

CZU: 37.01/.02:004.4

DOI: 10.36120/2587-3636.v32i2.71-80

IMPACTUL TEHNOLOGIILOR DE REALITATE AUGMENTATĂ PENTRU EDUCAȚIA STEAM

Teodora VASCAN, dr., conf. univ.

<https://orcid.org/0000-0002-6828-5343>

Catedra ITI, UPSC

Rezumat. Modernizarea sistemului de învățământ și apariția tehnologiilor inovatoare de învățare pot contribui considerabil la îmbunătățirea procesului educațional. Utilizarea tehnologiilor de realitate augmentată îmbunătățește învățarea individuală a elevilor, motivația acestora, precum și ajută la organizarea lucrului în echipă și la realizarea cooperării în grup. Întrucât realitatea augmentată în educație este un domeniu practic nou și puțin studiat pentru educația STEAM, acest articol analizează publicațiile apărute pe această temă, descrie conceptul de realitate augmentată, prezintă o analiză a tehnologiilor de realitate augmentată, care sunt adaptate predării disciplinelor naturale și matematice. De asemenea, sunt propuse soluții care ar permite să fie create elemente de AR în cursurile de robotică.

Cuvinte cheie: Educație STEAM, Realitatea Augmentată, Robotică, Tehnologii AR.

THE IMPACT OF AUGMENTED REALITY TECHNOLOGIES FOR STEAM EDUCATION

Abstract. The modernization of the education system and the emergence of innovative learning technologies can contribute considerably to the improvement of the educational process. The use of augmented reality technologies improves the individual learning of students, their motivation, as well as helps to organize teamwork and achieve group cooperation. Since augmented reality in education is a new and understudied field of practice for STEAM education, this article analyzes the published publications on this topic, describes the concept of augmented reality, and presents an analysis of augmented reality technologies that are adapted to teaching natural and mathematical subjects. Also, are proposed solutions that would allow AR elements to be created in robotics courses.

Keywords: STEAM Education, Augmented Reality, Robotics, AR Technologies.

Introducere

Conform Strategiei de transformare digitală a Republicii Moldova pentru anii 2023-2030 [1], Proiectul Europa 2030 [2] și Agenda Educației 2030 [3], crearea și utilizarea sistemelor informatice, în special sistemele care se bazează pe tehnologii grid și cloud, reprezintă una dintre etapele acestor strategii pentru anii următori. Aceasta deduce formarea noii infrastructuri digitale și reevaluarea sferei digitale, inclusiv sfera educațională. Programele educaționale ar trebui adaptate la aceste schimbări. Așadar, serviciul YouTube [4] și aplicațiile mobile [5], realitatea virtuală și augmentată (AR) sunt gratuite pentru studenți și profesori în timpul orelor. Acestea vor face lecțiile mai interactive și mai interesante. Elementele AR pot fi încorporate în site-uri web, pot fi încărcate pe rețelele sociale și pot funcționa pe PC, notebook-uri, tablete sau dispozitive VR.

Augmented Reality (AR) permite suprapunerea obiectelor 3D virtuale generate de computer peste un mediu real în timp real [6]. Învățarea asistată cu tehnologia AR permite învățarea colaborativă [7].

Facilitează reacția magică a unui obiect virtual afișat în timp real într-un spațiu din lumea reală, care poate implica un utilizator în procesul de învățare, așa cum niciun alt mediu nu a mai putut face până acum. AR este o tehnologie în curs de dezvoltare cu un potențial ridicat de învățare, predare și formare a creativității [8].

Realitatea virtuală, augmentată și mixtă a fost denumită „*al patrulea val*” de inovație și schimbare tehnologică în lumea computerelor. Primele trei, și anume PC-urile, Internetul și telefoanele mobile, au cunoscut schimbări monumentale în modul în care interacționăm, ne angajăm și comunicăm, cu efecte fundamentale și care ne schimbă viața pentru noi toți.

