

Зборник Института за педагошка истраживања

Година 57 • Број 2 • Децембар 2025 • 199–202

УДК: 37.015.31:5

37.091.39::001.891.53

Примљено 13.9.2025; прихваћено 2.12.2025.

ISSN 0579-6431

ISSN 1820-9270 (Online)

DOI: 10.2298/ZIPI2502203P

Оригинални научни рад

## МЕТААНАЛИТИЧКА СТУДИЈА УТИЦАЈА ВИРТУЕЛНОГ И РЕАЛНОГ ЛАБОРАТОРИЈСКОГ РАДА НА АФЕКТИВНЕ ИСХОДЕ УЧЕЊА ПРИРОДНИХ НАУКА\*

Катарина Путица • ORCID: 0000-0002-5609-2368

Универзитет у Београду – Иновациони центар Хемијској факултету, Београд, Србија

Јелена Станишић\*\* • ORCID: 0000-0003-3137-4753

Институт за педагошка истраживања, Београд, Србија

### АПСТРАКТ

Иновације из области природних наука значајно унапређују квалитет нашег свакодневног живота. Ипак, због апстрактности градива и рецептивног приступа настави, ученици према природним наукама најчешће имају негативан однос. Афективни исходи учења у овој области могу се унапредити како кроз реални, тако и кроз виртуелни лабораторијски рад. Међутим, претходне (квази)експерименталне студије које су поредиле њихову ефикасност у овом погледу дале су крајње опречне резултате. Ради стицања јасније слике о томе који тип лабораторијског рада позитивније утиче на афективне исходе учења природних наука, у овој метаанализи су синтетисани резултати 22 (квази) експерименталне студије које су дату проблематику разматрале у претходних 20 година. На овај начин, утврђена је статистички значајно већа ефикасност виртуелног лабораторијског рада. Такође, применом метарегресије, као модератори ефикасности виртуелних лабораторија идентификовани су приступ експерименталном раду и тип Ликертове скале коришћен за проверу остварености афективних исхода, уз значајно већу ефикасност вођеног у односу на истраживачки приступ раду и значајно већу средњу вредност при коришћењу четворостепене, у односу на петостепену Ликертову скалу. Наведени налази указују на приступе путем којих се могу унапредити афективни исходи учења природних наука, као и поступци провере њихове остварености. Налази нашег истраживања указују на потребу да се посебна пажња посвети развоју инструмената за процену ефеката различитих типова лабораторијских активности на афективне исходе учења, као и на даља истраживања у којима би била испитана улога истраживачког приступа у односу на приступ вођен наставниковом рецептуром у постицању ових исхода.

### Кључне речи:

виртуелне лабораторије, реалне лабораторије, афективни исходи учења, природне науке, метаанализа.

\* Цитирати овај чланак на следећи начин: Putica, K. i Stanišić, J. (2025). Metaanalitička studija uticaja virtuelnog i realnog laboratorijskog rada na afektivne ishode učenja prirodnih nauka. *Zbornik Instituta za pedagoška istraživanja*, 57(2), 199–202. DOI: 10.2298/ZIPI2502203P.

\*\* Мејл: jstanic@ipi.ac.rs

## УВОД

Брзина промена које обележавају савремени свет ставља у први план значај науке и технологије. У складу са тим, научна писменост се све више препознаје као једна од кључних компетенција неопходних за живот у модерном друштву и, према томе, као област коју је потребно систематски развијати током образовног процеса (Ševkušić i Kartal, 2017). Према дефиницији Организације за економску сарадњу и развој (ОЕСД, 2016), научно писмена особа поседује способности научног објашњавања феномена, евалуације и осмишљавања научних истраживања, као и интерпретације података на научан начин, што јој омогућава активно и аргументовано учешће у дискурсу о науци и технологији. Поред тога, препознато је да научна писменост поседује и афективну компоненту, која се односи на афинитете и мотивацију ученика за бављење природним наукама (ОЕСД, 2016). У складу са препорукама релевантних тела, циљ научног образовања јесте да се сваком грађанину обезбеде вештине неопходне за живот и рад у друштву знања, али и да му се омогући развој критичког мишљења и научног резонувања, који представљају основу за доношење одлука заснованих на поузданим и адекватним информацијама (High Level Group on Science Education, 2007). Према томе, појединац се може сматрати научно писменим тек уколико је способан да процени сврху и значај примене научног знања у различитим контекстима (Milinković i sar. 2017).

Мотивација и позитивни ставови према учењу имају кључну улогу у развоју научне писмености ученика и подстицању трајног интересовања за науку. Они значајно утичу како на сам процес учења, тако и на постигнућа ученика (Lalić-Vučetić i Mirkov, 2023). То потврђују и резултати међународног истраживања TIMSS у Србији, који показују да самопоуздање и ставови ученика према природним наукама представљају важне предикторе њихових постигнућа у овој области (Jošić i sar., 2021).

Иако су достигнућа природних наука у 21. веку у великој мери допринела унапређивању квалитета свакодневног живота, истраживања ипак указују да ученици према овим наукама и даље исказују претежно негативан однос (Hornsey, 2020; Rutjens et al., 2018). Истраживачки резултати, као и сама наставна пракса, показују да ученицима садржаји природних наука представљају значајан изазов за учење, пре свега због сложености појмова који се изучавају (Milanović-Nahod i sar., 2003). Један од кључних узрока оваквог

стања јесте апстрактност појмова и велики број варијабли које садрже научни концепти, као и специфичности терминологије, с обзиром на то да многе речи имају различита значења у свакодневном језику и у научном дискурсу. Поред тога, проблем се јавља и због несразмере између структуре научних дисциплина и когнитивне структуре ученика (Gabel & Bunce, 1994; Krajčik, 1991; Stavy, 1995, према: Milanović-Nahod i sar., 2003). Све наведено додатно је појачано чињеницом да је настава природних наука и даље претежно рецептивног типа, што ограничава активну когнитивну ангажованост и дубље разумевање градива (Osborne et al., 2003). С тим у вези, постаје јасно да је потребно развијати наставне приступе који подстичу интеракцију, експерименталну активност и критичко размишљање код ученика, како би се превазишле потешкоће у усвајању сложених научних концепата.

Одсуство активног ангажовања ученика током рецептивне наставе негативно се одражава на мотивацију ученика за учење природних наука (Tas & Sakir, 2014), док слабије разумевање градива у односу на оно које се постиже применом активних приступа учењу узрокује појачану анксиозност у ситуацијама провере стечених знања (Nicol et al., 2022), као и низак ниво самоефикасности ученика (Tsai et al., 2011). Такође, услед недостатка директног контакта са супстанцама и процесима у којима оне учествују, не развија се свест о значају њихове примене у свакодневном животу, што смањује интересовање ученика за област природних наука и појачава доживљај апстрактности поменутог градива (Aikenhead, 2006). Коначно, апстрактност природних наука повезана је и са чињеницом да је за постизање суштинског разумевања физичких, хемијских и биолошких процеса неопходна њихова визуелизација на субмикроскопском нивоу, при чему субмикроскопске структуре попут атома, електронских зрака или ћелијских органела нису видљиве голим оком (Taber, 2013).

Полазећи од става да научна писменост, поред когнитивних димензија, обухвата и ставове, уверења и мотивационе аспекте (Lalić-Vučetić i Mirkov, 2023), у фокус савремених педагошких разматрања све више долази питање значаја афективних исхода учења у настави природних наука. Афективни исходи учења односе се на емоционалне компоненте процеса учења и обухватају распон од почетне спремности за пријем информација до интеграције уверења, идеја и ставова у стабилне вредносне системе. Према мишљењу Блума и сарадника (Bloom et al., 1964), афективно подручје учења обухвата пет

нивоа: од усмеравања пажње на садржаје и спремности за реаговање, преко прихватања и организације вредности, до највишег нивоа који подразумева изградњу стабилног система ставова, савести и самосвести.

