

CZU: 004.3/4:37.015:373:378

DOI: 10.36120/2587-3636.v36i2.134-143

IMPACTUL LABORATOARELOR VIRTUALE ASUPRA EDUCAȚIEI

Teodora VASCAN, dr., conf. univ.

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

Catedra ITI, UPSC

Rezumat. Laboratoarele virtuale sunt un instrument educațional puternic care îmbogățește procesul de învățare și îmbunătățește experiențele practice ale elevilor. Ele promovează o înțelegere interactivă și aprofundată a principiilor științifice și le permit elevilor să dezvolte abilitățile necesare pentru a reuși în lumea modernă. În articol este realizat un studiu al publicațiilor referitoare la laboratoarele virtuale și impactul lor asupra procesului educațional, sunt evidențiate avantajele utilizării acestora ca o metodă de instruire.

Cuvinte cheie: laborator virtual, simulatoare, modelarea proceselor, învățământ la distanță.

THE IMPACT OF VIRTUAL LABORATORIES ON EDUCATION

Abstract. Virtual labs are a powerful educational tool that enriches the learning process and enhances students' hands-on experiences. They promote an interactive and in-depth understanding of scientific principles and enable students to develop the skills needed to succeed in the modern world. In the article, a study of publications related to virtual laboratories and their impact on the educational process is carried out, the advantages of using them as a training method are highlighted.

Keywords: virtual laboratory, simulators, process modeling, distance learning.

Introducere

Un laborator virtual este un complex software și hardware care vă permite să efectuați experimente fără contact direct cu o instalație reală sau în absența completă a uneia. Utilizarea laboratoarelor virtuale în procesul educațional permite, pe de o parte, de a oferi elevului posibilitatea de a efectua experimente cu echipamente și materiale care nu sunt disponibile într-un laborator real, să dobândească abilități practice, să se familiarizeze cu un model computerizat a unui obiect unic și scump, să investigheze procesele și fenomenele de incendiu și explozive fără teamă de posibile consecințe. Pe de altă parte, conectarea echipamentelor și instrumentelor existente de laborator la un computer în cadrul unui laborator virtual face posibilă transferarea învățării tradiționale la un nou nivel care corespunde nivelului actual de dezvoltare a științei și tehnologiei.

Laboratoarele virtuale sunt flexibile; acestea permit elevilor să schimbe valorile diferitelor variabile de studiu și să exploreze rezultatele experimentale mai rapid decât într-un laborator tradițional sau la distanță. Elevii își pot îmbunătăți abilitățile și cunoștințele într-un laborator virtual în timp ce exersează în siguranță și într-un mod foarte realist. Un laborator virtual poate fi utilizat pentru a studia celulele vegetale, pentru a evalua nutriția pe baza compoziției corpului, a studia aplicațiile enzimatică ale biotehnologiei, a programa roboți, a practica electroterapia sau a studia electromagnetismul, optica și mecanica

folosind instrumente virtuale, posibilitățile sunt nelimitate. Sheppard și alții consideră că predarea și învățarea în laboratoarele virtuale joacă un rol vital în dezvoltarea elevilor [1].

Pe lângă concepte și principii, laboratoarele îi ajută pe elevi să dezvolte abilități profesionale de bază, cum ar fi rezolvarea problemelor, dezvoltarea aplicațiilor și identificarea erorilor [2], [3]. Cu toate acestea, utilizarea laboratoarelor în educație poate fi limitată de mulți factori, inclusiv costul echipamentului și timpul necesar pentru stagiul și infrastructură [4], [5], [6], [7]. Pentru a reduce aceste limitări, profesorii caută în mod constant noi tehnologii care să permită laboratoare mai incluzive, creative și mai eficiente. Printre aceste tehnologii, laboratoarele virtuale devin foarte populare în inginerie și educație științifică [8].

În literatură de specialitate există mai multe publicații care explorează diverse aspecte ale utilizării laboratoarelor virtuale în educația inginerilor și învățarea științelor. În continuare vom prezenta o analiză succintă a câtorva dintre acestea. Aceste publicații oferă o gamă largă de perspective și cercetări privind utilizarea laboratoarelor virtuale în educație, subliniind avantajele și provocările acestui tip de mediu de învățare.

