

УДК 373.3:37.091.33-027.22:001.891

DOI: 10.31652/3041-2439-2026-6-7

Експериментальна діяльність учнів початкової школи: структура та динаміка наукових досліджень (за матеріалами бази даних Scopus 1990-2025 рр.)

Володимир Староста 

Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет», м. Ужгород, Україна

Анотація. Актуальність дослідження зумовлена зростанням ролі експериментальної діяльності як важливого компоненту STEM-освіти та формування дослідницьких умінь учнів початкових класів. Метою статті є виявлення сучасних тенденцій, тематичної структури та перспектив розвитку досліджень експериментальної діяльності учнів у початковій школі. Для досягнення мети використано бібліометричний, кластерний та контент-аналіз. Емпіричну базу дослідження становлять 428 наукових публікацій (1990-2025 рр.), індексованих у базі Scopus. Наукова новизна статті полягає у комплексному бібліометричному та змістовому аналізі досліджень експериментальної діяльності учнів початкової школи, що дозволило отримати нові результати як теоретичного, так і прикладного характеру, а саме: уперше здійснено інтегрований аналіз наукового поля експериментальної діяльності молодших школярів на основі бази даних Scopus (n=428) із застосуванням інструментарію VOSviewer; виявлено та науково обґрунтовано трьохкомпонентну структуру досліджень, що включає: концептуальний, педагогічний, процесуальний; доведено різну функціональну роль ключових понять у науковій мережі: STEM-освіта – як концептуальне ядро; учень (primary school students) – як центр інтеграції; експериментування – як міжкластерний зв'язувальний механізм. Уточнено сучасні тенденції розвитку досліджень на основі overlay-аналізу, зокрема: перехід від теоретичних моделей до практико-орієнтованих підходів; зростання ролі цифрових технологій (сенсори, цифрові лабораторії, мобільні додатки); інтеграція inquiry-based learning у STEM-освіту. Практичне значення дослідження полягає в тому, що отримані результати можуть бути використані при розробленні освітніх програм, навчально-методичних матеріалів та системи підготовки вчителів початкової школи з метою впровадження експериментальної діяльності у контексті STEM-освіти. Отримані результати створюють методологічну основу для подальших досліджень та відкривають нові перспективні напрями наукового пошуку у сфері інтеграції цифрових технологій, інноваційних моделей розвитку та концепції сталого розвитку у сфері початкової освіти.

Ключові слова: експериментальна діяльність; початкова школа; STEM-освіта; дослідницьке навчання; бібліометричний аналіз; цифрові технології; VOSviewer.

UDC 373.3:37.091.33-027.22:001.891

DOI: 10.31652/3041-2439-2026-6-7

Experimental activities of primary school students: structure and dynamics of scientific research (based on the Scopus database, 1990-2025)

Volodymyr Starosta 

Higher Education State University «Uzhhorod National University», Uzhhorod, Ukraine

Abstract. The relevance of the study is determined by the growing role of experimental activity as a key component of STEM education and the development of inquiry skills in primary school students. The purpose of the article is to identify current trends, thematic structure, and prospects for the development of research on experimental activities in primary education. To achieve the research objective, bibliometric, cluster, and content analysis methods were employed. The empirical basis of the study consists of 428 scientific publications indexed in the Scopus database (1990–2025). The scientific novelty of the study lies in a comprehensive bibliometric and content analysis of research on experimental activities in primary school, which made it possible to obtain new theoretical and applied results. In particular, for the first time, an integrated analysis of the research field of primary school students' experimental activity was conducted based on the Scopus database ($n = 428$) using the VOSviewer tool. A three-component structure of research has been identified and theoretically substantiated, including conceptual, pedagogical, and procedural components. The differentiated functional roles of key concepts in the scientific network have been revealed: STEM education as the conceptual core; primary school students as the integrative center; and experimentation as an inter-cluster linking mechanism. Contemporary research trends have been further specified based on overlay analysis, including a shift from theoretical models to practice-oriented approaches; an increasing role of digital technologies (sensors, digital laboratories, mobile applications); and the integration of inquiry-based learning into STEM education. The findings can be used in the development of educational programs, instructional materials, and teacher training systems aimed at implementing experimental activities in the context of STEM education. The obtained results provide a methodological foundation for further research and open new перспективні directions for scientific inquiry in the integration of digital technologies, innovative development models, and the concept of sustainable development in primary education.

Keywords: experimental activity; primary school; STEM education; inquiry-based learning; bibliometric analysis; digital technologies; VOSviewer.

Постановка проблеми. У сучасних умовах трансформації освіти, зумовленої цифровізацією, глобалізаційними процесами та впровадженням концепції Нової української школи особливої актуальності набуває проблема формування дослідницьких умінь учнів уже на початковому рівні освіти. Одним із ключових інструментів розвитку наукового мислення, пізнавальної активності та інтересу до природничих дисциплін виступає експериментальна діяльність, що інтегрує елементи практичного, дослідницького та проблемно-орієнтованого навчання.

Огляд сучасних досліджень показує, що у міжнародному науковому дискурсі експериментальна діяльність розглядається в контексті таких підходів, як *inquiry-based learning*, *hands-on learning*, STEM-освіта, а також цифрові лабораторії та використання сенсорних технологій. К. Larkin, & Т. Lowrie/К. Ларкін, & Т. Лоурі (2023) [15] наголошують на необхідності переходу до автентичного проєктного навчання. Погоджуємось з поглядами, які формулює Е. Geist/Ю. Гейст (2025) [11] стосовно переосмислення STEM «*Reinventing STEM*», аби відійти від жорстко структурованих інструкцій («кулінарних книг») на користь вільного дослідження, де дитина самостійно конструює знання через помилки та відкриття. Дослідник підкреслює зміни в розвитку молодших школярів, оскільки діти переживають перехід від дитячого садка до першого класу, із ігрових дошкільних закладів до більш структурованого навчального середовища початкової школи, а також надає наступні рекомендації: використовувати природну допитливість дітей та їхню здатність до навчання для впровадження та закріплення базових концепцій STEM; звертати увагу на когнітивний, фізичний, лінгвістичний та

соціально-емоційний розвиток дітей віком від 5 до 7 років, що впливає на їхню залученість до STEM та їх розуміння; використовувати різноманітні практичні завдання та стратегії, які можуть ефективно інтегрувати STEM у щоденне життя, формувати захоплене та комфортне навчальне середовище для вивчення наукових і математичних концепцій. Ці завдання варіюються від простих експериментів та досліджень на свіжому повітрі до будівельних проєктів та використання технологій, і всі вони спрямовані на стимулювання дослідницької діяльності, критичного мислення та розуміння світу.

Аналіз публікацій вчених свідчить про стійке зростання інтересу дослідників до цієї проблематики, особливо упродовж останнього десятиліття. Водночас тематична структура досліджень є неоднорідною та охоплює різні аспекти: від теоретико-методологічних засад організації експериментальної діяльності [1; 2; 5-7; 10; 11; 15; 25] до практичних моделей її впровадження у початковій школі [3; 9; 12; 14; 16-22]. Отже, незважаючи на значну кількість наукових праць, проблема організації експериментальної діяльності молодших школярів залишається недостатньо систематизованою, особливо в контексті інтеграції цифрових технологій, STEM-підходу та підготовки вчителів до її реалізації в умовах початкової освіти. Це зумовлює необхідність комплексного аналізу сучасного стану досліджень, виявлення провідних тенденцій та визначення перспектив подальшого розвитку експериментальної діяльності учнів початкової школи.

Мета статті полягає у виявленні сучасних тенденцій, структурних характеристик та наукових напрямів досліджень експериментальної діяльності учнів початкової школи на основі бібліометричного аналізу публікацій, проіндексованих у базі даних Scopus, а також у визначенні перспектив її

розвитку в контексті STEM-освіти.