Експериментални рад у реалним лабораторијама, у оквиру кога ученици активно манипулишу хемикалијама и лабораторијском опремом, омогућава превазилажење већине наведених фактора који негативно утичу на оствареност афективних исхода учења природних наука (George-Williams et al., 2018). Међутим, опремање реалних лабораторија је захтевно у економском смислу (Winkelman et al., 2017), а постоји и низ разлога због којих овај тип експерименталног рада може довести и до развоја негативних емоција. На пример, утврђено је да велики број ученика страхује да коришћење токсичних хемикалија може да угрози њихово здравље (Ali et al., 2022). Додатно, осећају нелагоде доприноси и чињеница да мануелни лабораторијски рад захтева висок степен концентрације и прецизно извођење низа финих моторичких радњи (Taramopoulos et al., 2012). Велики притисак ученици осећају и због чињенице да се једном започета лабораторијска процедура не може паузирати или вратити неколико корака уназад, како би се отклониле грешке у њеном извођењу (Rutjens et al., 2018). Притом, због дуготрајности реалних експеримената, могућност њиховог понављања током датог термина вежби сведена је на минимум (Asiksoy, 2023). Коначно, изузетно јак осећај незадовољства везан је и за ситуације које нису реткост у реалним условима, а подразумевају да, упркос коректном извођењу експерименталних поступака, жељени резултати не буду остварени због непрецизности у раду појединих мерних инструмената (Rutjens et al., 2018). Такође, неопходно је истаћи и да реални лабораторијски рад не омогућава визуелизацију субмикроскопских структура (Potkonjak et al., 2016), чиме се не отклања један од значајних узрочника апстрактности, а тиме и негативног односа ученика према градиву природних наука.

С дуге стране, у виртуелним лабораторијским експериментима користе се опрема и хемикалије симулиране на компјутерима (Ma & Nickerson, 2006). Последично, експерименталне активности, које у реалном окружењу захтевају употребу скупе апаратуре и опасних супстанци, могу се извести уз минималне трошкове и ризик по здравље ученика (Winkelman et al., 2017). Велика предност виртуелних лабораторија препознаје се и у чињеници да се, у случају грешке, експерименталне процедуре у сваком тренутку могу зауставити и вратити неколико корака уназад (Nicol et al., 2022) или, због знатно краћег

трајања, поновити већи број пута током датог термина вежби (Daineko et al., 2017). Такође, реализација лабораторијског рада је једноставнија јер не захтева константан фокус на извођење финих мануелних покрета, а елиминисањем проблема са прецизношћу реалних мерних инструмената, повећава се и тачност експерименталних резултата (Pyatt & Sims, 2012). Све поменуте карактеристике у великој мери смањују могућност неуспеха виртуелних експеримената, што олакшава развој самоефикасности ученика, повећава њихов осећај уживања у лабораторијском раду и доприноси бољој мотивацији за учење природних наука (Husnaini & Chen, 2019). Такође, кроз ефективну визуелизацију субмикроскопских структура, виртуелне лабораторије значајно доприносе и смањењу апстрактности градива из поменуте наставне области (Herga et al., 2016). С друге стране, негативне емоције током извођења виртуелних експеримената могу се јавити због недовољног искуства ученика у коришћењу информационо-комуникационих технологија (Priest et al., 2014). Такође, овај тип лабораторијског рада не погодује ученицима са тактилним стилем учења којима је, за успешно стицање нових знања, неопходан директан мануелни контакт са супстанцама и лабораторијском опремом (Nicol et al., 2022). Коначно, недовољна реалистичност виртуелног лабораторијског окружења и чињеница да се у њему не могу репродуковати одређена реална искуства (нпр., мирис и текстура супстанци), такође могу негативно утицати на мотивацију ученика и њихово активно учествовање у овом облику лабораторијских активности (Ali et al., 2022).

Будући да и виртуелне и реалне лабораторије поседују карактеристике које како позитивно, тако и негативно утичу на афективне исходе учења природних наука, није изненађујуће да су досадашње (квази)експерименталне студије, које су поредиле њихове ефекте у овом погледу, дале опречне резултате. Тако је у појединим студијама установљена значајно већа ефективност виртуелних лабораторија (нпр., Akpan & Strayer, 2010; Gambari et al., 2013), у неким студијама два лабораторијска приступа показала су се једнако ефективним (нпр., Oymak & Ogan-Bekrioglu, 2017; Ratamun & Osman, 2018), док је у одређеном броју студија утврђена значајно већа ефективност реалних лабораторија (нпр., Mutlu & Sesen, 2020; Waziri & Bebel, 2023). Последично, ради добијања јасније слике о утицају поменутих лабораторијских приступа на афективне исходе учења природних наука, неопходно је извршити синтезу резултата претходних (квази)експерименталних истраживања која су се

бавила овом проблематиком. Међутим, сви досадашњи систематски прегледи и метаанализе у којима су извођени синтетисани закључци о ефектима виртуелних и реалних лабораторија у поменутој наставној области имају одређена ограничења.

За почетак, систематски преглед Ма и Никерсона (Ma & Nickerson, 2006) показао је да су, пре 2005. године, виртуелне лабораторије ретко коришћене у настави природних наука. Први уочљиви пораст броја истраживања, у чијем је фокусу била ова тематика детектовао је Бринсон (Brinson, 2015) у периоду између 2005. и 2015. године, уз значајну заступљеност студија усмерених на афективне исходе учења. Међутим, у овом систематском прегледу реалне лабораторије поређене су са тзв. нетрадиционалним лабораторијама које су обухватале и виртуелне и даљинске лабораторије, при чему је у 86% студија, које су биле фокусиране на афективне исходе учења, установљена једнака или већа ефективност нетрадиционалних лабораторијских приступа. За разлику од Бринсоновог прегледа, поједини систематски прегледи били су усмерени на само један одређени предмет из групације природних наука. Притом, у прегледима из области биологије (Byukusenge et al., 2022) и хемије (Chan et al., 2021), који се односе на период од 2000. до 2020. године, само је у око 20% студија компариран ефекат виртуелних и реалних лабораторија на афективне исходе учења. На основу њихових резултата, у области биологије је установљена већа ефективност виртуелних лабораторија, док у области хемије није детектована разлика у ефективности два лабораторијска приступа. Финално, у системском прегледу Свастике и сарадника (Swastika et al., 2024), за период од 2010. до 2023. године, разматрани су само одређени афективни исходи учења. Притом је у готово 60% студија, у чијем је средишту било подстицање позитивног односа ученика према природним наукама, и у око 65% студија, које су биле фокусиране на развој самоефикасности ученика у овој области, установљена већа ефективност виртуелних лабораторија.

Због коришћења квантитативних података и примене статистичких метода за синтезу истраживачких резултата, метаанализе се генерално сматрају објективнијим од систематских прегледа (Ahn & Kang, 2018). Међутим, у малобројним студијама овог типа из области природних наука до сада је углавном упоређивана укупна ефективност виртуелних и реалних лабораторија. Тако је метаанализа Тсиуридиса и сарадника (Tsihouridis et al., 2019), која је обухватила 106 студија публикованих између 1978. и 2018.

године (већина студија спроведена је након 2005. године) указала на једнаку укупну ефективност поменутих лабораторијских приступа. С друге стране, Сантос и Пруденте (Santos & Prudente, 2022), на основу резултата 15 студија објављених између 2015. и 2020. године и Сјажвин и сарадници (Syhwin et al., 2022) на основу резултата 24 студије публиковане од 2013. до 2021. године, утврдили су значајно већу укупну ефективност виртуелних лабораторија уз умерену, односно велику вредност величине ефекта. Коначно, на значајно већу ефективност виртуелних лабораторија, уз велику вредност величине ефекта, указано је и у метаанализи Антонија и Кастра (Antonio & Castro, 2023), која је обухватила 15 студија објављених између 2017. и 2020. године и која је била фокусирана на академска постигнућа ученика у области физике.

Имајући у виду потребу за синтетисаним закључком везаним за утицај виртуелних и реалних лабораторија на исходе учења из афективног домена, чињеницу да су овакви закључци објективнији када се изведу путем метаанализе, као и то да се досадашње метааналитичке студије нису бавиле овом проблематиком, први циљ овог истраживања био је да се, применом поменутог истраживачког приступа, установи да ли су виртуелне лабораторије ефективније од реалних у домену унапређивања афективних исхода учења природних наука. Истовремено, други истраживачки циљ био је да се, коришћењем метарегресионе анализе, идентификују варијабле које представљају модераторе ефективности виртуелних лабораторија.