Antrenamentul bazat pe AR are avantaje față de abordările de realitate virtuală (VR), deoarece antrenamentul are loc în lumea reală și poate avea acces la feedback tactil real atunci când executați o sarcină de antrenament. Alte avantaje includ instrucțiunile și informațiile dependente de locație fiind direct legate și/sau atașate obiectelor fizice [9].

În sfera educațională din Republica Moldova, prezența materialelor educaționale și metodice care sunt dedicate problemelor de organizare a AR este destul de limitată din cauza dependenței mari de echipamente tehnice, organizării părții practice și lipsei de pregătire a profesorilor. Există relativ puține software-uri populare și echipamente tehnice disponibile pentru implementarea acestei tehnologii în instituțiile de învățământ.

Prin urmare, în această cercetare se va realiza o prezentare generală și generalizările metodelor de utilizare a tehnologiilor AR pentru educația STEAM. Se va realiza: o analiză a publicațiilor științifice, științifice-metodice legate de tehnologiile AR în educația STEAM; o imagine de ansamblu a utilizării sistemelor AR pentru activități educaționale și extracurriculare ale educației STEAM; descrierea practicilor existente privind utilizarea AR în cadrul disciplinelor, cum ar fi robotica.

Analiza publicațiilor științifice legate de tehnologiile AR în educația STEAM

Teemu H. Laine și Hae Jung Suk [12] consideră AR ca tehnologie de gamification și organizarea acesteia din punct de vedere al mecanicii de joc. Autorii se bazează pe motivații interioare precum provocarea, competiția, controlul, cooperarea, curiozitatea, fantezia și recunoașterea pentru implicarea studenților în crearea AR.

În lucrarea [13], autorii au în vedere abilitățile de utilizare a aplicațiilor AR în uzabilitate la nivel de clasă, principiile de proiectare, punctul de vedere al mediului hardware. Din punctul de vedere al utilizabilității, autorii definesc cercurile de utilizare: luarea în considerare a constrângerilor individuale, cum ar fi experiența anterioară a utilizatorului și încărcătura cognitivă a acestuia; calitatea conversațiilor, constrângerile

sălii de clasă. În proiectarea sistemului, autorii formulează principiul general de proiectare: „Utilitatea în clasă crește dacă mediul de învățare satisface toate constrângerile clasei”.

Cercetările realizate de Lucinda Kerawalla, Rosemary Luckin, Simon Seljeflot și Adrian Woolard [14] se concentrează pe exploatarea indivizilor-folosind-tehnologia-în-setari. Lucrarea lor prezintă folosind TinkerLamp: un mediu dezvoltat pentru a pregăti ucenicii profesionali în domeniul logisticii.

În timpul dezvoltării și implementării acestui instrument s-au făcut următoarele cerințe de proiectare:

- flexibilitatea conținutului și capacitatea de adaptare a acestuia la nevoile diferiților elevi;
- materialul de studiu AR trebuie utilizat în paralel cu metodele tradiționale de studiu;
- conținutul AR trebuie să fie interactiv pentru a maximiza eficacitatea metodelor de studiu;
- dezvoltarea AR ar trebui să ia în considerare trăsăturile concrete care studiază utilizatorul, cum ar fi vârsta.

Tehnologia AR combinată cu educația STEAM și TIC lărgeste foarte mult lista și posibilitățile metodologiei, tehnicilor, formatului de lucru disponibile care contribuie la modernizarea sferei educaționale, oferă posibilitatea de a îmbunătăți procesul educațional.

Implementarea elementelor AR în educația STEAM necesită schimbări corespunzătoare în utilizarea diferitelor forme organizaționale și orientarea către formarea și extinderea resurselor menționate. Fiecare dintre aceste forme influențează dezvoltarea și formarea de noi competențe. În special, este obișnuit ca toate formatele de învățare să aibă dezvoltarea abilităților cognitive prin legătura dintre activitățile teoretice și cele practice [15].

