat concepte Python într-un mediu VR inteligent. Aceeași structură experimentală este transferabilă disciplinei Java și, în mod particular, cursului de Test Automation în Java, deoarece ambele domenii implică procese cognitive similare, precum interpretarea fluxurilor logice, manipularea structurilor de date și depanarea algoritmică. În acest sens, viitorul experiment urmărește să investigheze modul în care un mediu imersiv VR, combinat cu un tutor AI capabil să ofere feedback adaptiv, poate sprijini înțelegerea conceptelor fundamentale de programare orientată pe obiecte și a arhitecturii testelor automate.



Figura 2. Reprezentarea 3D a tipurilor de date Python în mediul VR [7]

Modelul metodologic este susținut și de exemplele vizuale din literatura existentă, precum reprezentarea tridimensională a tipurilor de date Python în medii VR (Figura 2), care facilitează înțelegerea structurii și logicii interne. Un principiu similar poate fi aplicat în viitor pentru Java, unde clasele, obiectele și testele automate pot fi transpuse în forme spațiale ușor de explorat și analizat.

Experimentul planificat va include două grupuri: un grup experimental care va utiliza o aplicație VR augmentată cu componente AI și un grup de control care va învăța prin metode tradiționale. Conținutul va acoperi teme specifice precum clase, obiecte, metode, colecții Java, structuri de control, precum și concepte din testarea automată (fluxuri de execuție, Page Object Model, analiza rezultatelor testelor și depanare). În mediul VR, studenții vor putea explora vizual relațiile dintre clase, vor parcurge scenarii simulate de testare și vor interacționa cu explicații generate de AI, adaptate nivelului lor de înțelegere. Evaluarea rezultatelor va urma modelul utilizat în literatura de specialitate, incluzând un pre-test și un post-test, completate de un chestionar Likert privind percepția asupra experienței de învățare. Analiza statistică, prin teste t pentru eșantioane perechi sau independente, va permite compararea progresului celor două grupuri, iar un set de indicatori observaționali (precizia sarcinilor, numărul de erori, timpul de rezolvare) va completa evaluarea cantitativă. Prin acest design, viitorul studiu urmărește să determine în ce măsură integrarea IA–VR poate îmbunătăți înțelegerea conceptelor Java și eficiența procesului de testare automată, precum și impactul asupra motivației și implicării studenților. Rezultatele obținute vor contribui la fundamentarea unui model pedagogic inovator, scalabil și replicabil în contextul învățământului universitar tehnic.

CONCLUZII

Integrarea tehnologiilor de inteligență artificială și realitate virtuală în procesul educațional reprezintă o direcție emergentă cu un potențial transformațional major. Analiza literaturii de specialitate evidențiază faptul că medii imersive, sprijinite de mecanisme IA adaptive, pot îmbunătăți semnificativ învățarea atât la nivel cognitiv, cât și motivațional. VR facilitează experimentarea sigură a unor concepte complexe, iar IA oferă personalizare, asistență contextuală și feedback imediat, contribuind la creșterea performanțelor și la dezvoltarea competențelor digitale. Studiile analizate demonstrează că utilizarea com binată a IA–VR generează rezultate superioare în comparație cu metodele tradiționale de predare, aspect confirmat prin teste statistice (t-test), evaluări subiective (Likert) și măsurători obiective, precum EEG.

Aceste concluzii sunt consistente indiferent de domeniul investigat — arte vizuale, programare, sănătate sau educație tehnică — indicând robustețea și versatilitatea modelelor educaționale bazate pe imersiune și adaptivitate. Disciplina Java și, în particular, Test Automation Java, se pretează în mod natural unei transpuneri într-un mediu IA–VR, deoarece implică aceleași procese cognitive de abstractizare, analiză logică și depanare algoritmică identificate în studiile realizate pentru Python. Adaptarea metodologiei experimentale utilizate în cercetările existente reprezintă o oportunitate pentru proiectarea unui cadru educațional inovator, capabil să ofere studenților o înțelegere vizuală și interactivă a conceptelor fundamentale. Pentru a valorifica pe deplin potențialul acestor tehnologii, implementarea lor necesită o abordare multidisciplinară, colaborativă și etică, ce implică atât specialiști în educație, cât și experți în IA, VR și design instrucțional. Rezultatele sintetizate în această lucrare oferă un fundament solid pentru dezvoltarea unor studii aplicate viitoare și pentru integrarea treptată a mediilor IA–VR în învățământul superior tehnic.

Bibliografie:

1. VR and AR in Art and Design Promotion. European academic publication on immersive technologies in visual arts and design education. Country/Institution: various EU art & design faculties. [accesat la: 23.11.2025].
2. LAMPROPOULOS, G. Combining Artificial Intelligence with Augmented Reality and Virtual Reality in Education: Current Trends and Future Perspectives, 2025. DOI: 10.3390/mti9020011.
3. RONG, Q., LIAN, Q., TANG, T. Research on the Influence of AI and VR Technologies on Students' Learning Quality: A Quantitative Study. Frontiers in Psychology, 2022. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.767689.
4. DARII, O., BELDIGA, M. Impactul inteligenței artificiale asupra procesului educațional. Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, 2024. [accesat la: 25.01.2025].
5. BUTNARU, G. Etica utilizării inteligenței artificiale în educație. SNSPA, Bucharest, 2023. [accesat la: 20.11.2025].
6. Synergy of Art, Science, and Technology. Interdisciplinary European publication on computational design and digital arts, n.d. [accesat la: 25.01.2025].
7. CINAR, O. E., RAFFERTY, K., CUTTING, D., WANG, H. AI-Powered VR for Enhanced Learning Compared to Traditional Methods. University of Jeddah (Saudi Arabia), Queen's University Belfast (United Kingdom). Electronics, Vol. 13, 2023. DOI: 10.3390/electronics13234787.
8. DARII, O., BELDIGA, M. Metode de aplicare a IA în testarea software automatizată. Prezentat la Conferința TehFizUVS, Chișinău, 2025. Universitatea de Stat din Moldova. [accesat la: 25.01.2025].
9. Unity Technologies. VR Development Guide. Unity Documentation, 2023. Disponibil la: https://unity.com/ [accesat la: 25.01.2025].
10. OpenAI. AI in Education Whitepaper – Adaptive Learning and Intelligent Tutoring Systems. OpenAI Research, 2024. Disponibil la: https://openai.com/research [accesat la: 22.11.2025].
11. LEE, J., CHOI, H., PARK, S. Artificial Intelligence in Virtual Reality Simulation for Interprofessional Communication Training. Yonsei University & Severance Hospital, Seoul, South Korea. Internet Interventions, Vol. 31, 2023. DOI: 10.1016/j.invent.2023.100469.