## ■ МЕТОД

### Претрага литературе и критеријуми релевантности студија

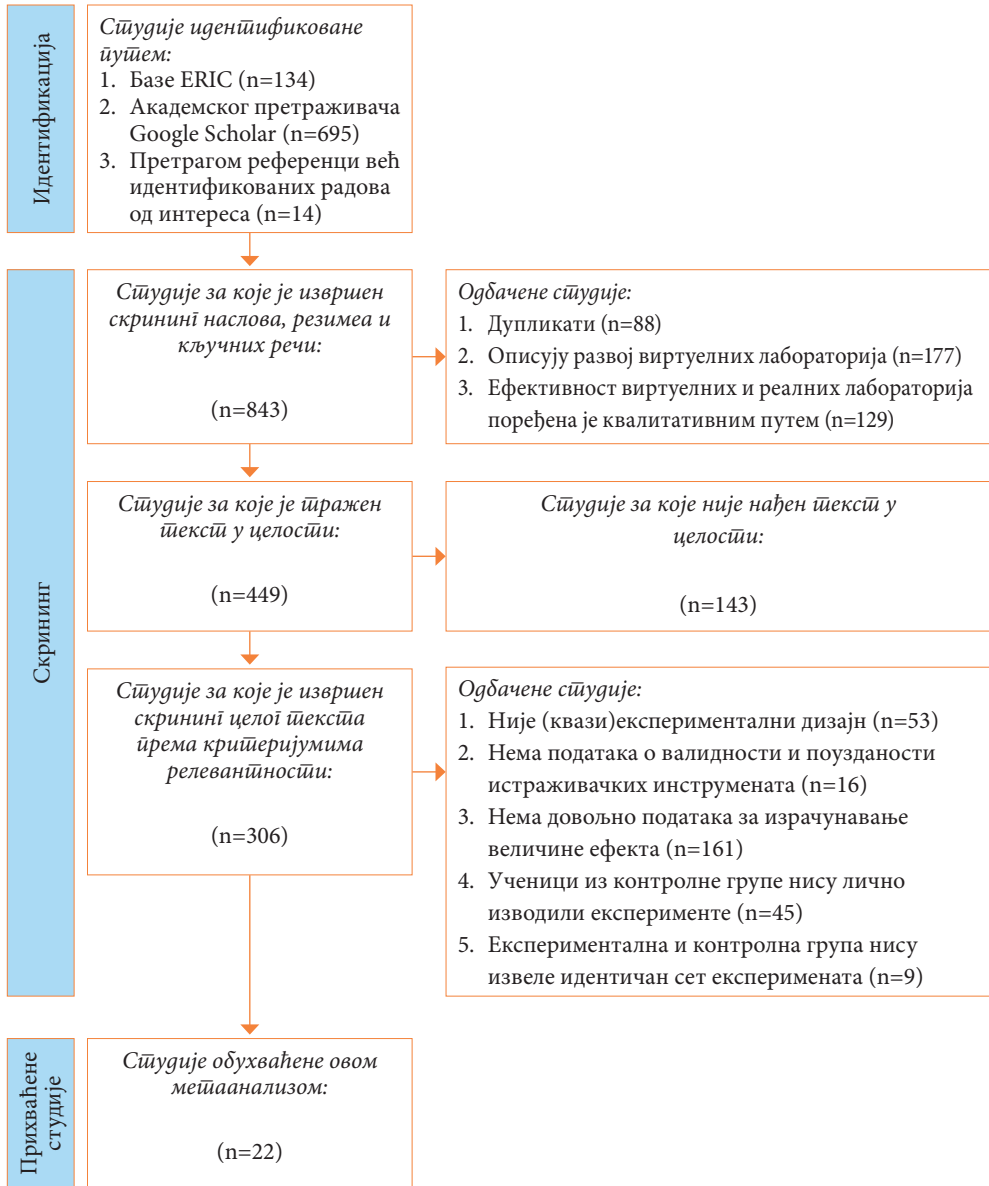
Као што се може видети на Слици 1, студије које су коришћене у овој метаанализи изабране су применом PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) протокола (Moher et al., 2009).

Најпре је током маја 2025. године обављена претрага литературе којом су обухваћени рецензирани радови написани на енглеском језику, публиковани у научним часописима између 2005. и 2025. године. Енглеска литература коришћена је због лаке доступности истраживачима на интернационалном нивоу, док је 2005. постављена као гранична година пошто су виртуелне

лабораторије, пре тога, ретко коришћене у настави природних наука (Ma & Nickerson, 2006). Будући да употреба бар два електронска извора информација значајно смањује могућност да потенцијално релевантне студије остану недетектоване (Ewald et al., 2022), за претрагу литературе коришћени су база података специјализована за област образовања *Educational Resources and Information Center (ERIC)* и академски претраживач *Google Scholar*. Кључне речи претраге односиле су се на лабораторијске приступе чија се ефективност пореди (virtual laboratories AND real laboratories OR hands-on laboratories), наставне предмете из области природних наука (chemistry OR physics OR biology OR science) и афективне факторе на које су најчешће фокусирана педагошка истраживања из ове области (attitude OR motivation OR interest OR enjoyment OR self-efficacy OR anxiety). Уз електронске базе података, према препоруци Ескете и сарадника (Escueta et al., 2020), као додатни извор информација коришћене су и листе референци већ идентификованих релевантних радова. Овим поступцима, укупно су идентификована 843 потенцијално релевантна рада (829 путем електронских база и 14 претрагом референци).

Следећи корак подразумевао је анализу наслова, резимеа и кључних речи поменутих радова, како би се елиминисали дупликати, радови у којима је описан развој виртуелних лабораторија усмерених на унапређивање афективних исхода учења, као и радови у којима је ефективност виртуелних и реалних лабораторија поређена квалитативним путем. Потом, након елиминације радова за које није био доступан цео текст, садржај преосталих 306 радова анализиран је у целости, ради идентификације студија релевантних за ову метаанализу. Очекивало се да релевантне студије имају (квази)експериментални дизајн, да су истраживачки подаци прикупљени коришћењем валидних и поузданих инструмената, те да су прецизно наведени величина узорка и довољно статистичких параметара (аритметичке средине и стандарде девијације или вредности  $t$ -,  $F$ -, или  $\chi^2$  теста) неопходних за израчунавање величине ефекта. Такође је било важно утврдити да су ученици из контролне групе лично извели експерименте у реалној лабораторији (тј. да их као што је то чест случај ради уштеде хемикалија и прибора нису посматрали као демонстрације наставника), те да је сет лабораторијских активности у експерименталној и контролној групи био идентичан. На овај начин, финално су идентификоване 22 релевантне студије.

СЛИКА 1. PRISMA протокол претраге



### Кодирање података

За све студије које су коришћене у овој метаанализи прикупљени су подаци везани за следеће варијабле, које су третиране као потенцијални модератори ефикасности виртуелних лабораторија:

1. Географска локација;
2. Ниво образовања;
3. Наставни предмет из области природних наука;
4. Величина узорка;
5. Трајање лабораторијског рада у недељама;
6. Дизајн виртуелне лабораторије (2D или 3D);
7. Начин рада (индивидуално или групно);
8. Приступ експерименталном раду (истраживачки приступ или приступ вођен наставниковом рецептуром);
9. Начин провере остварености афективних исхода (само након, или и пре и након лабораторијског рада);
10. Тип Ликертове скале који је коришћен (четворостепена или петостепена скала).

Преглед поменутих података дат је у Прилогу 1.