Bunăoară, Feisel și Rosa [2] examinează rolul laboratorului în educația de inginerie la nivel universitar, subliniind importanța practicii experiențiale în dezvoltarea abilităților practice și a înțelegerii conceptelor teoretice. Lucrarea lui Wankat și Oreovicz [3] oferă perspective asupra educației în inginerie, abordând modalitățile de predare și pregătirea viitorilor ingineri pentru provocările din domeniu. Abdulwahed și Nagy [4] compară diferitele moduri de pregătire pentru laboratoarele de inginerie de procese la nivel de licență. Studiul lor se concentrează pe impactul acestor diferite modalități asupra îmbunătățirii procesului de învățare. Achumba et al. [5] examinează evaluarea performanței inteligenței studenților într-un mediu de laborator electronic virtual. Ei explorează eficacitatea acestui tip de laborator în evaluarea și îmbunătățirea cunoștințelor și abilităților studenților. Bhargava et al. [6] propun un laborator virtual bazat pe web pentru studierea torsiunii. Ei examinează utilizarea tehnologiei web în crearea unui mediu de învățare interactiv și practic pentru studenții de inginerie. Magana și Coutinho [7] examinează practicile de modelare și simulare pentru o forță de muncă în inginerie cu gândire computațională, evidențiind rolul acestor tehnologii în pregătirea viitorilor ingineri. Potkonjak et al. [8] oferă o recenzie a literaturii privind utilizarea laboratoarelor virtuale în educația în științe, tehnologie și inginerie, evidențiind potențialul și provocările acestora. De Jong et al. [9] oferă o perspectivă generală asupra utilizării laboratoarelor fizice și virtuale în educația științifică și de inginerie, evidențiind avantajele și dezavantajele fiecărei abordări. Glassey și Magalhães [10] analizează perspectivele asupra laboratoarelor virtuale în educația pentru ingineria chimică, anticipând o creștere a utilizării acestora în viitor. Hawkins și Phelps [11] compară eficacitatea laboratoarelor virtuale și tradiționale în învățarea electrochimiei, explorând care dintre ele este mai eficient pentru

transmiterea cunoștințelor. Heradio et al. [12] efectuează o analiză bibliometrică a utilizării laboratoarelor virtuale și la distanță în educație, evidențiind tendințele și evoluția acestui domeniu. Kollöffel și de Jong [13] investighează înțelegerea conceptuală a circuitelor electrice în educația tehnică secundară, combinând învățarea tradițională cu învățarea prin investigație într-un laborator virtual. Ray și Srivastava [14] discută virtualizarea educației științifice și lecțiile învățate din pandemia COVID-19, evidențiind importanța adaptabilității și utilizării tehnologiei în educație. Zacharia [15] compară și combină experimentele reale și virtuale în învățarea circuitelor electrice, examinând modalități de îmbunătățire a înțelegerii conceptuale a studenților. Tatli și Ayas [16] investighează efectul unui laborator virtual de chimie asupra performanței studenților, evaluând impactul acestuia asupra învățării și rezultatelor academice.

Laboratoarele virtuale ca metodă de instruire

Lucrările de laborator sunt parte integrantă a procesului de învățământ. Ele oferă experiență practică care le permite studenților să învețe abilitățile necesare atunci când lucrează cu echipamente reale. Din păcate, echipamentul necesar pentru a efectua lucrările de laborator în practică nu este întotdeauna disponibil. Prin urmare, problema predării și îmbunătățirii calității cunoștințelor studenților atrage din ce în ce mai multă atenție. Una dintre cele mai eficiente și general acceptate metode de predare este în prezent considerată a fi complexe de laborator virtuale, constând din laboratoare virtuale simulate.