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

1. Проаналізувати наукові джерела, індексовані у базі Scopus, за тематикою експериментальної діяльності у початковій освіті, аби визначити динаміку публікацій та основні етапи розвитку досліджень у цій сфері.

2. Здійснити кластерний аналіз ключових слів із використанням інструменту VOSviewer, виокремити основні тематичні напрями досліджень, узагальнити отримані результати.

Виклад основного матеріалу.

Методологія та методи дослідження.

Методологічну основу дослідження становить системний, бібліометричний та контент-аналітичний підходи, що забезпечують комплексне вивчення сучасного стану наукових досліджень у сфері експериментальної діяльності учнів початкової школи. Системний підхід дозволив розглядати експериментальну діяльність як цілісне педагогічне явище, що інтегрує змістові, процесуальні та технологічні компоненти навчання в умовах STEM-освіти. Бібліометричний підхід забезпечив кількісний та якісний аналіз наукових публікацій, виявлення структури наукового поля, основних тенденцій та взаємозв'язків між дослідницькими напрямками.

Джерельну (емпіричну) базу дослідження становлять наукові публікації, індексовані у міжнародній наукометричній базі Scopus. Дані для аналізу були вилучені з бази даних Scopus, яка належить компанії Elsevier B.V [8]. Пошуковий запит від 22.02.2026 було сформовано за параметрами [поле: Article title, Abstract, Keywords]: («primary school*» OR

«elementary school*» OR «primary education» OR «elementary education») AND («experimental activit*» OR «inquiry-based learning» OR «experimental work» OR «hands-on» OR «practical activit*» OR «practical work» OR «digital lab*» OR «online lab*» OR «virtual lab*» OR «sensor*» OR «digital experiment*») AND («textbook*» OR «science education» OR «natural science» OR «STEM» OR «teachers' attitude»).
Хронологічні межі дослідження: 1990-2025 роки.

Застосовано наступні основні методи дослідження:

-бібліометричний аналіз для визначення динаміки публікацій за роками; виявлення основних тематичних напрямів досліджень; аналізу ключових слів та їх взаємозв'язків; оцінювання інтенсивності співзустрічей ключових слів та рівня інтегрованості ключових термінів у науковій мережі. Основними показниками виступали: Occurrence (частота зустрічання ключового слова); Links (кількість зв'язків між ключовими словами); Total Link Strength (TLS) – сумарна сила зв'язків, що характеризує ступінь інтегрованості терміна у мережі.

-кластерний аналіз з використанням спеціалізованого програмного забезпечення/*Software* (далі – ПЗ) VOSviewer v.1.6.20 (N.J. Van Eck, & L. Waltman/ Н. Дж. Ван Ек та Л. Волтман, 2023) [23]) для візуалізації та вивчення структури наукового поля, визначення концептуальних зв'язків між ключовими словами; встановлення домінуючих напрямів розвитку наукового дискурсу. Побудова мережі здійснювалася на основі аналізу співзустрічей ключових слів (co-occurrence analysis), а для узагальнення термінів-синонімів використано файл тезаурус (Thesaurus file), який завантажено у VOSviewer перед аналізом. Це допомагає об'єднати різні написання одного й того самого терміна, наприклад, *elementary school, primary*

education в один вузол *primary school*; також в один вузол *experimentation* введено ключові слова *experimental activity*, *experimental work*, *practical work*, *hands-on*

learning (тут і надалі англійські ключові слова/терміни наведено курсивом, а відповідний переклад на українську мову у табл. 1).

Таблиця 1

Основні ключові слова на мапі VOSviewer

Джерело: сформовано автором за допомогою ключових слів ПЗ VOSviewer на основі БД Scopus

Cluster/Кластер VOSviewer	Основні ключові слова (English)	Український переклад
1. (Червоний). Концептуальний: STEM-освіта у початковій школі у контексті експериментальної діяльності учнів	<i>science education</i>	природнича освіта
	<i>STEM education</i>	STEM-освіта
	<i>primary school</i>	початкова школа
	<i>primary school students</i>	учні початкової школи
	<i>engineering education</i>	інженерна освіта
	<i>mathematics education</i>	математична освіта
	<i>science and technology</i>	наука і технології
	<i>robotics</i>	робототехніка
	<i>project-based learning</i>	проектне навчання
	<i>teaching/learning strategy</i>	стратегії навчання
	<i>learning motivation</i>	навчальна мотивація
	<i>personnel training</i>	підготовка кадрів
	<i>rural areas</i>	сільські території
	<i>middle school</i>	середня школа
<i>outreach</i>	освітня взаємодія з громадою	
	<i>product design</i>	проектування продукту
	<i>societies and institutions</i>	суспільства та інституції
	<i>inquiry-based learning/IBL</i>	дослідницьке навчання
	<i>computational thinking</i>	комп'ютаційне/алгоритмічне/ обчислювальне мислення
	<i>education computing</i>	освітні обчислювальні технології
	<i>e-learning</i>	електронне навчання

2. (Зелений). Педагогічний: Дослідницьке навчання/ <i>Inquiry-</i> <i>based learning</i> та цифрові технології експериментальної діяльності учнів	<i>augmented/virtual reality (AR/VR)</i>	доповнена та віртуальна реальність
	<i>sensors</i>	сенсори
	<i>engineering design process</i>	процес інженерного проектування
	<i>problem-solving</i>	розв'язування проблем
	<i>design</i>	проектування
	<i>textbooks</i>	підручники
	<i>interactive computer graphics</i>	інтерактивна комп'ютерна графіка
	<i>creativity</i>	креативність
	<i>secondary education</i>	середня освіта
	<i>education computing</i>	комп'ютерні технології в освіті
3. (Синій). Процесуальний: Експериментальна діяльність учнів початкової школи як процесуальний компонент навчання	<i>experimentation</i>	експериментування
	<i>integration</i>	інтеграція
	<i>professional development</i>	професійний розвиток
	<i>knowledge</i>	знання
	<i>human</i>	людина
	<i>male</i>	чоловіки
	<i>female</i>	жінки
	<i>adolescent</i>	підліток
<i>physiology</i>	фізіологія	

-*Overlay*-аналіз/*Overlay*-візуалізацію для визначення динаміки еволюції досліджень, що дозволяє виявити нові та перспективні напрями досліджень; простежити зміну наукових пріоритетів у часі, а колірна шкала відображає середній рік появи ключових слів у науковому дискурсі (від ранніх до новітніх);

-контент-аналіз сучасних наукових публікацій (2021-2025 рр.) для інтерпретації та узагальнення змісту відібраних наукових джерел; виявлення педагогічних підходів до організації експериментальної діяльності

початкової школи.

Використання комплексного підходу (бібліометричного, кластерного та контент-аналізу) забезпечує достатній рівень достовірності та наукової обґрунтованості отриманих результатів.