Realizarea sarcinilor de educație STEAM necesită utilizarea diferitelor tipuri de activități cognitive care asigură formarea competențelor STEAM corespunzătoare. Dintre tipurile de activități, este necesar să se menționeze activitățile care fac diferența între educația STEAM și alte moduri:

- *Explicarea utilizării fenomenelor și a legilor fizice.* În cele mai multe cazuri, aceste tipuri de activități sunt furnizate de demonstrarea conținutului AR și manipularea cu acesta.
- *Lucrări de laborator* naturale, fizice și tehnice, demonstrație experimentală folosind modele și machete. Una dintre caracteristicile educației STEAM este utilizarea resurselor tehnice, în special dispozitivele de măsurare, constructorii robotici etc. În cazul absenței capacității de utilizare a resurselor tehnice, AR își propune să construiască abilitățile de control și măsurători cu aceste dispozitive.
- *Performanța activității proiectului.* Crearea de obiecte cu AR oferă elevului posibilitatea de a construi singur obiecte, de asemenea, crearea de conținut digital

folosind modelele predefinite încurajează elevii să învețe mai profund materialul de învățare, crearea propriei parcele de acțiune dezvoltă abilitățile de planificare și organizare a proceselor, utilizarea programelor AR permite folosirea conținutului calitativ pentru performanța experimentului, le face mai observabile fără a se scufunda în structura interioară.

Utilizarea aplicațiilor de AR în Robotică

Utilizarea AR în cercetarea educațională STEAM a arătat că este necesar să se pună la dispoziție 3 tipuri de resurse:

1. Resursele educaționale electronice și căutarea, crearea și completarea lor desigur. Lucrul cu materiale electronice este de obicei destul de lung. Este posibil să folosiți modele existente sau să le creați proprii.

2. Supravegherea metodică (controlul și calitatea recomandărilor educaționale, conținut). Există schimbări în formele tradiționale de învățare – forme care nu erau utilizate pe scară largă înainte în procesul educațional, devin tot mai populare, cum ar fi învățământul la distanță.

3. Pregătirea cadrelor didactice pentru a crea conținut. Pregătirea avansată a cadrelor didactice pre- și continuă este actuală. De asemenea, este important să predea specialiști care să ajute profesorii în proiectarea mediului educațional și formarea acestuia. Mediul trebuie să îndeplinească criteriile principale: management simplu al resurselor educaționale, instrucțiuni clare și calitative pentru sarcini, criterii evidente de evaluare.

În conformitate cu aceasta, există diferite instrumente AR existente: instrumente de dezvoltare și instrumente de citire. Există sisteme care acceptă ambele funcții în care este implementată funcția AR. Am făcut căutare de soluții care ar permite să creăm elemente de AR în cursurile de robotică.

Am analizat aplicațiile AR pe Google Play pentru lecțiile STEAM. Printre rezultate au fost găsite 146 de aplicații care implementează principii și abordări ale educației STEAM. Printre aplicațiile căutate, o parte (12%) au fost aplicații pentru cărți. O parte din aplicații utilizează imagini AR pentru ilustrarea materialului (53%). Acele imagini pot reprezenta mișcări de bază, cum ar fi rotația sau interacțiunea utilizatorului. Există o categorie mai largă - aplicații de învățare asemănătoare jocurilor. Acestea conțin materiale sub formă de teste sau posibilități de învățare (35%). Aceste aplicații sunt mai confortabil de utilizat pentru subiecte concrete din planul de disciplină. Este posibil să creați și să manipulați obiecte virtuale. Ca exemplu, există aplicații (AR VR Molecules Editor) în care este posibilă crearea de substanțe sau demonstrarea altor subiecte de învățare (StanLear: AR Books & VR Worlds). Tabelul 1 conține o prezentare generală a aplicațiilor de AR și VR.