Se așteaptă ca studenții la fizică, matematică și inginerie să obțină competențe specifice care le vor oferi abilități relevante pentru locul de muncă, pe lângă o înțelegere a principiilor fundamentale care guvernează disciplinele lor. În timpul instruirii, studenții ar trebui să dobândească un simț intuitiv al naturii fizice și funcționale a lucrului cu laboratoare virtuale. Pe baza acestui fapt, laboratoarele virtuale sunt parte integrantă a oricărei discipline tehnice. Din păcate, de foarte multe ori accesul la laboratoarele fizice este limitat de costul și disponibilitatea echipamentelor. Astfel, laboratoarele virtuale au fost propuse ca o modalitate de a reduce problema capacității laboratoarelor, permițând studenților să exerseze abilitățile necesare într-un mediu virtual atunci când echipamentul fizic real nu este disponibil. În plus, laboratoarele virtuale sunt la mare căutare în învățământul la distanță și în învățarea asistată de computer la disciplinele care impun studenților să învețe abilități practice pe lângă cunoștințele teoretice.

Câteva dintre avantajele care au contribuit la o experiență mai bogată și mai realistă în laboratoarele virtuale includ:

- Extinderea lățimii de bandă a Internetului și accesul omniprezent la Internet.
- Utilizarea calculatoarelor puternice și a aplicațiilor multimedia bogate.
- Integrarea instrumentelor interactive, precum Flash®, HTML 5, etc.

- Disponibilitatea software-ului cu sursă deschisă și a celui patentat la prețuri accesibile sau gratuit.

Aceste progrese sunt motivate de necesitatea utilizării lor în procesul educațional datorită următoarelor aspecte: accesul la distanță pentru învățământul online, costuri reduse, fiabilitate, siguranță, flexibilitate și comoditate pentru elevi.

Cu toate acestea, controversile cu privire la eficiența utilizării laboratoarelor virtuale în formarea studenților continuă încă neîncetat și nu au fost rezolvate. Se remarcă faptul că scopul final al laboratorului virtual este de a permite studenților să transfere experiența practică din lumea reală în mediul de lucru.

Oponenții subliniază că toate beneficiile menționează eficacitatea, comoditatea și costul utilizării laboratoarelor virtuale, dar nu abordează scopul principal al laboratorului, care este de a fi un mijloc eficient de a ajuta studenții să învețe abilități practice. În plus, unii susțin că, atunci când efectuează laboratoare practice, studenții pot obține acces la informații care ar putea să nu facă parte din intenția inițială a laboratorului. Un alt dezavantaj al laboratoarelor virtuale este aparent lipsa de realizare a abilităților psihomotorii la utilizarea laboratoarelor virtuale. Ei observă, de asemenea, că laboratoarele practice oferă studenților conștientizarea senzorială și situațională care un mediu virtual nu o poate replica. Scepticii laboratoarelor virtuale consideră că lipsa contactului fizic real duce la deficite în atingerea competențelor cheie care sunt necesare pentru a lucra în condiții reale.

Cu toate acestea, tehnologiile moderne fac posibilă prezentarea unui laborator virtual ca un model complet funcțional al unui laborator real. O simulare este un model dinamic al unui sistem natural sau proiectat cu care elevii pot interacționa. Modelarea se bazează pe implementarea modelelor matematice sau logice ale unui sistem fizic real într-un calculator folosind tehnologii de programare. Laboratoarele virtuale sunt în esență medii sintetice cu atribute care includ interactivitate și feedback în timp real. Aceste atribute fac laboratoarele virtuale atractive pentru orice strategie de instruire care necesită instruire practică. Practica pentru a dobândi abilități implică interacțiunea cu echipamentul și mediul de lucru.

Laboratoarele virtuale pot fi considerate o formă de învățare experiențială, deoarece le permit studenților fie să consolideze, fie să descopere cunoștințe și abilități prin interacțiunea față în față. Domeniul de aplicare al laboratoarelor virtuale este în continuă extindere. Practic, ele sunt justificate și utilizate acolo unde desfășurarea antrenamentului pe un sistem sau obiect real este însoțită de dificultăți serioase din punct de vedere tehnic și costuri materiale serioase: costul ridicat al echipamentelor pentru antrenament, costul ridicat de operare a acestui echipament, pericol semnificativ în timpul antrenamentului, dificultăți atunci când modificarea configurației echipamentelor pentru antrenament, dificultăți la modificarea parametrilor de mediu, costuri mari de timp pentru orice

modificări, lipsa observării vizuale a modificărilor în cadrul unui obiect sau sistem etc. Tehnologiile care sunt folosite acum pentru a crea laboratoare virtuale, însă, nu sunt complet standardizate, destul de consumatoare de resurse și necesită dezvoltarea lor de către programatori profesioniști cu cunoștințe în domeniul la care se referă laboratorul specific creat.