### **Израчунавање величине ефекта**

У педагошким истраживањима, као индекси величине ефекта, најчешће се користе Коеново  $d$  и Хеџесово  $g$  (Kraft, 2020). Међутим, док код студија са 50 или мање учесника примена Коеновог  $d$  доводи до прецењености величине ефекта, вредност Хеџесовог  $g$  не зависи од броја учесника истраживања (Hedges & Olkin, 1985). Последишно, у овој метаанализи која обухвата 17 студија са више од 50 учесника и 5 студија са мањим узорком истраживања, као индекс величине ефекта коришћено је Хеџесово  $g$ . За сваку студију израчуната је по једна  $g$  вредност, која је затим интерпретирана по принципима који се примењују и на Коеново  $d$  (Cohen, 1992). Тако, вредност мања од 0,2 указује на занемарљив, вредност између 0,20 и 0,49 на мали, вредност од 0,50 до 0,79 на умерени, а вредност преко 0,80 на велики ефекат.

### **Провера хетерогености и одабир модела за израчунавање средње вредности Хеџесовог $g$**

Под хетерогеношћу се подразумева да разлике у вредностима ефекта студија које су обухваћене датом метаанализом нису само последица грешке узорковања, већ и суштинских разлика у начину на који су поменуте студије организоване и спроведене (Higgins et al., 2009). Хетерогеност  $g$  вредности

израчунатих у овој метаанализи проверена је помоћу  $Q$  теста и  $I^2$  индекса. Уколико, као што је у пракси најчешћи случај, статистички значајна вредност  $Q$  теста и  $I^2$  вредност већа од 50% укажу на присуство хетерогености, израчунавање средње вредности величине ефекта врши се по моделу случајних ефеката. Овај модел подразумева да, услед поменутих суштинских разлика, права вредност величине ефекта није идентична за све студије обухваћене датом метаанализом, због чега и разлике између израчунатих вредности ефекта нису узроковане искључиво грешком узорковања (Borenstein et al., 2010). С друге стране, у одсуству хетерогености, средња вредност величине ефекта рачуна се по моделу фиксног ефекта. Према овом моделу, разлике у израчунатим вредностима ефекта јављају се искључиво као последица грешке узорковања, док је права вредност величине ефекта једнака за све обухваћене студије (Borenstein et al., 2010). За извођење ове метаанализе, укључујући и проверу хетерогености као и последичну примену адекватног модела за израчунавање средње вредности Хеџесовог  $g$ , коришћен је JASP (JASP Team, 2025) статистички програм.

### Утицај пристрасности објављивања

Пристрасност објављивања, као један од најзначајнијих фактора који негативно утичу на валидност резултата метаанализе, јавља се због чињенице да се радови у којима није нађена статистички значајна разлика у ефективности експерименталног и традиционалног приступа настави, или се традиционални приступ показао значајно ефективнијим, далеко ређе објављују у научним часописима (Higgins et al., 2009). Утицај пристрасности објављивања у овом истраживању проверен је конструкцијом левкастог дијаграма (енгл. funnel plot), уз примену Егеровог (Egger et al., 1997) и Бег и Мазумдаровог (Begg & Mazumdar, 1994) статистичког теста. Одсуство утицаја пристрасности објављивања индиковано је симетријом поменутог дијаграма, потврђеном статистички незначајним резултатима наведених тестова.

### Метарегресија

Да би се утврдило које од 10 претходно дефинисаних варијабли имају значајан утицај на хетерогеност израчунатих  $g$  вредности, тј. које од њих представљају модераторе ефективности виртуелних лабораторија, примењена је проста

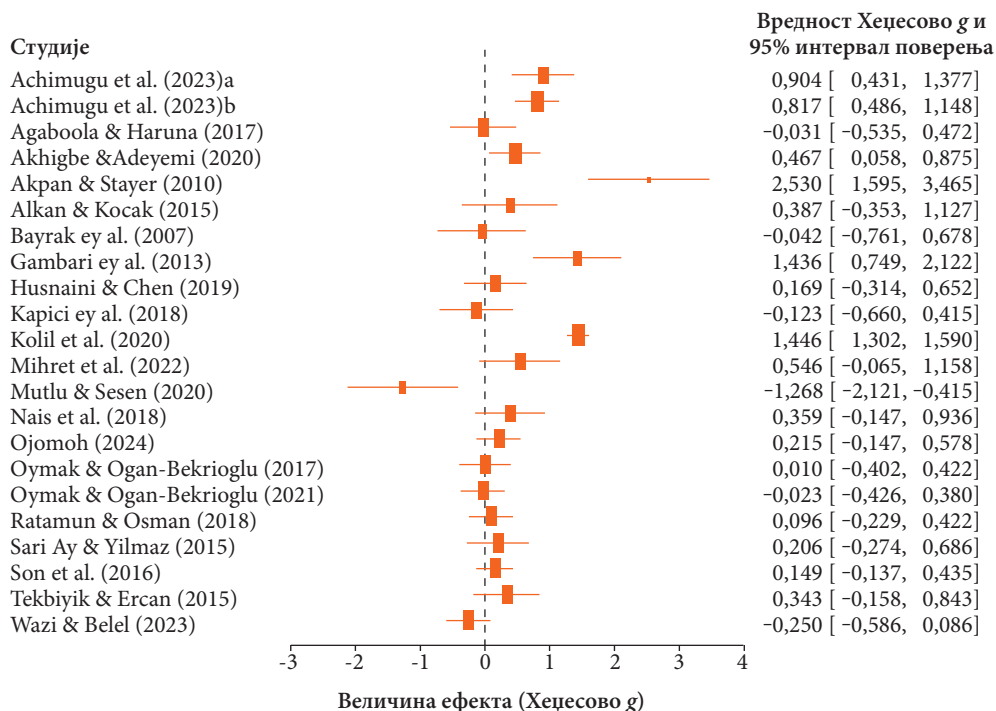
(single-variable) метарегресиона анализа. Овај тип анализе захтева минимум десет студија по варијабли (Higgins et al., 2019) док је, према Боренштајну (Borenstein et al., 2017), ниво значајности потребно поставити на  $p < 0,100$ .

## РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Од 22 студије које су обухваћене овом метаанализом, по осам је реализовано у Африци и Европи, четири студије су спроведене у Азији, а две у Северној Америци. Такође, 13 студија је организовано на средњошколском нивоу, седам на нивоу универзитета, а две студије су биле фокусиране на ученике основних школа. Метаанализом је обухваћено укупно 2967 ученика и студената, при чему је 50% студија имало између педесет једног и 100 учесника. Поред тога, 11 студија било је везано за физику, шест за хемију, четири за биологију, а једна студија је комбиновала градиво неколико природних наука. Лабораторијски рад трајао је између једне и 16 недеља, при чему су најбројније биле студије које су садржале лабораторијске активности реализоване од једне до четири недеље (14 студија). У 20 студија коришћене су виртуелне лабораторије 2D дизајна, док су у две студије примењене 3D виртуелне лабораторије. У 13 студија лабораторијске активности су реализоване индивидуално, а у девет у оквиру група. Такође, у 15 студија су ученици експериментални рад изводили пратећи корак по корак рецептуру наставника, док је у 7 студија примењен истраживачки приступ. Коначно, у 18 студија је испуњеност афективних исхода учења проверена и пре и након завршетка лабораторијског рада, док је у четири студије то учињено само по окончању лабораторијских активности. Притом је за процену испуњености поменутих исхода у 14 студија коришћена петостепена, а у осам четворостепена Ликертова скала.

Вредност Хеџесовог  $g$ , уз одговарајући 95% интервал поверења, свих студија обухваћених овом метаанализом приказана је у оквиру форест дијаграма на Слици 2. Као што се може видети, шест студија имало је негативну вредност Хеџесовог  $g$ , док су  $g$  вредности за 16 студија биле позитивне.

СЛИКА 2. Форест дијаграм



Пошто су статистички значајна вредност  $Q$  теста ( $p=0,007$ ) и  $I^2$  вредност од 89,36% указале на присуство хетерогености, средња вредност Хеџесовог  $g$  израчуната је по моделу случајних ефеката. Добијени резултати (Табела 1) показују да, у односу на реалне лабораторије, виртуелне лабораторије у просеку имају мали, позитиван и статистички значајан ефекат на афективне исходе учења природних наука.