Tabelul 1. Prezentarea unor aplicații AR și VR

Denumirea aplicației	Descrierea generală
Star Walk 2	Este o aplicație rafinată de observare a stelelor care permite de a explora cerul nopții prin ecranul dispozitivului nostru. Putem face o călătorie fără efort prin mii de stele, comete, constelații și alte corpuri cerești. Tot ce trebuie să facem este să îndreptăm dispozitivul către cer!
Vuforia	Vuforia este o platformă AR și un kit de dezvoltare software AR (SDK) pentru dispozitive mobile dezvoltate de Qualcomm. Vuforia folosește tehnologii de viziune computerizată, precum și urmărirea în timp real a imaginilor plate și a obiectelor reale volumetrice simple (de exemplu, cele cubice). Din versiunea 2.5, Vuforia recunoaște textul[2], iar din versiunea 2.6 are capacitatea de a recunoaște markerii cilindrici[3].
	O platformă de realitate augmentată care generează valoare de afaceri și valoare comercială
Shapes 3D	Shapes 3D îi inspiră pe elevi să investigheze solidele geometrice și îi ajută să înțeleagă geometria spațială. Aplicațiile îi ajută pe profesori să explice probleme abstracte din geometria 3D și îi ajută să stârneasce curiozitatea în clasă, creând momente antrenante de matematică.
STEM Kids: Science, Technology, Engineering & Math	Aplicație pentru copii dedicată științei, tehnologiei, ingineriei și matematicii. Stem Kids conține sute de fotografii, videoclipuri și articole pentru a-ți ajuta copiii să înceapă să folosească STEM. Acesta își propune să aducă la viață educația științifică timpurie. Copiii pot citi singuri fapte și explicații interesante sau pot sta împreună cu părinții, bunicii sau frații mai mari pentru a studia împreună. Steo Kids vă inspiră copiii pentru educație și cariere în sectorul cu cea mai rapidă creștere.
SnapLearn: AR Books & VR Worlds	SnapLearn Augmented Reality transformă învățarea și lectura dintr-o descărcare statică de informații într-o călătorie experiențială de descoperire!
LearnLive AR	LearnLive AR folosește tehnologia Augmented Reality (AR) care îmbunătățește aspectul experiențial al materialelor de învățare. Cu LearnLive AR, învățarea devine mai interactivă, captivantă și distractivă.
ScanAR	Aplicația permite scanarea produselor speciale, imagini și ilustrații și descoperi conținut secret folosind AR.
Paint Draw AR	În această aplicație, putem picta și desena în spațiul 3D folosind AR. Utilizarea aplicației este la fel de simplă ca atingerea ecranului pentru a picta în spațiu 3D.
AR VR Molecules Editor	Editorul de molecule AR VR permite de a construi și manipula modele de molecule 3D de compuși organici și anorganici.
360ed's Elements AR	Elevii pot construi compuși selectivi combinând elemente flashcards. Narațiunea din aplicație îi ajută pe elevi să înțeleagă relevanța chimiei pentru viața de zi cu zi.
Sparklab - Chemistry app in AR/VR	Experimente chimice interactive în AR/VR. Tabel periodic interactiv și futurist în aplicația de chimie Sparklab. Teste de chimie. Videoclipuri informative și interesante despre Știință

Construirea oricărui dispozitiv robotic necesită cunoașterea următoarelor aspecte: mecanică (construcții, definirea formei), electronică (utilizarea schemelor electrice și a dispozitivelor care gestionează mecanismele), programare (crearea regulilor de acțiuni declanșate). Procesul de creare a schemelor robotice constă din mai multe etape [16]. Elementele de AR pot fi utilizate pe fiecare etapă.

Următoarea listă prezintă aplicațiile pentru organizarea etapelor menționate:

1. *Formarea și cercetarea problemei, căutarea unei soluții tehnice.* În această etapă se definește problema, se învață materialul corespunzător, se definesc metodele de rezolvare a problemei, se observă soluțiile existente. În această etapă, se construiește un scenariu de învățare, care este apoi implementat de către elevi. La această etapă pot fi utilizate următoarele aplicații de AR:

- *Google Lens* – tehnologie de recunoaștere a imaginilor bazată pe rețele neuronale AR dezvoltată de Google [2]
- *Anatomy* – structura corpului uman și a organelor, „expediție” în corp
- *Google Expeditions* – expediții virtuale și observarea obiectelor în AR cu efect de scufundare sau observarea obiectelor în AR. Poate fi folosit pentru învățarea condițiilor naturale și locale pentru construcții de măsurare. Poate fi folosit și pentru organizarea de misiuni [28]
- *Augmented Reality Development Lab* este un laborator experimental unde sunt create proiecte. De obicei, acestea sunt obiecte tridimensionale care pot fi folosite în învățare