Отримані результати та їх обговорення. Графічне відображення результатів (*Documents by year*; *Documents by country or territory*) отримано безпосередньо через аналітичний сервіс бази даних (далі – БД) Scopus [8]; пошук проведено 22 лютого 2026 року. Динаміку 428 публікацій, які індексовані у базі даних Scopus

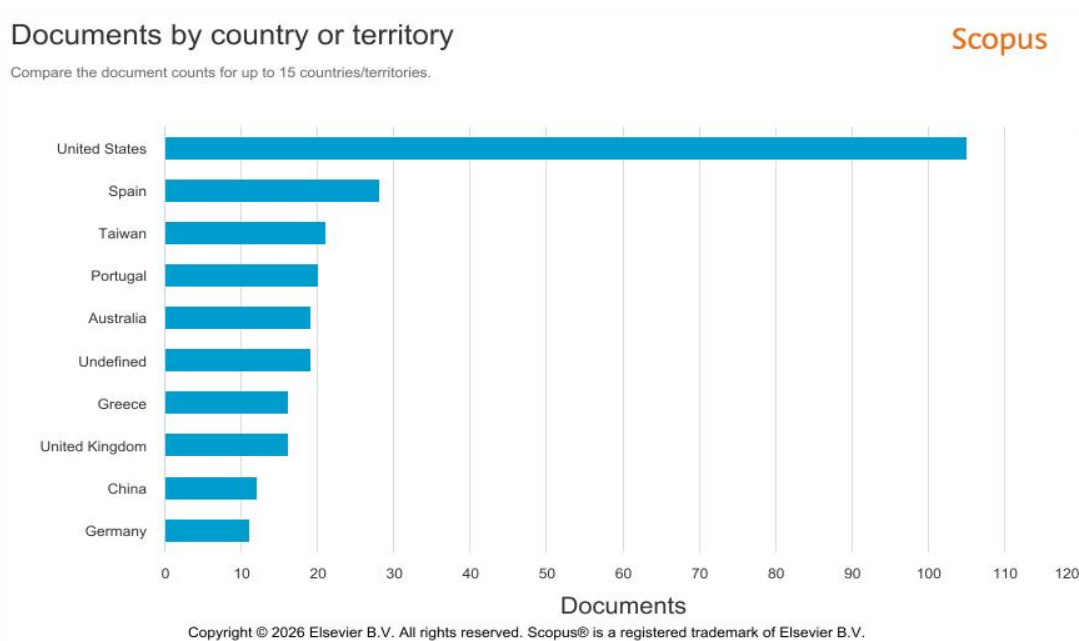


Рис. 3. Топ-10 країн у дослідженнях експериментальної діяльності учнів початкової школи протягом 1990-2025 рр. (вісь абсцис – рік; вісь ординат – країни авторів публікацій). Джерело: сформовано автором за допомогою інструментів аналізу БД Scopus (© Elsevier B.V.; Documents by country or territory) станом на 22.02.2026.

На основі даних (рис. 1 та рис. 2), з нашого погляду, можна виокремити наступні **три етапи розвитку досліджень вчених світу щодо експериментальної діяльності учнів початкової школи (1990-2025):**

1. 1990-2010 – початковий (формувальний) етап. Характеризується поодинокими публікаціями (рис. 1). На мапі Overlay (рис. 2) цей період відповідає темно-синім та фіолетовим вузлам. У цей час експериментальна діяльність розглядалася як додаток до підручника, а не як самостійна стратегія. Основні особливості: теми досліджень носять загальноосвітній, концептуальний або методичний характер і спрямовані на: інституційні аспекти освіти (*societies and institutions, technical presentations,*

knowledge, physiology); формування основ природознавства та методичних підходів до *science education* у початковій школі, акцент на підручниках, традиційних формах *hands-on activities* та *experimental work* у природничій освіті; обмежене використання технологій. Отже, на цьому етапі дослідження переважно спрямовані на роль експериментів у формуванні базових наукових уявлень, методику організації простих практичних робіт.

2. 2011-2019 – етап поступового зростання наукової активності через появу інтегрованого навчання та перших STEM-проектів («STEM-трансформація»). Кількість публікацій збільшується до 5-30 на рік (рис. 1). На мапі рис. 2 це бірюзові та зелені зони. Характерні риси: починається активне впровадження *inquiry-based learning, inquiry-based science*

education, scientific thinking; зростання інтересу та інтенсивне поширення *STEM education*; дослідження педагогічних стратегій навчання через експериментування; початок використання *digital tools* у навчанні; інтеграція експериментальної діяльності у шкільні програми; активні дослідження *computational thinking*; інтеграція *engineering education* у початкову школу; використання *digital laboratories, sensors, virtual environments*. Зміщується фокус досліджень від простої експериментальної діяльності до дослідницького та проєктного навчання, впровадження робототехніки та раннього інженерного мислення.

3. 2020-2025 – етап швидкого зростання та цифровізації («Цифрова ера») через масовий перехід до віртуальних експериментів та використання цифрових вимірвальних комплексів. Кількість публікацій зростає до 30-60+ на рік. З нашого погляду, пандемія та розвиток технологій змусили науковців переосмислити експеримент. Якщо раніше це був лише реальний дослід, то надалі це гібридна діяльність (фізичні сенсори + цифрове опрацювання даних тощо). Спостерігаємо: глобальний розвиток STEM-освіти; вплив дистанційного навчання під час пандемії; поширення *virtual laboratories, virtual reality, online labs, sensors, AR/VR*. Новітні теми (після 2020 р., позначені жовтим кольором) спрямовані на: інтеграцію STEM-освіти з інженерним дизайном; цифрові експерименти; акцент на розвиток навичок XXI століття; розширення практик проєктного та проблемно-орієнтованого навчання (*mathematics education, product design, problem-solving*), розвиток *experimental competencies* учнів;

дослідження *learning motivation* та *teachers' attitudes*. На основі даних, які подано на рис. 2, можемо зазначити основні напрями досліджень, такі як – STEM-освіта; дослідницьке навчання; цифрові лабораторії та технології. Поступово спостерігаємо тенденцію зміщення досліджень від традиційних практичних робіт до цифрових та інтегрованих STEM-експериментів з акцентом на *computational thinking, engineering design, problem-solving*. Термін *experimentation* має на рис. 2 стабільне бірюзове забарвлення. Це означає, що він є фундаментальним і пройшов шлях від класичних лабораторних робіт у 2014-2016 роках до сучасних комплексних досліджень.

Географічна структура наукових публікацій (рис. 3) свідчить про концентрацію дослідницької активності у відносно обмеженій кількості країн, що, на нашу думку, може обмежувати різноманітність підходів та знижувати універсальність отриманих результатів.

Карта співзв'язності ключових слів демонструє три основні тематичні кластери досліджень (рис. 4). Характеристики деяких ключових слів, які мають найвищі показники зв'язків та TLS, що свідчить про їх центральну роль у структурі досліджень експериментальної діяльності учнів, подано у табл. 2.

Кластер 1 має ключове слово *primary school* з найвищими показниками частоти Occurrence та високим рівнем зв'язків TLS (650), що показує його центральне положення у мережі досліджень, а також цей термін виступає інтеграційним вузлом поєднання різних тематичних напрямів. Поняття *science education* та *STEM education* мають дещо нижчі показники Occurrence, проте демонструють високу щільність зв'язків, що вказує на їхню роль як концептуальних рамок досліджень. Термін *teaching/learning strategy* має нижчий

показник Occurrence (47), однак достатньо високий TLS (224) вказує на його методологічну значущість у дослідженнях. Отже, кластер 1 має найвищий рівень

концептуальної інтеграції та формує теоретико-методологічне ядро досліджень експериментальної діяльності учнів.

Таблиця 2

Рівень інтенсивності співзустрічей деяких ключових слів у мережі досліджень експериментальної діяльності учнів (Scopus, n = 427)

Джерело: розроблено автором за допомогою ПЗ VOSviewer на основі БД Scopus (станом на 22.02.2026).