Resursele educaționale electronice bazate pe simularea computerizată tridimensională modernă a proceselor și fenomenelor fizice sunt implementate sub formă de laboratoare educaționale și științifice multimedia sau simulatoare virtuale. Noutatea tehnologiei simulatoarelor virtuale este justificată de utilizarea instrumentelor moderne de modelare pe calculator și de introducerea activă a tehnologiilor informaționale în domeniul educației ca o nouă direcție transdisciplinară [17].

Să formulăm principalele motive pentru utilizarea laboratoarelor virtuale:

- standurile de laborator și atelierele existente nu sunt suficient dotate cu instrumente, dispozitive și aparate moderne;
- majoritatea standurilor de laborator și atelierelor de instruire nu îndeplinesc cerințele moderne și sunt depășite din punct de vedere moral, ceea ce poate distorsiona rezultatele experimentelor și poate servi drept o potențială sursă de pericol pentru studenți și elevi;
- lucrările de laborator și standurile necesită îmbunătățiri anuale, ceea ce duce la costuri financiare suplimentare;
- în domenii precum, de exemplu, știința materialelor de construcții sau chimia fizică, pe lângă echipamente, sunt necesare și consumabile - materii prime, reactivi etc., al căror cost este destul de mare. Desigur, hardware-ul și software-ul computerelor sunt, de asemenea, costisitoare, dar versatilitatea tehnologiei informatice și utilizarea pe scară largă a acesteia compensează acest dezavantaj;
- tehnologiile computerizate moderne fac posibilă observarea proceselor care sunt dificil de distins în condiții reale fără utilizarea unor echipamente suplimentare, de exemplu, datorită dimensiunii mici a particulelor observate;
- simulatoarele virtuale fac posibilă simularea proceselor, a căror apariție este fundamental imposibilă în condiții de laborator;
- simulatoarele virtuale fac posibilă pătrunderea în complexitatea proceselor și observarea a ceea ce se întâmplă pe o scară de timp diferită, ceea ce este important pentru procesele care au loc într-o fracțiune de secundă sau, dimpotrivă, durează câțiva ani;
- siguranța este un avantaj important al utilizării laboratoarelor virtuale în cazurile în care se lucrează, de exemplu, cu tensiuni înalte sau substanțe chimice;
- din cauza inerției lucrărilor sau proceselor din unele instalații de laborator în timpul alocat acestora, este dificil să se efectueze analize sau verificări repetate;

- dobândirea de către studenți a unor abilități și experiență suficiente într-un anumit domeniu necesită repetarea experiențelor, ceea ce nu se face întotdeauna pentru a evita defecțiunile frecvente ale instalațiilor și costurile suplimentare pentru consumabile;
- simulatoarele virtuale sunt o metodă de predare extrem de eficientă, ceea ce se datorează nivelului scăzut de abstractizare a materialului educațional pe care îl conțin, cu alte cuvinte, mediul virtual de învățare din laboratoarele educaționale și științifice multimedia imită pe cât posibil condițiile reale.

Având în vedere cele expuse mai sus, este necesar să se introducă o metodă pedagogică nouă, eficientă și accesibilă care să ajute la rezolvarea următoarelor probleme:

- să inițieze un interes suficient de mare în rândul studenților împreună cu accesibilitatea pentru aceștia, crescând astfel activitatea și independența muncii lor educaționale;
- de a atrage atenția elevilor, ținând cont de caracteristicile lor psihologice, îmbunătățesc percepția materialului educațional datorită naturii sale multimedia;
- de a asigura controlul complet asupra asimilării materialului de către fiecare ascultător;
- facilitarea procesului de repetare și pregătire în pregătirea pentru examene și alte forme de control al cunoștințelor;
- scutirea profesorilor de rutina de monitorizare și consultanță;
- de a folosi timpul în afara clasei pentru a studia structurile sub formă de teme;
- introducerea formelor de lucru educațional la distanță, inclusiv în instituțiile de învățământ care au o bază de laborator slabă.