2. *Modelare sau construcții, planificarea acțiunilor.* În această etapă se creează soluția tehnică care va sta la baza sistemului de robotică. Distincția etapei constă în detalierea planului de creare a aspectelor ingineresti și tehnologice, alegerea materialelor pentru construcție, justificarea schemei alese de fiabilitate a îmbinării detaliilor, crearea schemei de instruire a ansamblului construcției. În această etapă, sunt rezolvate problemele legate de funcționalitate, ergonomie și interfața construcției viitoare. Acest lucru influențează aspectele soluției tehnice, cum ar fi confortul, securitatea și simplitatea utilizării. Pentru această etapă se pot utiliza:

- *Occupational Safety Scaffolding* reprezintă fiabilitatea construcțiilor ingineresti. Este posibil să construiești o construcție pentru a examina duritatea acesteia
- *Melchemistry* – aplicație, pentru experimente chimice cu o gamă largă de caracteristici pentru observarea diferitelor tipuri de procese.

3. *Construirea machetei.* Această etapă poartă caracter aplicativ, în rezultat, se creează prototipul de soluție și modelul fizic. Această etapă include crearea nodurilor de construcție, a nodurilor mecanice și electrice ca asamblare, asamblare a nodurilor funcționale, asamblare a construcțiilor. Aspectul important este testarea construcției și modificarea construcției, dacă este necesar. Pot fi utilizate următoarele aplicații:

- *Electricity AR*– aplicație care ajută la tehnologia modului de lucru cu o scară analogică a dispozitivelor de măsurare și de a face măsurători cu AR, pentru a înțelege schema electrică.
- *CG-physics* – demonstrarea legilor fizice. Abilitatea de a efectua propriile experimente fizice (electronice).
- *Physics Playground*– referință la fizică unde pot fi observate forțele fizice și interacțiunea mecanică.

Activitățile STEAM sunt activități legate de proiecte în care sunt utilizate diferite abordări pedagogice și soluții tehnologice [17].

Abordările pedagogice se bazează pe organizarea în grup a muncii practice în cadrul proiectelor. Tot felul de activități sunt unite cu capacitatea de implicare a elevilor în procesul de învățământ. În cercetările analizate este descris că studiul eficient (studiul cu practică) crește eficacitatea studiului. Mai mult, majoritatea profesorilor care folosesc studii eficiente refuză cursurile tradiționale, preferând studiul activ. Deci, tipuri obișnuite de activități cognitive legate de diferite forme de studiu ar trebui să fie mai întâi caracterizate de activitatea elevilor și de implicarea studenților pentru discuții active și rezolvarea problemelor [18].

Pentru a implementa tehnologiile AR în procesul educațional, este necesară familiarizarea cu software-ul sau platformele speciale, care pot fi utilizate pentru a crea propriile aplicații mobile pentru implementarea ulterioară a acestuia.

Este deosebit de important în procesul de predare a disciplinelor „dificile” ale ramurilor naturale, matematică de a utiliza tendințele educaționale moderne, adică tehnologii inovatoare, cum ar fi tehnologia AR în sine și tehnologia STEAM, care oferă o oportunitate de a stimula elevii la creativitate, de a-și dezvolta abilitățile și abilitățile științifice și de cercetare, de a crea condiții motivaționale pentru autodeterminarea în ocupația viitoare, autodezvoltare și autorealizare, pentru a implementa competența actuală în viața de zi cu zi. Metodele imersive de învățare au câștigat o mare popularitate în multe țări din întreaga lume. În timpul orelor de științe biologice, ecologice, sau de alte științe ale naturii, practică pe teren, studenții folosesc organisme de observare și învățare a realității virtuale în habitatul lor. Activitățile educaționale pot fi orientate spre învățarea științelor folosind tehnologii AR și VR, în special, modelarea experimentelor fizice în mecanică, legi precum frecarea, inerția, viteza, traiectoria, masa, forța și caracteristicile altor obiecte din lumea fizică. Există instrumente în aplicare care oferă posibilitatea de a învăța procese fizice, de a face experimente în spațiu virtual 3D.