Кластер	Ключове слово	Occurrence	Links	TLS
1 (Червоний). Концептуальний: STEM-освіта у початковій школі у контексті експериментальної діяльності учнів	<i>primary school</i>	172	55	650
	<i>stem education</i>	100	48	428
	<i>science education</i>	125	54	417
	<i>teaching/learning strategy</i>	47	42	224
2. (Зелений). Педагогічний: Дослідницьке навчання/Inquiry-based learning та цифрові технології експериментальної діяльності учнів початкової школи	<i>primary school students</i>	130	56	682
3. (Синій). Процесуальний: Експериментальна діяльність учнів початкової школи як процесуальний компонент навчання	<i>experimentation</i>	57	57	233

Кластер 2 демонструє найвищий рівень мережевої інтегрованості окремих понять, що свідчить про його прикладну та педагогічну зорієнтованість. Ключове слово *primary school students* має найвищий показник TLS=682 серед усіх кластерів; найбільшу кількість зв'язків (Links=56). Це свідчить, що дослідження, зорієнтовані на учня, є найбільш інтегрованими у науковій мережі та виступають центром міжкластерної взаємодії.

Кластер 3 представлений ключовим терміном *experimentation* (Occurrence=57),

який має максимальну кількість зв'язків (Links=57), високий рівень TLS (233). Це ілюструє, що експериментальна діяльність є універсальним інтеграційним концептом, який поєднує різні тематичні кластери. Фактично, цей термін виконує функцію методологічного мостика між STEM-освітою (кластер 1) і здобувачами освіти (кластер 2). Отже, кластер 3 має високу мережеву зв'язність, реалізує роль процесуального ядра досліджень та функцію інтеграції різних напрямів досліджень.

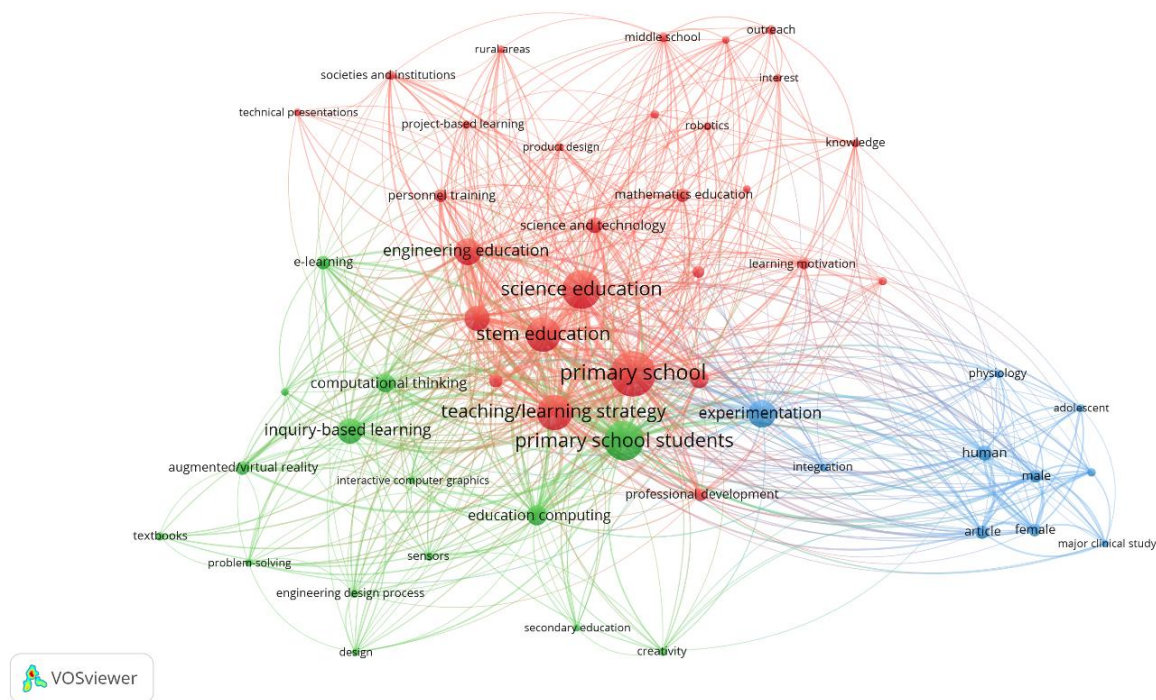


Рис. 4. Візуалізація кластерів ключових слів у дослідженнях експериментальної діяльності учнів початкової школи (Network/Cluster visualization; n=428).

Джерело: розроблено автором за допомогою ПЗ VOSviewer на основі БД Scopus станом на 22.02.2026.

Надалі розглянемо результати контент-аналізу кластерів VOSviewer (рис. 4).

Кластер 1 (червоний). STEM-освіта у початковій школі у контексті експериментальної діяльності учнів.

Цей кластер відображає ядро досліджень з таких основних тем: природнича освіта молодших школярів; STEM-орієнтоване навчання та інтеграція STEM-підходів; розвиток наукового мислення під час експериментування. Також ряд досліджень носять теоретико-методологічний характер, спрямовані на формування концептуальних основ, методологічних підходів та теоретичних моделей STEM-дослідження; інтеграцію

принципів сталого розвитку у природничій освіті початкової школи (M.J. Silva/M.Дж. Сільва, 2023 [21]; R. AlAli et. al./P. AlіAlі та ін., 2025 [1]). Наприклад, R. AlAli et. al./P. AlіAlі та ін. (2025) доводять, що залучення учнів до практичних екологічних дій, зокрема, сортування відходів або висаджування дерев, сприяє формуванню екологічної ідентичності та розвитку відповідальної поведінки щодо довкілля. Результати даного дослідження показали, що школам необхідно впроваджувати екологічні практикуми сталого розвитку з використанням сучасних приладів, розвивати в учнів екологічні цінності, аби вони усвідомлювали зв'язки між природою та людиною. Автори рекомендують посилити роль наукової освіти у реалізації

сталого розвитку через практичну діяльність, навчати вчителів інтегративним стратегіям екологічної освіти, розробляти відповідні навчальні програми, залучати батьків до підвищення екологічної обізнаності в шкільній спільноті [1]. Подібні результати отримали R. Rogosic et al./Р. Рогосич та ін. (2021), які розробили модульний STEM-набір для проведення експериментів у школі, встановили, що використання таких експериментальних комплектів стимулює зацікавленість учнів до наукових дисциплін і сприяє кращому розумінню фізичних та хімічних явищ [20].

З нашого погляду, наукове значення даного кластеру полягає в тому, що експериментальна діяльність учнів розглядається як ключовий інструмент STEM-освіти у початковій школі та сприяє розвитку зацікавленості до досліджень, наукового мислення і міждисциплінарних компетентностей. Кластер також розглядає «людський чинник» – готовність вчителя до змін та його здатність фасилітувати складні дослідницькі цикли. Огляд джерел також показує тенденцію до використання доступних матеріалів та залучення до тем сталого енергоспоживання через експерименти з відновлюваними джерелами. Практикоорієнтовану модель навчання демонструє праця Н. Bird et al./Х. Бірд та ін. (2025), у якій описано 5-тижневий освітній практичний семінар/проект «Power-FULL Biofilms». Під час цього проєкту учні початкової школи створювали біопаливні елементи для отримання електроенергії. Результати показали високий рівень залученості учнів та ефективність експериментального навчання для формування STEM-компетентностей, що робить науку доступною та екологічно орієнтованою [3]. Отже, кластер акумулює

дослідження, присвячені педагогічним умовам організації експериментальної діяльності, професійній підготовці вчителів та методичним аспектам STEM-освіти. Можемо зазначити, що розвиток експериментальної діяльності відбувається синергетично через ефективне використання освітніх технологій для реалізації змісту навчання та за умови фахової підготовки педагога.