ТАБЕЛА 1. Резултати метаанализе након примене модела случајних ефеката

Средња вредност Хеџесовог $g$	SE	z	p	95-процентни интервал поверења	
				Доња граница	Горња граница
0,370	0,137	2,695	0,007	0,101	0,639

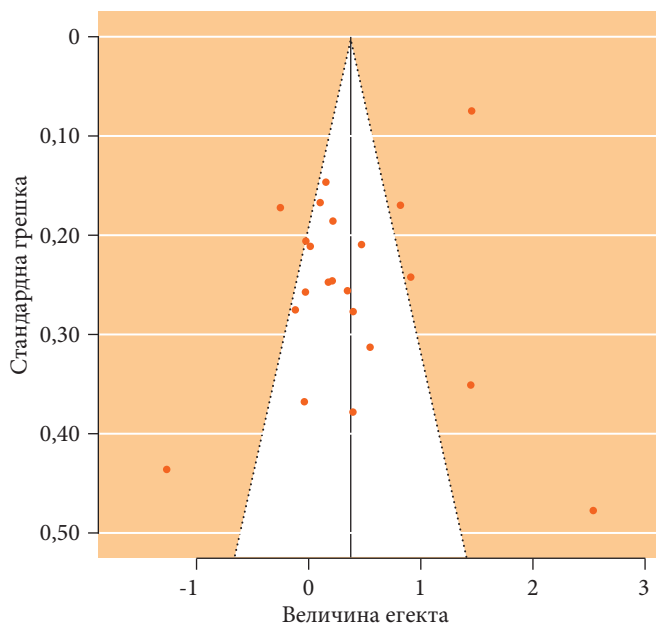
Као што је већ истакнуто, у досадашњим метаанализама које су везане за примену виртуелних и реалних лабораторија у настави природних наука упоређивана је само укупна ефективност ових лабораторијских приступа и њихов утицај на академска постигнућа ученика, при чему је у највећем броју

случајева установљен умерен (Santos & Prudente, 2022) или велики (Antonio & Castro 2023; Syahwin et al., 2022) позитиван и статистички значајан ефекат виртуелних лабораторија. Резултати ове метаанализе надограђују налазе поменутих истраживања показујући да, иако је њихов позитиван ефекат у овом случају нешто мањи, виртуелне лабораторије и у домену унапређивања афективних исхода учења природних наука поседују значајно већи потенцијал од реалних лабораторија.

Симетричност левкастог дијаграма (Слика 3) и статистички незначајни резултати Егеровог ( $p=0,850$ ) и Бег и Мазумдаровог теста ( $p=0,178$ ) указују на одсуство негативног ефекта пристрасности објављивања на валидност резултата ове метаанализе.

Коначно, резултати метарегресије указују на то да географска локација ( $p=0,105$ ), величина узорка ( $p=0,306$ ), ниво образовања ( $p=0,825$ ), тип наставног предмета ( $p=0,816$ ), дужина трајања лабораторијског рада ( $p=0,432$ ), његово индивидуално или групно извођење ( $p=0,674$ ), дизајн виртуелног окружења ( $p=0,278$ ) и начин провере остварености афективних исхода учења ( $p=0,298$ ) не представљају модераторе ефективности виртуелних лабораторија.

СЛИКА 3. Левкасти дијаграм



Истовремено, као модератор је идентификован тип скале на којој је вршена процена испуњености афективних исхода ( $p < 0,001$ ), при чему је очекивана средња вредност Хеџесовог  $g$  за студије засноване на примени петостепене Ликертове скале за 0,817 нижа од очекиване средње вредности Хеџесовог  $g$  за студије засноване на коришћењу четворостепене Ликертове скале. Образложење оваквог резултата може бити повезано са чињеницом да, за разлику од четворостепене скале на којој одговори припадају или позитивној или негативној категорији, петостепена скала садржи и опцију неутралног одговора. Наиме, установљено је да ученици, чији ставови нису неутрални, често бирају ову опцију у ситуацијама када сматрају да њихови одговори нису социјално пожељни (Kankaraš & Capocchi, 2024). Будући да наставници и други образовни ауторитети константно истичу значај реалног лабораторијског рада као окоснице квалитетне наставе у области природних наука, могуће је да је одређени број ученика који има позитиван однос према виртуелним лабораторијама покушао да „ублажи” свој став одабиром неутралног одговора што је, на концу, довело да смањења средње величине ефекта виртуелних лабораторија приликом коришћења петостепене Ликертове скале.

Други модератор идентификован у овом истраживању представља приступ експерименталном раду ( $p = 0,031$ ), при чему је очекивана средња вредност Хеџесовог  $g$  за студије засноване на истраживачком приступу у коме ученици самостално одређују редослед експерименталних корака за 0,589 нижа од очекиване средње вредности Хеџесовог  $g$  за студије базиране на праћењу наставникове рецептуре. Овакав резултат у складу је са претходним налазима из области хемије према којима ученици преферирају приступ вођен наставниковом рецептуром у односу на истраживачки приступ и сматрају да он у већој мери доприноси успешном стицању нових знања (Chatterjee et al., 2009). Дати резултат је и у сагласју са налазом из области биологије према коме се вођени приступ показао значајно успешнијим од истраживачког у домену подстицања развоја самоефикасности ученика (Gormally et al., 2009). Ови резултати добрим делом произлазе из чињенице да су експерименталне активности засноване на истраживачком приступу у когнитивном смислу далеко захтевније од вођеног лабораторијског рада (Kang & Keinonen, 2018). Такође, готово је извесно да ће током самосталног проналажења коректне секвенце експерименталних корака ученици у неком тренутку доживети неуспех, праћен осећајем разочараности и страха од негативних последица

незавршавања експеримента у предвиђеном року. С друге стране, када наставник већ одреди коректну секвенцу експерименталних корака, ученици далеко лакше остварују предвиђене исходе лабораторијског рада, што доприноси развоју позитивних емоција, али може довести и до осећаја неоправдане супериорности (Gormally et al., 2009).

## ■ ЗАКЉУЧАК

Научна писменост, као једна од кључних компетенција за целоживотно учење, подразумева не само познавање научних појмова и процеса, већ и критичко мишљење, разумевање природе науке и развијање афективних аспеката – ставова, уверења и мотивације за бављење науком. Циљ овог истраживања био је да се, применом метаанализе, установи да ли су виртуелне лабораторије ефективније од реалних лабораторија у домену унапређивања афективних исхода учења природних наука. Такође, циљ је био и да се, коришћењем метарегионе анализе, идентификују варијабле које представљају модераторе ефективности виртуелних лабораторија.

Резултати спроведене метаанализе показују да виртуелне лабораторије, у поређењу са реалним лабораторијама, у просеку имају мали, позитиван и статистички значајан ефекат на афективне исходе учења природних наука. Међутим, резултати, такође, показују да виртуелне лабораторије у домену унапређивања афективних исхода учења природних наука поседују значајно већи потенцијал од реалних лабораторија. Ови налази упућују на то да дигитално окружење, када је добро осмишљено и педагошки интегрисано, може у већој мери допринети развоју интересовања, мотивације и позитивних ставова ученика према природним наукама. Ипак, важно је истаћи да виртуелне лабораторије не треба посматрати као замену, већ као допуну традиционалним лабораторијским активностима. Остваривање исхода учења, посебно исхода из афективног домена, није могуће у потпуности постићи без директног и реалног односа ученика са материјом. Неопходно је креирати подстицајније окружење за учење које истовремено развија и когнитивне и афективне аспекте научне писмености ученика.

Резултати метарегије указују на то да географска локација, величина узорка, ниво образовања, тип наставног предмета, дужина трајања

лабораторијског рада, његово индивидуално или групно извођење, дизајн виртуелног окружења и начин провере остварености афективних исхода учења не представљају модераторе ефикасности виртуелних лабораторија. Ипак, идентификовани су и значајни модератори – тип скале за процену афективних исхода и приступ експерименталном раду – који могу утицати на добијене резултате.