În chimie, aplicațiile AR permit învățarea unei structuri de atomi și molecule, efectuarea de experimente care sunt costisitoare sau periculoase în lumea reală observând transformări chimice etc.

În biologie, tehnologiile AR oferă o oportunitate de a scala diverse organe, celule sau chiar molecule de ADN. Caracteristicile interactive ale aplicațiilor oferă posibilitatea de a observa diagrame statice și dinamice, de exemplu, procesul de replicare a ADN-ului.

În timpul procesului educațional la matematică cu ajutorul tehnologiilor AR este posibilă vizualizarea suprafețelor algebrice de diferite grade. Există posibilitatea de a învăța suprafața ca obiect real, nu pe ecranul unui computer sau pe cartea de modificare a parametrilor în timp real și de a observa rezultatul. Schimbarea interactivă a parametrilor accelerează înțelegerea structurii ecuației și a suprafețelor 3D.

Concluzii

Utilizarea tendințelor educaționale moderne, adică tehnologii inovatoare, cum ar fi tehnologia AR însăși și tehnologia STEAM, oferă o oportunitate de a stimula elevii la creativitate, de a-și dezvolta aptitudini și abilități științifice și de cercetare, de a crea condiții motivaționale pentru autodeterminarea în ocupația viitoare, autodezvoltare și autorealizare, pentru a implementa competența actuală în viața de zi cu zi.

Analiza utilizării experienței AR pentru dezvoltarea materialelor de învățare interactive a concluzionat că concepția AR a indus dezvoltarea de noi interfețe de acces la sistemul informatic pentru om. În același timp, indiferent de perioada îndelungată, mai mult de 60 de ani de dezvoltare teoretică și practică a unor astfel de sisteme, doar în ultimii 20 de ani au existat condiții tehnologice pentru implementarea lor largă datorită răspândirii în masă a dispozitivelor mobile de internet. Condițiile metodice de utilizare a sistemelor de realitate virtuală la nivel mondial au fost testate în condiții de laborator, astăzi ele necesită și corectări în tehnologizarea în masă a procesului pedagogic. Printre problemele existente cu implementarea acestor tehnologii la nivel mondial, în primul rând, este necesar de remarcat deficitul de specialiști în pregătirea proiectelor educaționale, pregătirea tehnologică limitată a profesorilor în acest fel. Pentru a face AR o parte inseparabilă a procesului educațional, este necesar să se formeze un interes puternic pentru profesori de a utiliza AR și să-și arate avantajele ca abordare versatilă a învățării.

Articolul este elaborat în cadrul proiectului de cercetări științifice „Metodologia implementării TIC în procesul de studiere a științelor reale în sistemul de educație din Republica Moldova din perspectiva inter/transdisciplinarității (concept STEAM)”, inclus în „Program de stat” (2020-2023), Prioritatea IV: Provocări societale, cifrul 20.80009.0807.20, cu suportul financiar oferit de Agenția Națională pentru Dezvoltare și Cercetare.

Bibliografie

1. Strategia de transformare digitală 2023 – 2030, disponibilă online la [file:///D:/Downloads/tc-concept-std-final-ro-rev3-0...%2062c59120c13f5%20\(3\).pdf](file:///D:/Downloads/tc-concept-std-final-ro-rev3-0...%2062c59120c13f5%20(3).pdf) accesată la data 10.02.2023.