Кластер 2 (зелений). Педагогічний: Дослідницьке навчання/*Inquiry-based learning та цифрові технології експериментальної діяльності учнів.* Кластер відображає новітні напрями досліджень, які пов'язані з цифровою трансформацією, оскільки показує перехід від традиційних практичних занять до інтерактивних цифрових та гібридних навчальних середовищ для експериментування (інтеграція сенсорів, цифрові експерименти, AR/VR, віртуальні лабораторії/Virtual Labs, мобільні додатки). Також спостерігається зв'язок ключових слів даного кластеру щодо дослідницького навчання / *inquiry-based learning / IBL* (M. Fukui et al. / М. Фукуї та ін., 2024) [10]; розвитку комп'ютаційного / алгоритмічного / обчислювального мислення / *computational thinking* з тематикою першого кластеру, зокрема, його інтеграцію з концепцією сталого розвитку в практичній діяльності початкової школи (Y. Liao et al./Й. Ляо та ін., 2024) [17].

Ряд досліджень фокусуються на зміні методики від репродуктивного засвоєння знань до самостійного наукового пошуку учнів. Експериментальна діяльність тісно пов'язана з розвитком когнітивних навичок, зокрема, просторового уявлення та алгоритмічного мислення як базових складників для інженерії. Наприклад, Y. Li et al. / Й. Лі та ін. (2023) демонструють використання орігамі для розвитку візуально-просторових навичок у четвертокласників під час практичних занять

[16]; L. Huang, & X. Pei/Л. Хуанг, & С. Пей (2024) описують, як дослідницьке навчання IBL сприяє розвитку «наукового Я» учня, тобто, вплив на самоідентифікацію учнів як науковців [13]; S. Cai et al. / С. Цай та ін. (2022) інтегрують дослідницький підхід із цифровими технологіями [4]; E. Geist / Ю. Гейст (2025) підкреслює, що саме дослідницьке навчання є фундаментом для початкової школи (К-1) [11].

Зазначимо роль підручників (*textbooks*) як бази, яка наразі доповнюється цифровими інструментами (AR/VR, сенсори): S. Ferreira, & L. Saraiva/С. Феррейра, & Л. Сарайва (2021) аналізують складність практичних робіт у підручниках і зазначають тенденцію до низького рівня когнітивних навичок у запропонованих завданнях [9]; K. Larkin, & T. Lowrie / К. Ларкін та Т. Лоурі (2023) у систематичному огляді закликають до переходу від декларативної до автентичної STEM-інтеграції через проєктне навчання [15]; Ž. Gerhátová et al. / Ж. Гергатова та ін. (2021) запровадили модель дослідницького навчання у поєднанні з інтегрованою електронною освітньою стратегією (INTe-L) і під час педагогічного експерименту з участю учнів третього класу виявили, що використання дослідницьких завдань та експериментів підвищило рівень засвоєння знань на 24 % порівняно з традиційними методами навчання [12].

Професійний розвиток учителя та ставлення до інновацій є критичним для впровадження експериментальної діяльності учнів. Вплив програми професійного розвитку на знання та ставлення вчителів до дослідницького навчання вивчали M.S.J. van Uum et al. / М.С.Дж. ван Уум та ін. (2021) і виявили, що участь у програмі значно покращила предметні знання педагогів, їхнє

розуміння процесу дослідження та готовність використовувати *inquiry-based learning* у навчальному процесі [24]. Аналогічно L. Huang, & X. Pei / Л. Хуанг, & С. Пей (2024) підкреслюють ефективність *inquiry-based learning* для розвитку наукової ідентичності учнів 5-х класів [13].

Кластер чітко демонструє технологічну трансформацію експериментальної діяльності у початковій школі від традиційного експериментування до цифрового. Сучасна початкова освіта відходить від виключно фізичних маніпуляцій, інтегруючи доповнену реальність (AR) та віртуальні лабораторії. Це дозволяє візуалізувати приховані процеси, які неможливо побачити у звичайному шкільному досліді. Особливо помітним є зростання кількості досліджень, присвячених цифровізації, сталому розвитку та інноваційним моделям розвитку, зокрема, Y.- W. Chen et al. / Ю. Чень та ін. (2025) підкреслюють посилення ролі цифрових технологій та інноваційних підходів у сучасному науковому дискурсі [6]; S. Cai et al. / С. Цай та ін. (2022) аналізують використання доповненої реальності (AR) і доводять, що інтеграція AR-технологій сприяє формуванню позитивного ставлення учнів до навчання та науки [4]; Y. Li et al. / Й. Лі та ін. (2023) описують використання цифрових програм для підтримки практичної діяльності [16]. A. Ismail et al. / А. Ісмаїл та ін. (2025) презентують цифрові лабораторії моделі «AR-Bounded Inquiry Lab» для розвитку критичного мислення (доповнену реальність (AR) та навичок гнучкого вирішення проблем порівняно з традиційними практичними роботами; встановлено, що навички критичного та творчого мислення учнів експериментального класу покращилися (0,62-0,69) значно вище, ніж контрольного класу (0,34-0,44); також в учнів спостерігали вищі навички співпраці та комунікації [14]. Цифрові інструменти експериментування активно

досліджує M.J. Silva / М.Дж. Сільва (2023) на прикладі використання електронних сенсорів для дослідження шумового забруднення у школі. Учні успішно навчилися збирати, аналізувати та інтерпретувати екологічні дані, а також пропонувати власні рішення для зменшення шумового впливу [21]. Сучасні цифрові експериментальні технології також розглядають S.W. Tho et al. / С.В. Тхо та ін. (2023) під час використання смартфонів як доступних інструментів для проведення STEM-досліджень у початковій школі. Виявлено позитивне ставлення учнів і вчителів до використання мобільних додатків для виконання практичних дослідницьких завдань [22].

Y. Liao et al. / Й. Ляо та ін. (2024) [17] акцентують на впровадженні обчислювального мислення в експериментальну діяльність учнів, виокремлюють потреби вчителів для інтеграції обчислювального мислення та комп'ютерних наук у практики початкової школи. Ці тенденції підтверджуються візуалізацією Overlay (рис. 2), де спостерігається яскраво виражений зсув від загальних термінів (*primary education*) до вузькоспеціалізованих цифрових та інженерних підходів (*AR, computational thinking*) у публікаціях останніх років. Отже, результати досліджень цього кластера показують, що сучасна експериментальна діяльність у початковій школі все більше поєднується з цифровими технологіями та дослідницькими методами навчання.

Кластер 3 (синій). Процесуальний: Експериментальна діяльність учнів початкової школи як процесуальний компонент навчання. У нашому дослідженні цей кластер висвітлює людиноцентрований аспект STEM-освіти і

містить результати впливу експериментальної діяльності на розвиток дитини, її мотивацію та когнітивні особливості. Контент-аналіз джерел показує, що має місце трансформація ролі вчителя від транслятора до фасилітатора; фокус досліджень змістився на психологічну готовність та професійну впевненість вчителя підтримувати учнів під час відкритого дослідження.

Центральний вузол *experimentation* виступає «містком» між теоретичними стратегіями навчання (червоний кластер) та інструментами (зелений кластер). Це свідчить, що експеримент у початковій школі сприймається не просто як дія, а як цілісний процес пізнання. Поруч із *experimentation* бачимо вузли *human, male, female* та *physiology*, що вказує на значний пласт досліджень, які вивчають: досвід «відкриття» під час експерименту, що формує стійку навчальну мотивацію та позитивне ставлення до науки (людиноцентрований підхід/*human*); як саме експериментальна діяльність впливає на психофізіологічний розвиток молодшого школяра (*physiology*), оскільки практична робота з природними об'єктами активізує сенсорні системи дитини, що є критичним для когнітивного розвитку у віці 6-10 років; гендерні та вікові особливості (*Male/Female/Adolescent*) у сприйнятті природничих наук, практичних завдань для забезпечення рівних можливостей у STEM-освіті.