Din acest punct de vedere, introducerea tehnologiei informației contribuie la soluționarea optimă a problemelor de mai sus și la eliminarea unui număr de neajunsuri ale metodei tradiționale de predare. Aceste probleme pot fi rezolvate pe deplin cu ajutorul laboratoarelor multimedia educaționale și științifice create pe computere [18, 19].

Din păcate, numărul laboratoarelor virtuale existente în prezent utilizate în procesul educațional este destul de mic. Acest lucru se datorează, în primul rând, costului ridicat al dezvoltării lor, ceea ce duce la următoarele consecințe:

1. Laboratoarele virtuale, dezvoltate de programatori profesioniști, designeri și specialiști în domeniul modelării, sunt foarte scumpe, ceea ce împiedică distribuția lor scară largă. Pe de altă parte, oportunitățile scăzute de distribuție creează stimulente scăzute pentru producția lor.
2. Crearea laboratoarelor virtuale de către neprofesioniști poate duce la rezultate satisfăcătoare doar la modelarea unei clase restrânse de fenomene. Distribuția lor este asociată cu costul scăzut și absența virtuală a alternativelor.

Desigur, laboratoarele virtuale au unele dezavantaje. Cel mai important dezavantaj este lipsa contactului direct cu obiectul de studiu, instrumentele și echipamentele. Este necesară experiența cu instrumente reale, așa că o soluție rezonabilă ar fi combinarea utilizării laboratoarelor reale și virtuale în procesul educațional, ținând cont de avantajele și dezavantajele lor inerente.

De exemplu, în cazul lucrului cu obiecte periculoase, laboratoarele virtuale ar trebui folosite în primele etape și numai după obținerea abilităților necesare, se va trece, dacă este necesar, la lucrul cu obiecte reale. Astfel, o combinație atentă a utilizării laboratoarelor reale și virtuale va asigura cea mai mare eficiență a procesului educațional combinată cu costuri financiare mai mici.

Exemple de laboratoare virtuale disponibile gratuit

- *PhET Interactive Simulations* - reprezintă o colecție extinsă de simulări interactive pentru științe și matematică, dezvoltată de Universitatea din Colorado Boulder.
- *Virtual Labs (Amrita University)* - este o platformă care oferă laboratoare virtuale pentru o gamă largă de subiecte, inclusiv științele naturii, ingineria și medicina.
- *ChemCollective Virtual Lab* - conține un set de experimente virtuale pentru chimie, care acoperă o varietate de subiecte și concepte din chimie generală și organică.
- *Labster* - este platformă care oferă simulări virtuale ale laboratoarelor de științe, cu accent pe biologie, chimie și medicină.
- *Merlot Virtual Labs* - conține o colecție vastă de laboratoare virtuale disponibile în cadrul proiectului Merlot (Multimedia Educational Resource for Learning and Online Teaching).
- *Phylo* - un joc online gratuit care utilizează puzzle-uri pentru a învăța despre evoluția genomului.
- *Virtual Microscope* – este un laborator virtual care permite utilizatorilor să examineze mostre de microscopie la nivel microscopic.
- *Chemistry Lab Simulator*- este un simulator online care permite utilizatorilor să efectueze experimente de chimie și să observe rezultatele într-un mediu virtual sigur.
- *Gizmos by ExploreLearning* – este o colecție de peste 400 de simulări interactive pentru matematică și științe.
- *Virtual Robotics Lab* - un mediu virtual care permite utilizatorilor să proiecteze, să construiască și să programeze roboți într-un mod interactiv.
- *Open Roberta Lab* - este o platformă educațională online care permite elevilor să învețe programare și să creeze proiecte de robotică. Acest laborator virtual oferă o interfață prietenoasă, potrivită pentru începători, și se concentrează pe programarea blocurilor. Elevii pot trage și plasa blocuri de cod pentru a crea algoritmi și a controla roboții. *Open Roberta Lab* este utilizat în școli și proiecte de educație STEM (Știință,

Tehnologie, Inginerie și Matematică) pentru a dezvolta abilități de programare și gândire logică.