2. European Union 2010 Project Europe 2030: Challenges and Opportunities: A report to the European Council by the Reflection Group on the Future of the EU 2030 (Luxembourg: Publications Office of the European Union) URL <https://doi.org/10.2860/9573>
3. UNESCO 2016 Education 2030: Incheon Declaration and Framework for Action for the implementation of Sustainable Development Goal 4: Ensure inclusive and equitable quality education and promote lifelong learning opportunities for all p. 86 URL <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000245656>
4. CHORNA, O. V.; HAMANIUK, V. A.; UCHITEL, A. D. Use of YouTube on lessons of practical course of German language as the first and second language at the pedagogical university. In: *CEUR Workshop Proceedings*, 2019. 2433, pp. 294–307.
5. KAZHAN, YU. M.; HAMANIUK, V. A.; AMELINA, S. M.; TARASENKO, R. O. TOLMACHEV, S. T. The use of mobile applications and Web 2.0 interactive tools for students' German-language lexical competence improvement. In: *CEUR Workshop Proceedings*, 2020. 2643, pp. 392–415.
6. MANGINA, E. 3D learning objects for augmented/virtual reality educational ecosystems. In: *Proceedings of the 2017 23rd International Conference on Virtual System & Multimedia (VSMM)*, Dublin, Ireland, 31 October–2 November 2017; IEEE: New York, NY, USA, 2017, pp. 1–6.
7. MARQUES, B.; SILVA, S.; ALVES, J.; ARAUJO, T.; DIAS, P.; SANTOS, BS. A Conceptual Model and Taxonomy for Collaborative Augmented Reality. In: *IEEE Trans Vis Comput Graph*, 2022. Dec. 28(12):5113-5133. DOI: 10.1109/TVCG.2021.3101545. Epub 2022 Oct 26. PMID: 34347599. *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.* 2021, 14, pp. 1–18.
8. MARRAHI-GOMEZ, V.; BELDA-MEDINA, J. The Integration of Augmented Reality (AR). In: *Education. Advances in Social Sciences Research Journal*, 2022. 9(12), pp.475-487.
9. GEORGIU, Y.; KYZA, E. Relations between student motivation, immersion and learning outcomes in location-based augmented reality settings. In: *Comput. Hum. Behav*, 2018. 89, pp. 173–181.
10. HAYES, J. C.; KRAEMER, D. J. M. Grounded understanding of abstract concepts: The case of STEM learning. In: *Cognitive Research: Principles and Implications*, 2017. 2(7).
11. GIES, T. The ScienceDirect accessibility journey: A case study. In: *Learned Publishing*, 2018. 31(1), pp. 69–76.
12. LAINE, T H.; SUK, H. J. Designing Mobile Augmented Reality Exergames. In: *Games and Culture*, 2016. No. 11, pp. 548–80. URL <https://doi.org/10.1177/1555412015572006>.

13. CUENDET, S.; BONNARD, Q.; DO-LENH, S.; DILLENBOURG, P. Designing augmented reality for the classroom. In: *Computers & Education*, 2013. 68, pp. 557–69. URL <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.02.015>.
14. KERAWALLA, L.; LUCKIN, R.; SELJEFLOT, S.; WOOLARD, A. “Making it real”: exploring the potential of augmented reality for teaching primary school science. In: *Virtual Reality*, 2006. 10 163–74 URL <https://doi.org/10.1007/s10055-006-0036-4>.
15. SYRMPAS, I.; CHEN, S.; PASCO, D.; DIGELIDIS, N. Greek preservice physical education teachers’ mental models of production and reproduction teaching styles. In: *European Physical Education Review*, 2019. 25, pp. 544–64. URL <https://doi.org/10.1177/1356336X17752627>.
16. ORT, 2019. Vseukrainski zmagannia “Robotrafik 2019” (All-Ukrainian competitions “Robottraffic 2019”) ORT Ukraine URL <http://web.archive.org/web/20200128084016/http://www.ort.org.ua/news/novini-ta-anonsi/vseykrayinski-zmagannya-robotrafik-2019/>.
17. VALKO, N., et al. Cloud technologies for STEM education. In: *CEUR Workshop Proceedings*, 2020. 2643 p., pp. 435–47.
18. NECHYPURENKO, P. P.; SELIVANOVA, T. V.; CHERNOVA, M. S. Using the Cloud-Oriented Virtual Chemical Laboratory VLab in Teaching the Solution of Experimental Problems in Chemistry of 9th Grade Students. In: *CEUR Workshop Proceedings* 2393, pp. 968–83.