Метаанализе омогућавају како истраживачима, тако и наставницима да на основу синтезе резултата великог броја студија дођу до поузданих закључака о ефикасности различитих наставних метода. Такође, овакве анализе омогућавају да се утврди неусаглашеност међу резултатима истраживања и скрене пажњу на теме и проблеме које је потребно додатно истражити. Подаци које смо добили у нашем истраживању показују да је потребно да истраживачи посебну пажњу посвете креирању инструмента за процену ефеката одређених типова лабораторија на афективне исходе учења. Такође, резултати указују на потребу за додатним истраживањем експерименталних активности, односно требало би додатно испитати улоге истраживачког приступа или приступа вођеног наставниковом рецептуром у остваривању афективних исхода учења.

На крају, важно је истаћи да се приликом разматрања резултата нашег истраживања као и датих препорука, морају узети у обзир и извесна ограничења ове метаанализе. Најпре, претрага литературе изведена је у оквиру само два електронска извора података (базе ERIC и академског претраживача Google Scholar), због чега постоји могућност да је одређени број релевантних студија, које су индексирани у другим електронским изворима, као што су базе Scopus и Web of Science, изостављени из анализе. Такође, због критеријума чији је циљ био да осигурају висок квалитет коришћене литературе путем ригорозног процеса рецензирања, као и њену лаку доступност читаоцима на интернационалном нивоу, могуће је да је из анализе изостављен и изван број релевантних студија презентованих у оквиру „сиве” литературе, као и литературе која није написана на енглеском језику. Коначно, ограничење представља и то што су у овом истраживању афективни исходи учења третирани као један јединствени конструкт будући да, због веома малог броја тренутно доступних релевантних студија, метааналитичким путем за сада није могуће испитати утицај виртуелног и реалног лабораторијског рада на различите појединачне афективне исходе учења природних наука.



















Најомена. Ово истраживање финансирао је Министарство науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије (Уговори број 451-03-136/2025-03/200288 и 451-03-136/2025-03/200018). Истраживање се односи на циљ одрживог развоја број 4 (квалитетно образовање) из 2030 Агенде Уједињених Нација за одрживи развој.

## КОРИШЋЕНА ЛИТЕРАТУРА

- 📖 Achimugu, L., Achufusi, N. N., Negedu, S. A., & Salami, D. (2023a). Adapting to virtual laboratory teaching strategy during Covid-19: Its effects on physics students' attitude in Kogi state, Nigeria. *Journal of Science, Technology and Mathematics Pedagogy*, 1(1), 97–108.
- 📖 Achimugu, L., Oguche, M. D., Igboegwu, N. E., & Ben, K. (2023b). Improving students' attitude towards practical chemistry using virtual laboratory package: Implications for global security challenges. *Scope*, 13(2), 981–988.
- 📖 Agboola, O. S., & Haruna, J. O. (2017). Effects of physical and virtual laboratory experimentation on students' learning outcomes in basic science in Ife central local government area, Osun state. *Journal of Curriculum and Instruction*, 10(2), 186–198.
- 📖 Ahn, E. J., & Kang, H. (2018). Introduction to systematic review and meta-analysis. *Korean Journal of Anesthesiology*, 71(2), 103–112. DOI: 10.4097/kjae.2018.71.2.103
- 📖 Aikenhead, G. S. (2006). *Science education for everyday life: Evidence-based practice*. Teachers College Press.
- 📖 Akhigbe, J. N., & Adeyemi, A. E. (2020). Using gender responsive collaborative learning strategy to improve students' achievement and attitude towards learning science in virtual and hands-on laboratory environment. *Journal of Pedagogical Research*, 4(3), 241–261. DOI: 10.33902/JPR.2021063948
- 📖 Akpan, J., & Strayer, J. (2010). Which comes first: The use of computer simulation of frog dissection or conventional dissection as academic exercise? *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 29(2), 113–138.
- 📖 Ali, N., Ullah, S., & Khan, D. (2022). Interactive laboratories for science education: A subjective study and systematic literature review. *Multimodal Technologies and Interaction*, 6(10), Article 85. DOI: 10.3390/mti6100085
- 📖 Alkan, F., & Kocak, C. (2015). Chemistry laboratory applications supported with simulation. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 176, 970–976.
- 📖 Antonio, R. P., & Castro, R. R. (2023). Effectiveness of virtual simulations in improving secondary students' achievement in physics: A meta-analysis. *International Journal of Instruction*, 16(2), 533–556. DOI: 10.29333/iji.2023.16229a
- 📖 Asiksoy, G. (2023). Effects of virtual lab experiences on students' achievement and perceptions of learning physics. *International Journal of Online & Biomedical Engineering*, 19(11), 31–41. DOI: 10.3991/ijoe.v19i11.39049
- 📖 Bayrak, B., Kanli, U., & Ingec, S. K. (2007). To compare the effects of computer-based learning and the laboratory-based learning on students' achievement regarding electric circuits. *Turkish Online Journal of Educational Technology*, 6(1), Article 2.
- 📖 Begg, C. B., & Mazumdar, M. (1994). Operating characteristics of a rank correlation test for publication bias. *Biometrics*, 50(4), 1088–1101. DOI: 10.2307/2533446
- 📖 Bloom, B. S., Krathwohl, D. R., & Masia, B. B. (1964). *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Handbook II: Affective domain*. David McKay Company.

- 📖 Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P., & Rothstein, H. R. (2010). A basic introduction to fixed-effect and random-effects models for meta-analysis. *Research Synthesis Methods*, 1(2), 97–111. DOI: 10.1002/jrsm.12
- 📖 Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. (2017). *Regression in meta-analysis*. Biostat.
- 📖 Brinson, J. R. (2015). Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research. *Computers & Education*, 87(4), 218–237. DOI: 10.1016/j.compedu.2015.07.003
- 📖 Byukusenge, C., Nsanganwimana, F., & Tarmo, A. P. (2022). Effectiveness of virtual laboratories in teaching and learning biology: A review of literature. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 21(6), 1–17. DOI: 10.26803/ijlter.21.6.1
- 📖 Chan, P., Van Gerven, T., Dubois, J.-L., & Bernaerts, K. (2021). Virtual chemical laboratories: A systematic literature review of research, technologies and instructional design. *Computers and Education Open*, 2(10), Article 100053. DOI: 10.1016/j.caeo.2021.100053
- 📖 Chatterjee, S., Williamson, V. M., McCann, K., & Peck, M. L. (2009). Surveying students' attitudes and perceptions toward guided-inquiry and open-inquiry laboratories. *Journal of Chemical Education*, 86(12), 1427–1432. DOI: 10.1021/ed086p1427
- 📖 Cohen, J. (1992). Quantitative methods in psychology: A power primer. *Psychological Bulletin*, 112(1), 155–159. DOI: 10.1037/0033-2909.112.1.155
- 📖 Daineko, Y., Dmitriyev, V., & Ipalakova, M. (2017). Using virtual laboratories in teaching natural sciences: An example of physics courses in university. *Computer Applications in Engineering Education*, 25(1), 39–47. DOI: 10.1002/cae.21777
- 📖 Egger, M., Smith, G. D., Schneider, M., & Minder, C. (1997). Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *The BMJ*, 315(7109), 629–634. DOI:10.1136/bmj.315.7109.629
- 📖 Escueta, M., Nickow, A. J., Oreopoulos, P., & Quan, V. (2020). Upgrading education with technology: Insights from experimental research. *Journal of Economic Literature*, 58(4), 897–996. DOI:10.1257/jel.20191507
- 📖 Ewald, H., Klerings, I., Wagner, G., Heise, T. L., Stratil, J. M., Lhachimi, S. K., Hemkens, L. G., Gartlehner, G., Armijo-Olivo, S., & Nussbaumer-Streit, B. (2022). Searching two or more databases decreased the risk of missing relevant studies: A meta research study. *Journal of Clinical Epidemiology*, 149, 154–164. DOI: 10.1016/j.jclinepi.2022.05.022
- 📖 Gambari, A. I., Falode, O. C., Fagbemi, P. O., & Idris, B. (2013). Efficacy of virtual laboratory on the achievement and attitude of secondary school students in physics practical. *Research in Curriculum Studies*, 9(1), 9–20.
- 📖 George-Williams, S. R., Ziebell, A. L., Kitson, R. R., Coppo, P., Thompson, C. D., & Overton, T. L. (2018). What do you think the aims of doing a practical chemistry course are? A comparison of the views of students and teaching staff across three universities. *Chemistry Education Research and Practice*, 19(2), 463–473. DOI: 10.1039/C7RP00177K
- 📖 Gormally, C., Brickman, P., Hallar, B., & Armstrong, N. (2009). Effects of inquiry-based learning on students' science literacy skills and confidence. *International Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*, 3(2), Article 16. DOI: 10.20429/ijstl.2009.030216
- 📖 Hedges, L., & Olkin, I. (1985). *Statistical methods for meta-analysis*. Academic Press.
- 📖 Herga, N. R., Čagran, B., & Dinevski, D. (2016). Virtual laboratory in the role of dynamic visualisation for better understanding of chemistry in primary school. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 12(3), 593–608. DOI: 10.12973/eurasia.2016.1224a
- 📖 Higgins, J. P., Thompson, S. G., & Spiegelhalter, D. J. (2009). A re-evaluation of random-effects meta-analysis. *Journal of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society*, 172(1), 137–159. DOI:10.1111/j.1467-985X.2008.00552.x