Aceste laboratoare virtuale sunt disponibile gratuit și pot fi utilizate pentru a sprijini învățarea și înțelegerea într-o varietate de domenii educaționale.

Concluzii

Laboratoarele virtuale oferă oportunități pentru învățarea activă și experiențială, ceea ce poate îmbunătăți eficiența procesului educațional. Ele permit studenților să experimenteze și să aplice conceptele teoretice într-un mediu sigur și interactiv. Utilizarea laboratoarelor virtuale poate elimina constrângerile spațiale și temporale asociate cu laboratoarele tradiționale. Studenții și elevii pot avea acces la experimente și exerciții practice oriunde și oricând, ceea ce crește flexibilitatea în procesul lor de învățare. Implementarea laboratoarelor virtuale poate reduce costurile asociate cu achiziționarea și întreținerea echipamentelor și a spațiilor fizice necesare pentru laboratoarele tradiționale. De asemenea, ele pot reduce consumul de materiale și resurse.

Laboratoarele virtuale pot fi adaptate pentru a se potrivi nevoilor individuale ale studenților și pot oferi o gamă mai largă de experimente și activități decât cele tradiționale. Această personalizare poate îmbunătăți angajamentul și înțelegerea studenților. Utilizarea laboratoarelor virtuale poate stimula inovația în practica didactică, oferind profesorilor și dezvoltatorilor de conținut posibilitatea de a experimenta cu noi tehnologii și metode de predare. Cu toate acestea, implementarea și utilizarea eficientă a laboratoarelor virtuale pot întâmpina anumite provocări, cum ar fi necesitatea de a asigura o infrastructură tehnologică solidă, dezvoltarea de conținut de înaltă calitate și evaluarea corectă a performanței studenților în mediul virtual. Pentru a maximiza beneficiile laboratoarelor virtuale, acestea ar trebui să fie integrate într-un cadru mai larg de învățare, complementând alte metode și resurse educaționale, cum ar fi cursurile tradiționale, discuțiile în clasă și materialele de studiu online.

Laboratoarele virtuale au un impact semnificativ în procesul educațional, oferind o serie de avantaje în ceea ce privește eficiența, accesibilitatea, personalizarea și inovarea didactică. Cu toate acestea, pentru a profita la maximum de potențialul lor, este important să se abordeze cu atenție provocările tehnice și pedagogice asociate și să se integreze în mod corespunzător în contextul educațional mai larg.

Articol realizat în cadrul proiectului de cercetări științifice „Metodologia implementării TIC în procesul de studiere a științelor reale din perspectiva conceptului STEAM și Inteligenței Artificiale”, codul 040101, din cadrul Programului instituțional de cercetare (2024-2027), aprobat prin Ordin MEC nr. 102 din 01.02.2024