Вузол *integration* у цьому кластері підкреслює, що сучасний експеримент у початковій освіті – це не ізольована вправа, а інтегрований процес, що поєднує фізичну активність дитини з її когнітивним розвитком. Кластер демонструє зростання кількості педагогічних досліджень у STEM-освіті, які вивчають експериментальну діяльність учнів, а також відображає перехід від ізольованого

вивчення предметів до міждисциплінарних проєктів, де природничі науки є базою для інженерії та математики. Даний кластер також представлений прикладними та емпіричними дослідженнями, у яких аналізується практична реалізація відповідних концепцій у різних соціально-економічних та організаційних контекстах. Серед авторів, які активно розвивають цей напрям на прикладі впливу моделювання на навчання учнів з різними просторовими здібностями можна виокремити J.-W. Lin, & Y.-M. Chen / Дж.-В. Лін, & Ю.-М. Чен (2023) [18]. А. Castro et al. / А. Кастро та ін. (2025) обґрунтовують використання інженерного проєктування як каркасу для вивчення природничих наук у сільських школах [5]. Подібні висновки роблять К. Larkin, & T. Lowrie / К. Ларкін, & Т. Лоурі (2023), які у систематичному огляді досліджень STEM-освіти підкреслюють необхідність переходу від фрагментарного викладання до інтегрованих міждисциплінарних моделей навчання, що базуються на проєктній та проблемно-орієнтованій діяльності. Вчені наголошують також на важливості просторового мислення як сполучної ланки в STEM-інтеграції [15]. Кластер фокусується на практичному навчанні, де фізичне маніпулювання об'єктами поєднується з глибоким теоретичним осмисленням. М.Н. Appelgate, & К. Jurgenson / М.Х. Аппелгейт, & К. Юргенсон (2022) звертають увагу на проблему «непомітності» математики в інтегрованих STEM-курсах та аналізують чинники, що впливають на залучення учнів до математичної діяльності [2]. Т. van Eijck et al. / Т. ван Ейк та ін. (2025) обґрунтовують важливість поєднання практичних експериментів з інтерактивними діаграмами для розвитку наукового мислення [24].

М. Fukui et al. / М. Фукуї та ін. (2024) виявили позитивний зв'язок між креативністю вчителів та їхньою впевненістю у викладанні за методикою дослідницького навчання [10]; M.S.J. van Uum et al. / М.С.Дж. ван Уум та ін. (2021) описують зміну педагогічних стратегій під час професійного розвитку [25]; М.С. Costa, & А. Domingos / М.К. Коста, & А. Домінгос (2023) наголошують, що вчителям критично бракує теоретичних та спеціалізованих / технічних знань для ефективного впровадження практичних STEM-завдань у класі [7]. Методичні аспекти діяльності вчителів природничих дисциплін описує Р. Photo / П. Фото (2025) і звертає увагу, що досвідчені вчителі частіше застосовують практичні роботи як відкрите дослідження, тоді як молоді педагоги надають перевагу демонстраціям [19].

Таким чином, дослідження третього кластера: вказують на роль підручників та низькобюджетних рішень для STEM; демонструють, що ефективність експериментального навчання значною мірою залежить від рівня професійної підготовки вчителів та використання сучасних педагогічних стратегій; експериментування виступає не лише методом навчання, а й інструментом гармонізації освітнього впливу з природним темпом розвитку дитини. Зростання кількості публікацій підтверджує, що саме поєднання практичної науки з розумінням природи дитини є магістральним шляхом сучасної педагогіки.

Висновки. Проведені бібліометричний, кластерний та контент-аналізи досліджень експериментальної діяльності учнів початкової школи на основі публікацій, індексованих у базі Scopus, дозволяє сформулювати наступні узагальнення: по перше, експериментальна діяльність у початковій школі є комплексним педагогічним явищем, яке інтегрує зміст освіти, методи навчання та цифрові технології;

експеримент перестав бути просто технічною процедурою, оскільки в сучасних умовах експериментальна діяльність стає центральним елементом розвитку мотивації, дослідницьких умінь, наукового мислення, особистості дитини, яка сприймає себе як дослідника та частину наукової спільноти; про-друге, має місце перехід від традиційних практичних робіт до інтегрованих моделей навчання, які поєднують STEM-підхід, дослідницьке навчання та цифрові технології; по-третє, можна виокремити кілька ключових тенденцій розвитку досліджень експериментальної діяльності учнів у початковій школі, – активна інтеграція STEM-освіти у природничі дисципліни, інтенсивний розвиток STEM-орієнтованого експериментального навчання (зокрема, низькобюджетний STEM та екологізація експериментів); розвиток просторового та комп'ютаційного мислення через практичні заняття; поширення inquiry-based learning та проєктного навчання з інтенсивним використанням цифрових технологій експериментування; зростання ролі педагогічних стратегій STEM-освіти під час професійної підготовки вчителів до експериментального навчання учнів. Перспективи розвитку експериментальної діяльності учнів початкової школи в контексті STEM-освіти пов'язані з її цифровізацією, інтеграцією дослідницького навчання та міждисциплінарних підходів, орієнтацією на формування компетентностей XXI століття та людиноцентрованих освітніх моделей. Визначальними чинниками ефективності виступають професійна підготовка вчителя, використання інноваційних технологій та впровадження практико-орієнтованих форм навчання, що відкриває нові напрями для

подальших наукових досліджень і модернізації початкової освіти.

Наукова новизна статті полягає у комплексному бібліометричному та змістовому аналізі досліджень експериментальної діяльності учнів початкової школи, що дозволило отримати нові результати як теоретичного, так і прикладного характеру, а саме: уперше здійснено інтегрований аналіз наукового поля експериментальної діяльності молодших школярів на основі бази даних Scopus (n=428) із застосуванням інструментарію VOSviewer; виявлено та науково обґрунтовано трьохкомпонентну структуру досліджень, що включає: концептуальний, педагогічний, процесуальний; доведено різну функціональну роль ключових понять у науковій мережі: STEM-освіта – як концептуальне ядро; учень (primary school students) – як центр інтеграції; експериментування – як міжкластерний зв'язувальний механізм. Уточнено сучасні тенденції розвитку досліджень на основі overlay-аналізу, зокрема: перехід від теоретичних моделей до практико-орієнтованих підходів; зростання ролі цифрових технологій (сенсори, цифрові лабораторії, мобільні додатки); інтеграція inquiry-based learning у STEM-освіту. **Практичне значення дослідження** полягає в тому, що отримані результати можуть бути використані при розробленні освітніх програм, навчально-методичних матеріалів та системи підготовки вчителів початкової школи з метою впровадження експериментальної діяльності у контексті STEM-освіти.

Перспективи подальших досліджень полягають у проведенні наукового пошуку у сфері інтеграції цифрових технологій, інноваційних моделей розвитку та концепції сталого розвитку у сфері початкової освіти.