- 📖 Higgins, J., Thomas, J., Chandler, J., Cumpston, M., Li, T., Page, M., & Welch, V. A. (Eds.) (2019). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- 📖 High Level Group on Science Education (2007). *Science Now: A renewed pedagogy for the future of Europe*. Office for Official Publications of the European Communities. <https://www.eesc.europa.eu/sites/default/files/resources/docs/rapportrocardfinal.pdf>
- 📖 Hornsey, M. J. (2020). Why facts are not enough: Understanding and managing the motivated rejection of science. *Current Directions in Psychological Science*, 29(6), 583–591. DOI: 10.1177/0963721420969364
- 📖 Husnaini, S. J., & Chen, S. (2019). Effects of guided inquiry virtual and physical laboratories on conceptual understanding, inquiry performance, scientific inquiry self-efficacy, and enjoyment. *Physical Review Physics Education Research*, 15(1), Article 010119. DOI: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010119
- 📖 JASP Team. (2025). *JASP* (Version 0.95.3) [Computer software]. <https://jasp-stats.org>.
- 📖 Jošić, S., Teodorović, J., i Jakšić, I. (2021). Faktori postignuća učenika iz matematike i prirodnih nauka: TIMSS 2019 u Srbiji. U I. Đerić, N. Gutvajin, S. Jošić i N. Ševa (ur.), *TIMSS 2019 u Srbiji: rezultati međunarodnog istraživanja postignuća učenika četvrtog razreda osnovne škole iz matematike i prirodnih nauka* (str. 45–65). Institut za pedagoška istraživanja.
- 📖 Kang, J., & Keinonen, T. (2018). The effect of student-centered approaches on students' interest and achievement in science: Relevant topic-based, open and guided inquiry-based, and discussion-based approaches. *Research in Science Education*, 48(4), 865–885. DOI: 10.1007/s11165-016-9590-2
- 📖 Kankaraš, M., & Capocchi, S. (2025). Neither agree nor disagree: Use and misuse of the neutral response category in Likert-type scales. *Metron*, 83(1), 111–140. DOI: 10.1007/s40300-024-00276-5
- 📖 Kapici, H. O., Koca, E. E., & Akcay, H. (2018). Effects of writing to learn activities in hands-on and virtual laboratory environments. *The Eurasia Proceedings of Educational and Social Sciences*, 9, 48–51.
- 📖 Kolil, V. K., Muthupalani, S., & Achuthan, K. (2020). Virtual experimental platforms in chemistry laboratory education and its impact on experimental self-efficacy. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 17(1), Article 30. DOI: 10.1186/s41239-020-00204-3
- 📖 Kraft, M. A. (2020). Interpreting effect sizes of education interventions. *Educational Researcher*, 49(4), 241–253. DOI:10.3102/0013189X20912798
- 📖 Lalić-Vučetić, N., & Mirkov, S. (2023). Motivacija za učenje prirodnih nauka i matematike: istraživanje TIMSS u Srbiji. *Inovacije u nastavi*, 36(3), 1–19.
- 📖 Ma, J., & Nickerson, J. V. (2006). Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review. *ACM Computing Surveys*, 38(3), Article 7. DOI:10.1145/1132960.1132961
- 📖 Mihret, Z., Alemu, M., & Assefa, S. (2022). Effects of blending virtual and real laboratory experimentation on pre-service physics teachers' attitudes toward physics electricity and magnetism laboratories. *Science Education International*, 33(3), 313–322. DOI: 10.33828/sei.v33.i3.7
- 📖 Milanović-Nahod, S., Šaranović-Božanović, N. i Šišović, D. (2003). Uloga pojmova u nastavi prirodnih nauka. *Zbornik Instituta za pedagoška istraživanja*, 35, 111–130.
- 📖 Milinković, J., Jablanović Marušić, M. i Dabić Boričić, M. (2017). Postignuće učenika iz matematike: glavni nalazi, trendovi i nastavni program. U M. Marušić Jablanović, N. Gutvajin i I. Jakšić (ur.), *TIMSS 2015 u Srbiji* (str. 27–50). Institut za pedagoška istraživanja.
- 📖 Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G., The PRISMA Group. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLOS Medicine*, 6(7), Article e1000097. DOI: 10.1371/journal.pmed.1000097
- 📖 Mutlu, A., & Sesen, B. A. (2020). Comparison of inquiry-based instruction in real and virtual laboratory environments: Prospective science teachers' attitudes. *International Journal of Curriculum and Instruction*, 12(2), 600–617.

-  Nais, M. K., Sugiyarto, K. H., & Ikhsan, J. (2018). The profile of students' self-efficacy using virtual chem-lab in hybrid learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1097(1), Article 012060. DOI: 10.1088/1742-6596/1097/1/012060
-  Nicol, C. B., Gakuba, E., & Habinshuti, G. (2022). Students' opinions, views, and perceptions of science laboratory learning: A systematic review of the literature. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(3), Article em2087. DOI: 10.29333/ejmste/11793
-  OECD (2016). *PISA 2015 Results (Volume I): Excellence and equity in education*. OECD Publishing.
-  Ojomoh, V. K. (2024). Effect of the virtual laboratory on the self-efficacy of students in thermal physics undergraduate course. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 6(8), 1807–1812. DOI: 10.56726/IRJMETS60984
-  Osborne, J., Simon, S., & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: A review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049–1079. DOI: 10.1080/0950069032000032199
-  Oymak, O., & Ogan-Bekiroglu, F. (2017). Comparison of students' learning and attitudes in technology supported and laboratory-based environments. *The Eurasia Proceedings of Educational and Social Sciences*, 6, 109–113.
-  Oymak, O., & Ogan-Bekiroglu, F. (2021). Comparison of students' learning and attitudes in physical versus virtual manipulatives using inquiry-based instruction. *IAFOR Journal of Education: Technology in Education*, 9(4), 23–42.
-  Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrović, V. M., & Jovanović, K. (2016). Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Computers & Education*, 95(4), 309–327. DOI: 10.1016/j.compedu.2016.02.002
-  Priest, S. J., Pyke, S. M., & Williamson, N. M. (2014). Student perceptions of chemistry experiments with different technological interfaces: A comparative study. *Journal of Chemical Education*, 91(11), 1787–1795. DOI: 10.1021/ed400835h
-  Pyatt, K., & Sims, R. (2012). Virtual and physical experimentation in inquiry-based science labs: Attitudes, performance and access. *Journal of Science Education and Technology*, 21(1), 133–147. DOI: 10.1007/s10956-011-9291-6
-  Ratamun, M. M., & Osman, K. (2018). The effectiveness comparison of virtual laboratory and physical laboratory in nurturing students' attitude towards chemistry. *Creative Education*, 9(9), 1411–1425. DOI: 10.4236/ce.2018.99105
-  Rutjens, B. T., Heine, S. J., Sutton, R. M., & van Harreveld, F. (2018). Attitudes towards science. In J. M. Olson (Ed.), *Advances in experimental social psychology* (pp. 125–165). Elsevier Academic Press. DOI: 10.1016/bs.aesp.2017.08.001
-  Santos, M. L., & Prudente, M. (2022). Effectiveness of virtual laboratories in science education: A meta-analysis. *International Journal of Information and Education Technology*, 12(2), 150–156. DOI: 10.18178/ijiet.2022.12.2.1598
-  Sari Ay, O., & Yilmaz, S. (2015). Effects of virtual experiments-oriented science instruction on students' achievement and attitude. *Elementary Education Online*, 14(2), 609–620. DOI: 10.17051/ieo.2015.25820
-  Son, J. Y. (2016). Comparing physical, virtual, and hybrid flipped labs for general education biology. *Online Learning*, 20(3), 228–243.
-  Swastika, S., Gupta, S., & Abuhasan, W. (2024). Role of virtual lab in inculcating scientific attitude & self-efficacy: Meta analysis. *Library Progress International*, 44(3), 161–171. DOI: 10.48165/bapas.2024.44.2.1
-  Syahwin, S., Hardianti, T., & Fitriana, S. (2022). The effect of guided inquiry learning by virtual laboratory assistance in physics learning in Indonesian senior high schools: A meta-analysis. *International Journal of Instruction*, 15(4), 101–114. DOI: 10.29333/iji.2022.1546a
-  Ševkušić, S. i Kartal, V. (2017). Postignuća učenika iz prirodnih nauka – glavni nalazi, trendovi i nastavni program. U M. Marušić Jablanović, N. Gutvajn i I. Jakšić (ur.), *TIMSS 2015 – rezultati međunarodnog*