Bibliografie

1. SHEPPARD, S.D., MACATANGAY, K., COLBY, A., SULLIVAN, W.M. *Educating Engineers: Designing for the Future of the Field*. Jossey-Bass, 2008.
2. FEISEL, L. D., ROSA, A. J. The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education. In: *Journal of Engineering Education*, 2005. nr. 94(1), pp. 121–130. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2005.tb00833.x>
3. WANKAT, P. C., OREOVICZ, F. S. *Teaching engineering* (2nd ed.). Purdue University Press, 2015.
4. ABDULWAHED, M., NAGY, Z. K. The impact of different preparation modes on enhancing the undergraduate process control engineering laboratory: A comparative study. In: *Computer Applications in Engineering Education*, 2014. nr. 22(1), pp. 110–119. <https://doi.org/10.1002/cae.20536>
5. ACHUMBA, I. E., AZZI, D., DUNN, V. L., CHUKWUDEBE, G. A. Intelligent performance assessment of students' laboratory work in a virtual electronic laboratory environment. In: *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 2013. nr. 6(2), pp. 103–116. <https://doi.org/10.1109/TLT.2013.1>
6. BHARGAVA, P., ANTONAKAKIS, J., CUNNINGHAM, C., ZEHNDER, A. T. Web-based virtual torsion laboratory. In: *Computer Applications in Engineering Education*, 2006. nr. 14(1), pp. 1–8. <https://doi.org/10.1002/cae.20061>
7. MAGANA, A. J., COUTINHO, G. S. Modeling and simulation practices for a computational thinking-enabled engineering workforce. In: *Computer Applications in Engineering Education*, 2017. nr. 25(1), pp. 62–78. <https://doi.org/10.1002/cae.21779>
8. POTKONJAK, V., GARDNER, M., CALLAGHAN, V., MATTILA, P., GUETL, C., PETROVIĆ, V. M., JOVANOVIĆ, K. Virtual Laboratories for Education in Science, Technology, and Engineering: a Review. In: *Computers & Education*, 2016. nr. 95, pp. 309–327. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.002>
9. De JONG, T., LINN, M. C., ZACHARIA, Z. C. Physical and virtual laboratories in science and engineering education. In: *Science*, 2013. nr. 340(April), pp. 305–308.
10. GLASSEY, J., MAGALHÃES, F. D. Virtual laboratories - love or hate them; they are likely to be used more in the future. In: *Education for Chemical Engineers*, 2020. nr. 33(Oct), pp. 76–77. doi: [10.1016/j.ece.2020.07.005](https://doi.org/10.1016/j.ece.2020.07.005)
11. HAWKINS, I., PHELPS, A. J. Virtual laboratory vs. traditional laboratory: which is more effective for teaching electrochemistry? In: *Chemistry Education Research and Practice*, 2013. nr. 14, pp. 516–523. <https://doi.org/10.1039/c3rp00070b>
12. HERADIO, R., De La TORRE, L., GALAN, D., CABRERIZO, F. J., HERRERA-VIEDMA, E., DORMIDO, S. Virtual and Remote Laboratories in Education: a

- Bibliometric Analysis. In: *Computers & Education*, 2016. nr. 98, pp. 14–38. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.03.010>
13. KOLLÖFFEL, B., de JONG, T. Conceptual understanding of electrical circuits in secondary vocational engineering education: Combining traditional instruction with inquiry learning in a virtual lab. In: *Journal of Engineering Education*, 2013. nr. 102(3), pp. 375–393. <https://doi.org/10.1002/jee.20022>
 14. RAY, S., SRIVASTAVA, S. Virtualization of science education: a lesson from the COVID-19 pandemic. In: *Journal of Proteins and Proteomics*, 2020. nr. 11(2), pp. 77–80. <https://doi.org/10.1007/s42485-020-00038-7>
 15. ZACHARIA, Z. C. Comparing and combining real and virtual experimentation: An effort to enhance students' conceptual understanding of electric circuits. In: *Journal of Computer Assisted Learning*, 2007. nr. 23(2), pp. 120–132. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2006.00215.x>
 16. TATLI, Z., AYAS, A. Effect of a Virtual Chemistry Laboratory on Students' Achievement. In: *Educational Technology & Society*, 2013. nr. 16(1), pp. 159–170. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eric&AN=EJ1016363&site=ehost-live>
 17. ЛЕСОВИК, В.С. ГЕОНИКА (геомиметика) как трансдисциплинарное направление исследований. In: В.С. Лесовик. *Высшее образование в России*. 2014. № 3. с. 77-83.
 18. СОЛОВОВ, А.В. Виртуальные учебные лаборатории в инженерном образовании. In: А.В. Соловов. *Сборник статей «Индустрия образования»*. Выпуск 2. М.: МГИУ, 2002. с. 386-392.
 19. НОРЕНКОВ, И.П. Информационные технологии в образовании. In: И.П. Норенков, А.М. Зимин. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 352 с.