Список використаних джерел

1. AlAli R., Al-Barakat A., Alrosaa T., Alotaibi, S., Abdullatif A., & Almughyirah S. Science Education and Environmental Identity: An Integrative Approach to Fostering Sustainability Practices in Primary School Students. *Sustainability (Switzerland)*. 2025. Vol. 17. Iss. 19. Article N 8883. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17198883>.
2. Appelgate M.H., & Jurgenson K. How Engagement with Mathematics in an Integrated STEM Lesson Evolved over Four Years. *Investigations in Mathematics Learnin*. 2022. Vol. 14. Iss. 1. P. 63-86. DOI: <https://doi.org/10.1080/19477503.2021.2023965>.
3. Bird H., Reeder J., Day J., Heidrich E., & Theodosiou P. Power from the playground: Power-FULL Biofilms – A hands-on classroom activity using microbial fuel cells and electroactive biofilms to generate electricity. *Journal of Microbiology and Biology Education*. 2025. Vol. 26. Iss. 3. Article N e00144-25. DOI: <https://doi.org/10.1128/jmbe.00144-25>.
4. Cai S., Jiao X., Li J., Jin P., Zhou H., & Wang T. Conceptions of Learning Science among Elementary School Students in AR Learning Environment: A Case Study of «The Magic Sound». *Sustainability (Switzerland)*. 2022. Vol. 14. Iss. 11. Article number 6783. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14116783>.
5. Castro A., Díaz B., Aguilera C., & Delgado C. Using an Engineering Design Approach to Implement Interdisciplinary Integration of Sustainability, Energy, and Material Science: The Experience of Rural, Multigrade Elementary Schools. *Journal of Chemical Education*. 2025. Vol. 102. Iss. 12. P. 5059-5068. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5c00715>.
6. Chen Y.-W., Wang Y., & So W.W.M. The effects of specialist co-teaching STEM intervention on primary students' attitudes, perceptions, behaviors, and career aspiration: A mixed-methods study in China. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*. 2025. Vol. 20. Article N 038. DOI: <https://doi.org/10.58459/rptel.2025.20038>.
7. Costa M. C., & Domingos A. Teachers' Professional Knowledge to Develop STEM Integrated Tasks. *Pedagogika*. 2023. Vol. 149. Iss. 1. P. 82-104. DOI: <https://doi.org/10.15823/p.2023.149.4>.
8. Elsevier. *Scopus* [Database]. URL: <https://www.scopus.com>.
9. Ferreira S., & Saraiva L. Complexity of practical work in portuguese primary science textbooks. *Investigacoes Em Ensino de Ciencias*. 2021. Vol. 26. Iss. 3. P. 281-297. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2021v26n3p281>.
10. Fukui M., Kuroda M., Amemiya K., Maeda M., Kumar R., & Yadav U. A study on the relationship between Japanese school teacher attitudes toward inquiry-based learning and their creativity. In R. Kumar, E. Ong, S. Anggoro, T. Toh, & M. Fukui (Eds.), *Transdisciplinary Teaching and Technological Integration for Improved Learning: Case Studies and Practical Approaches* (P. 22-41). IGI Global Scientific Publishing, 2024. DOI: <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-8217-2.ch002>.
11. Geist E. STEM in kindergarten and 1st grade. *Reinventing STEM in Early Childhood Education: A Constructivist Approach*. 2025. P. 166-201. Publisher Taylor and Francis. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781003488873-7>.
12. Gerhátová Ž., Perichta P., Drienovský M., & Palcut M. Temperature measurement – Inquiry-based learning activities for third graders. *Education Sciences*, 2021. Vol. 11. Iss. 9. Article number 506. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci11090506>.
13. Huang L., & Pei X. Exploring the impact of web-based inquiry on elementary school students' science identity development in a STEM learning unit. *Humanities and Social Sciences Communications*. 2024. Vol. 11. Iss. 1. Article N 885. DOI: <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03299-5>.
14. Ismail A., Isrokatun I., Bahkti D.D., Gumilar S., Saprudin S., & Hayat M.S. AR-Enhanced Inquiry Learning in Elementary Science: Developing Students' 4C Skills. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*. 2025. Vol. 24. Iss. 11. P. 826-851. DOI: <https://doi.org/10.26803/ijlter.24.11.39>.

15. Larkin K., & Lowrie T. Teaching Approaches for STEM Integration in Pre- and Primary School: A Systematic Qualitative Literature Review. *International Journal of Science and Mathematics Education*. 2023. Vol. 21, P. 11-39. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10763-023-10362-1>.
16. Li Y., Myers P., Geary D.C., Robertson T., & Popov V. Fostering Visuospatial Skills in Children Through Inquiry-Based Learning with Origami: The Case Study of VisMO Lessons. In: Spector, J.M., Lockee, B.B., Childress, M.D. (eds) *Learning, Design, and Technology: An International Compendium of Theory, Research, Practice, and Policy*. Springer, Cham. 2023. P. 2273-2304. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-17461-7_173.
17. Liao Y.-C., Kim J., Ottenbreit-Leftwich A.T., Karlin M., & Guo M. Voices of Elementary Computer Science Teachers: Computer Science Integration Rationales and Practices. *ACM Transactions on Computing Education*. 2024. Vol. 24. Iss. 4. Article N 43, P. 1-26. DOI: <https://doi.org/10.1145/3688854>.
18. Lin J.-W., & Chen Y.-M. Unpacking Students' Modeling Practices During a Modeling-Based STEM Curriculum on Highway Route Selection: Comparing Between High- and Low-Spatial Ability Students. *International Journal of Science and Mathematics Education*. 2023. Vol. 21. P. 67-86 DOI: <https://doi.org/10.1007/s10763-023-10384-9>.
19. Photo P. Teaching Experiences Connected To The Implementation Of Inquiry-Based Practical Work In Primary Science Classrooms. *Research in Science Education*. 2025. Vol. 55. Iss. 6. P. 1493-1516. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11165-025-10235-3>.
20. Rogosic R., Heidt B., Passariello-Jansen J., Bjornor S., Bonni S., Dimech D., Arreguin-Campos R., Lowdon J., Jimenez Monroy K.L., Caldara M., Eersels K., Van Grinsven, B., Cleij T.J., & Dilien H. Modular Science Kit as a support platform for STEM learning in primary and secondary school. *Journal of Chemical Education*. 2021. Vol. 98. Iss. 2. P. 439-444. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01115>.
21. Silva M.J. Children's practices with electronic sensors to understand and mitigate sound pollution in primary school. *Research in Science and Technological Education*. 2023. Vol. 41. Iss. 1. P. 107-122. DOI: <https://doi.org/10.1080/02635143.2020.1841150>.
22. Tho S.W., Chu W.W., & Fong T.K. The innovative use of smartphones for STEM practical activities: A pilot implementation for a Malaysian primary school. *Cross-Disciplinary STEM Learning for Asian Primary Students: Design, Practices, and Outcomes*. 2023. P. 164-177. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781003262237-10>.
23. Van Eck N.J., & Waltman L. Manual for VOSviewer version 1.6.20. Universiteit Leiden. 2023. 54 p. URL: https://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.20.pdf.
24. van Eijck T., Bredeweg, B., Holt J., Pijls M., Bouwer A., Hotze A., Louman E., Ouchchahd A., & Sprinkhuizen M. Combining hands-on and minds-on learning with interactive diagrams in primary science education. *International Journal of Science Education*. 2025. Vol. 47. Iss. 18. P. 2413-2433. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500693.2024.2387225>.
25. van Um M.S.J., Peeters M., & Verhoeff R.P. Professionalising Primary School Teachers in Guiding Inquiry-Based Learning. *Research in Science Education*. 2021. Vol. 51. Iss. 81-108. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11165-019-9818-z>.

References

1. AlAli, R., Al-Barakat, A., Alrosaa, T., Alotaibi, S., Abdullatif, A., & Almughyirah, S. (2025). Science Education and Environmental Identity: An Integrative Approach to Fostering Sustainability Practices in Primary School Students. *Sustainability (Switzerland)*, 17(19), 8883. Retrieved from: <https://doi.org/10.3390/su17198883>.
2. Appelgate, M.H., & Jurgenson, K. (2022). How Engagement with Mathematics in an Integrated STEM Lesson Evolved over Four Years. *Investigations in Mathematics Learning*, 14(1), 63-86.