*istraživanja postignuća učenika 4. razreda osnovne škole iz matematike i prirodnih nauka* (str. 51–65). Institut za pedagoška istraživanja.

- 📖 Taber, K. S. (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(2), 156–168. DOI: 10.1039/C3RP00012E
- 📖 Taramopoulos, A., Psillos, D., & Hatzikraniotis, E. (2012). Teaching electric circuits by guided inquiry in virtual and real laboratory environments. In A. Jimoyiannis (Ed.), *Research on e-learning and ICT in education* (pp. 211–224). Springer Nature. DOI: 10.1007/978-1-4614-1083-6\_16
- 📖 Tas, Y., & Cakir, B. (2014). An investigation of science active learning strategy use in relation to motivational beliefs. *Mevlana International Journal of Education*, 4(1), 55–66. DOI: 10.13054/mije.13.55.4.1
- 📖 Tekbiyik, A., & Ercan, O. (2015). Effects of the physical laboratory versus the virtual laboratory in teaching simple electric circuits on conceptual achievement and attitudes towards the subject. *International Journal of Progressive Education*, 11(3), 77–89.
- 📖 Tsai, C. C., Ho, H. N. J., Liang, J. C., & Lin, H. M. (2011). Scientific epistemic beliefs, conceptions of learning science and self-efficacy of learning science among high school students. *Learning and Instruction*, 21(6), 757–769. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2011.05.002
- 📖 Tsihouridis, C., Vavougiou, D., Batsila, M., & Ioannidis, G. S. (2019). The timeless controversy between virtual and real laboratories in science education – “And the winner is...”. In: M. E. Auer, & T. Tsiatsos, (Eds.), *The challenges of the digital transformation in education: Proceedings of the 21st International conference on interactive collaborative learning (ICL2018)* (pp. 620–631). Springer Nature. DOI: 10.1007/978-3-030-11935-5\_59
- 📖 Waziri, K., & Belel, U. F. (2023). Comparative effect of virtual laboratory and physical laboratory practicals on the academic achievement and the attitude of biology students in senior secondary school, Adamawa state, Nigeria. *International Journal of Education and Social Science Research*, 6(4), 102–113.
- 📖 Winkelman, K., Keeney-Kennicutt, W., Fowler, D., & Macik, M. (2017). Development, implementation, and assessment of general chemistry lab experiments performed in the virtual world of second lif. *Journal of Chemical Education*, 94(7), 849–858. DOI: 10.1021/acs.jchemed.6b00733

ПРИЛОГ 1. Карактеристике студија које су коришћене у овој метаанализи

Студија	Географска локација	Ниво образовања	Наставни предмет	Величина узорка	Трајање интервенције (у недељама)	Дизајн виртуелне лабораторије	Начин рада	Пристап експерименталном раду	Начин провере	Тип Ликертове скале
Achimugu et al. (2023) <sup>a</sup>	Африка	Средња школа	Физика	88	4	2D	Индивидуални	Вођени	Пре и након интервенције	Четворостепена
Achimugu et al. (2023) <sup>b</sup>	Африка	Средња школа	Физика	176	4	2D	Индивидуални	Вођени	Пре и након интервенције	Четворостепена
Agaboola & Naruna (2017)	Африка	Средња школа	Природне наука	62	4	2D	Групни	Вођени	Пре и након интервенције	Петостепена
Akhighbe & Adeyemi (2020)	Африка	Средња школа	Биологија	100	10	2D	Индивидуални	Вођени	Пре и након интервенције	Петостепена
Akrap & Strayer (2010)	Северна Америка	Средња школа	Биологија	35	1	2D	Групни	Вођени	Пре и након интервенције	Четворостепена
Alkan & Kocak (2015)	Европа	Универзитет	Хемија	31	1	2D	Индивидуални	Вођени	Пре и након интервенције	Петостепена
Bayrak et al. (2007)	Европа	Средња школа	Физика	28	4	3D	Индивидуални	Вођени	Након интервенције	Петостепена
Gambari et al. (2013)	Африка	Средња школа	Физика	56	4	2D	Индивидуални	Вођени	Пре и након интервенције	Четворостепена
Husnaini & Chen (2019)	Азија	Средња школа	Физика	68	1	2D	Групни	Истраживачки	Пре и након интервенције	Петостепена
Karici et al. (2018)	Европа	Универзитет	Хемија	52	4	2D	Групни	Истраживачки	Након интервенције	Петостепена
Kolil et al. (2020)	Азија	Универзитет	Хемија	1225	1	3D	Групни	Вођени	Пре и након интервенције	Четворостепена

Студија	Географска локација	Ниво образовања	Наставни предмет	Величина узорка	Трајање интервенције (у недељама)	Дизајн виртуелне лабораторије	Начин рада	Пристап експерименталном раду	Начин провере	Тип Ликертове скале
Mihret et al. (2022)	Африка	Универзитет	Физика	47	16	2D	Индивидуални	Истраживачки	Пре и након интервенције	Петостепена
Mutlu & Sesen (2020)	Европа	Универзитет	Хемија	34	8	2D	Групни	Истраживачки	Пре и након интервенције	Петостепена
Nais et al. (2018)	Азија	Средња школа	Хемија	52	1	2D	Индивидуални	Вођени	Након интервенције	Четворостепена
Ojomoh (2024)	Африка	Универзитет	Физика	120	5	2D	Индивидуални	Вођени	Пре и након интервенције	Четворостепена
Oymak & Ogan-Bektoglu (2017)	Европа	Средња школа	Физика	89	8	2D	Групни	Истраживачки	Након интервенције	Петостепена
Oymak & Ogan-Bektoglu (2021)	Европа	Средња школа	Физика	96	8	2D	Групни	Истраживачки	Пре и након интервенције	Петостепена
Rataman & Osman (2018)	Азија	Средња школа	Хемија	147	3	2D	Групни	Вођени	Пре и након интервенције	Четворостепена
Sari Ay & Yilmaz (2015)	Европа	Основна школа	Физика	69	2	2D	Индивидуални	Вођени	Пре и након интервенције	Петостепена
Son et al. (2016)	Северна Америка	Универзитет	Биологија	187	8	2D	Индивидуални	Истраживачки	Пре и након интервенције	Петостепена
Tekbiyik & Ergun (2015)	Европа	Основна школа	Физика	65	5	2D	Индивидуални	Вођени	Пре и након интервенције	Петостепена
Waziri & Bebel (2023)	Африка	Средња школа	Биологија	140	4	2D	Индивидуални	Вођени	Пре и након интервенције	Петостепена