- Retrieved from: <https://doi.org/10.1080/19477503.2021.2023965>.
3. Bird, H., Reeder, J., Day, J., Heidrich, E., & Theodosiou, P. (2025). Power from the playground: Power-FULL Biofilms – A hands-on classroom activity using microbial fuel cells and electroactive biofilms to generate electricity. *Journal of Microbiology and Biology Education*, 26(3), e00144-25. Retrieved from: <https://doi.org/10.1128/jmbe.00144-25>.
 4. Cai, S., Jiao, X., Li, J., Jin, P., Zhou, H., & Wang, T. (2022). Conceptions of Learning Science among Elementary School Students in AR Learning Environment: A Case Study of «The Magic Sound». *Sustainability (Switzerland)*, 14(11), 6783. Retrieved from: <https://doi.org/10.3390/su14116783>.
 5. Castro, A., Díaz, B., Aguilera, C., & Delgado, C. (2025). Using an Engineering Design Approach to Implement Interdisciplinary Integration of Sustainability, Energy, and Material Science: The Experience of Rural, Multigrade Elementary Schools. *Journal of Chemical Education*, 102(12), 5059-5068. Retrieved from: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5c00715>.
 6. Chen, Y.-W., Wang, Y., & So, W.W.M. (2025). The effects of specialist co-teaching STEM intervention on primary students' attitudes, perceptions, behaviors, and career aspiration: A mixed-methods study in China. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 20, 038. Retrieved from: <https://doi.org/10.58459/rptel.2025.20038>.
 7. Costa, M. C., & Domingos, A. (2023). Teachers' Professional Knowledge to Develop STEM Integrated Tasks. *Pedagogika*, 149(1), 82-104. Retrieved from: <https://doi.org/10.15823/p.2023.149.4>.
 8. Elsevier. *Scopus* [Database]. Retrieved from: <https://www.scopus.com>.
 9. Ferreira, S., & Saraiva, L. (2021). Complexity of practical work in portuguese primary science textbooks. *Investigacoes Em Ensino de Ciencias*, 26(3), 281-297. Retrieved from: <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2021v26n3p281>.
 10. Fukui, M., Kuroda, M., Amemiya, K., Maeda, M., Kumar, R., & Yadav, U. (2024). A study on the relationship between Japanese school teacher attitudes toward inquiry-based learning and their creativity. In R. Kumar, E. Ong, S. Anggoro, T. Toh, & M. Fukui (Eds.), *Transdisciplinary Teaching and Technological Integration for Improved Learning: Case Studies and Practical Approaches* (pp. 22-41). IGI Global Scientific Publishing. Retrieved from: <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-8217-2.ch002>.
 11. Geist, E. (2025). STEM in kindergarten and 1st grade. *Reinventing STEM in Early Childhood Education: A Constructivist Approach*, 166-201. Publisher Taylor and Francis. Retrieved from: <https://doi.org/10.4324/9781003488873-7>.
 12. Gerhátová, Ž., Perichta, P., Drienovský, M., & Palcut, M. (2021). Temperature measurement – Inquiry-based learning activities for third graders. *Education Sciences*, 11(9), 506. Retrieved from: <https://doi.org/10.3390/educsci11090506>.
 13. Huang, L., & Pei, X. (2024). Exploring the impact of web-based inquiry on elementary school students' science identity development in a STEM learning unit. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11(1), 885. Retrieved from: <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03299-5>.
 14. Ismail, A., Isrokatun, I., Bahkti, D. D., Gumilar, S., Saprudin, S., & Hayat, M. S. (2025). AR-Enhanced Inquiry Learning in Elementary Science: Developing Students' 4C Skills. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 24(11), 826-851. Retrieved from: <https://doi.org/10.26803/ijlter.24.11.39>.
 15. Larkin, K., & Lowrie, T. (2023). Teaching Approaches for STEM Integration in Pre- and Primary School: A Systematic Qualitative Literature Review. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 21, 11-39. Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/s10763-023-10362-1>.
 16. Li, Y., Myers, P., Geary, D.C., Robertson, T., & Popov, V. (2023). Fostering Visuospatial Skills in Children Through Inquiry-Based Learning with Origami: The Case Study of VisMO Lessons. In: Spector, J.M., Lockee, B.B., Childress, M.D. (eds) *Learning, Design, and Technology: An International Compendium of Theory, Research, Practice, and Policy*. Springer, Cham, 2273-2304. Retrieved from: https://doi.org/10.1007/978-3-319-17461-7_173.
 17. Liao, Y.-C., Kim, J., Ottenbreit-Leftwich, A.T., Karlin, M., & Guo, M. (2024). Voices of Elementary Computer Science Teachers: Computer Science Integration Rationales and Practices. *ACM Transactions on Computing Education*, 24(4), 43, 1-26. Retrieved from: <https://doi.org/10.1145/3688854>.

18. Lin, J.-W., & Chen, Y.-M. (2023). Unpacking Students' Modeling Practices During a Modeling-Based STEM Curriculum on Highway Route Selection: Comparing Between High- and Low-Spatial Ability Students. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 21, 67-86 Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/s10763-023-10384-9>.
19. Photo, P. (2025). Teaching Experiences Connected To The Implementation Of Inquiry-Based Practical Work In Primary Science Classrooms. *Research in Science Education*, 55(6), 1493-1516. Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/s11165-025-10235-3>.
20. Rogosic, R., Heidt, B., Passariello-Jansen, J., Bjornor, S., Bonni, S., Dimech, D., Arreguin-Campos, R., Lowdon, J., Jimenez Monroy, K.L., Caldara, M., Eersels, K., Van Grinsven, B., Cleij, T.J., & Dilien, H. (2021). Modular Science Kit as a support platform for STEM learning in primary and secondary school. *Journal of Chemical Education*, 98(2), 439-444. Retrieved from: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01115>.
21. Silva, M.J. (2023). Children's practices with electronic sensors to understand and mitigate sound pollution in primary school. *Research in Science and Technological Education*, 41(1), 107-122. Retrieved from: <https://doi.org/10.1080/02635143.2020.1841150>.
22. Tho, S.W., Chu, W.W., & Fong, T.K. (2023). The innovative use of smartphones for STEM practical activities: A pilot implementation for a Malaysian primary school. *Cross-Disciplinary STEM Learning for Asian Primary Students: Design, Practices, and Outcomes*, 164-177. Retrieved from: <https://doi.org/10.4324/9781003262237-10>.
23. Van Eck, N.J., & Waltman, L. (2023). Manual for VOSviewer version 1.6.20. Universiteit Leiden. 54 p. Retrieved from: https://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.20.pdf.
24. Van Eijck, T., Bredeweg, B., Holt, J., Pijls, M., Bouwer, A., Hotze, A., Louman, E., Ouchchahd, A., & Sprinkhuizen, M. (2025). Combining hands-on and minds-on learning with interactive diagrams in primary science education. *International Journal of Science Education*, 47(18), 2413-2433. Retrieved from: <https://doi.org/10.1080/09500693.2024.2387225>.
25. Van Uum, M.S.J., Peeters, M., & Verhoeff, R.P. (2021). Professionalising Primary School Teachers in Guiding Inquiry-Based Learning. *Research in Science Education*, 51, 81-108. Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/s11165-019-9818-z>.

Про автора

Володимир Староста,

доктор педагогічних наук, професор,
професор кафедри загальної педагогіки
та педагогіки вищої школи,
Державний вищий навчальний заклад
«Ужгородський національний університет»,
Ужгород, Україна
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5880-2482>
volodymyr.starosta@uzhnu.edu.ua

About the Author

Volodymyr Starosta,

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor,
*Department of General Pedagogy and Pedagogy of Higher
Education State University «Uzhhorod National University»,
Uzhhorod, Ukraine
Higher Education State University «Uzhhorod National
University», Uzhhorod, Ukraine
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5880-2482>
volodymyr.starosta@uzhnu.edu.ua*

Статтю надіслано до редколегії 30.04.2026 р.

Статтю рекомендовано до друку 22.05.2026 р.

Статтю опубліковано 31.05.2026 р.