

Exploring the landscape of STEM education and personnel training: a comprehensive systematic review

Mykhailo M. Mintii^[0000–0002–0488–5569]

Kyryvi Rih State Pedagogical University,
54 Gagarin Ave., Kyryvi Rih, 50086, Ukraine

mikhail.mintii9@gmail.com

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=obcrgjsAAAAJ>

Abstract. This article focuses on the generalization of foreign experiences in implementing STEM education and places particular emphasis on the areas of professional training for future teachers of STEM disciplines. By conducting bibliometric analyses of sources from Scopus (93 sources) and Web of Science (42 sources) scientometric databases, four clusters were identified using VOSviewer: 1) STEM education and training; 2) teacher training and primary education; 3) surveys on STEM education; and 4) e-learning and computational thinking in the training of future teachers of STEM disciplines. The research results demonstrate the importance and relevance of STEM education in various fields, and the leading role of the cluster “STEM education and training” has been determined based on the number and strength of links within the network of keyword links of sources on professional training of future STEM teachers. The discussion of the research findings highlights views on the prospects for STEM development in different countries. It is determined that: a) the professional training and social status of teachers are strategically important links in STEM education; b) teachers of “traditional” STEM disciplines (mathematics and natural sciences) require an increased level of knowledge in the field of information technology, particularly through the integration of programming as a component of STEM education; and c) social virtual reality platforms, hyperrealistic modeling, virtual laboratories, educational robotics, augmented, and mixed reality technologies are recommended to increase the motivation of pupils and students to study STEM disciplines.

Keywords: STEM · STEM education · STEM disciplines · Concept of development of science and mathematics education (STEM education) · professional development · teacher education · teacher training and retraining

1 Вступ

“Концепція розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти)” [4] визначає, що у природничо-математичній освіті (STEM-освіті) наявні про-

блеми, які є наслідком загальних проблем у сфері загальної середньої освіти, зокрема зниження рівня викладання природничо-математичних предметів, недосконалість змісту освіти, невідповідність змісту природничо-математичних предметів вимогам сьогодення, розбалансованість обсягу і змісту навчальних програм тощо.

Метою розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти) є комплексне поширення інноваційних методик викладання та об'єднання зусиль учасників освітнього процесу і соціальних партнерів у формуванні необхідних компетентностей здобувачів освіти, які дадуть можливість запропонувати розв'язання проблем суспільства, поєднавши природничі науки, технології, інженерію та математику.

Упровадження “Концепції розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти)” [4] здійснюється з урахуванням принципів забезпечення наступності змісту освіти та запровадження курсової (адаптаційної, ознайомчої) підготовки вчителів відповідних спеціальностей та істотної ролі математики в інтегративному підході реалізації STEM-освіти, послідовне, ґрунтовне, якісне її викладання.

Розвиток STEM-освіти може бути забезпечений на початковому, базовому та вищому (професійному) рівнях. Останній реалізується на рівні вищої освіти, а його основним завданням є становлення фахівців різних науково-технічних, інженерних професій на базі закладів вищої освіти, а також підвищення професійної майстерності педагогічних працівників із впровадження нових методик викладання, відповідних курсів та реалізації інноваційних проєктів.

Упровадження STEM-освіти вимагає від педагогічних та науково-педагогічних працівників активного використання новітніх педагогічних підходів до викладання та оцінювання, інновацій у сфері освіти, практики міжпредметного навчання, методів та засобів навчання, що сприяють розвитку дослідницьких та винахідницьких компетентностей здобувачів освіти [25, 35].

“Концепція розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти)” [4] була прийнята 5 квітня 2020 року, а початок її дії припав на період пандемії COVID-19 та воєнних дій [28], що суттєво утруднило її реалізацію на всіх рівнях та показало, що ключовим елементом її реалізації є кваліфікований учитель. Ураховуючи, що системна робота із розбудови STEM-освіти в Україні розпочалась суттєво пізніше, ніж у інших країнах, актуальною є задача, визначена *метою дослідження*: узагальнення зарубіжного досвіду STEM-освіти та підготовки кадрів – професійної підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін.

Дослідження структуровано у такий спосіб: у першому розділі обґрунтовано його актуальність, у другому визначено засоби бібліометричного аналізу та джерельна база дослідження, у третьому розділі представлено результати кластерного аналізу провідних концепцій дослідження та виконано огляд досліджень першого кластеру, у четвертому подано ключові висновки, а у п'ятому визначено напрями подальших досліджень.

2 Методика

Бібліометричний аналіз є доцільним методом дослідження для вивчення проблеми професійної підготовки майбутніх учителів STEM-дисциплін, тому що він надає можливість:

- визначити основні джерела, авторів, журнали та країни, які зробили внесок у дослідження з цієї тематики;
- проаналізувати тенденції, закономірності та прогалини в результатах досліджень з плином часу та в різних регіонах;
- дослідити розвиток досліджень у галузі та визначення провідних понять дослідження, вивчивши ключові слова, цитування та співцитування публікацій;
- оцінити вплив і якість досліджень за допомогою таких показників, як кількість цитувань, h-індекс та імпакт-фактор журналу.

Бібліометричний аналіз може надати комплексне уявлення про сучасний стан знань і межі досліджень з проблеми професійної підготовки майбутніх учителів STEM-дисциплін та допомогти визначити потенційні напрями подальших розвідок. Для проведення бібліометричного аналізу необхідно визначити мету дослідження, вибрати відповідну базу даних і стратегію пошуку для відбору релевантних публікацій.

Існує багато засобів, які можуть виконати це завдання – BibExcel, CiteSpace II, CitNetExplorer, SciMAT, Sci² Tool, VOSviewer та інші. Вибір засобу залежить від різних факторів, таких як тип і розмір мережі, параметри аналізу та уподобання щодо візуалізації. Згідно з оглядом Moral-Munoz et al. [38], VOSviewer має деякі переваги над іншими засобами, а саме:

- може працювати з великими мережами до 100 000 вузлів і 10 мільйонів зв'язків;
- використовує алгоритм кластеризації, заснований на техніці візуалізації подібності (visualization of similarities – VOS), який оптимізує модульність мережі і створює високоякісні візуалізації;
- пропонує різні варіанти візуального подання: лінійні, кругові та зважені моделі притягання-відштовхування;
- дозволяє користувачеві інтерактивно досліджувати мережу, масштабуючи, панорамуючи, вибираючи і виділяючи вузли і зв'язки;
- підтримує різні типи мереж, такі як співавторство, цитування, бібліографічні зв'язки та мережі повторюваності.

Однак, VOSviewer [12, 40] також має деякі обмеження, зокрема, він не підтримує візуалізації на основі часової шкали, які можуть показати еволюцію мережі з часом, та не надає розширених опцій аналізу, таких як міри центральності, алгоритми виявлення спільнот чи мережева статистика.

Виходячи з поставленої мети дослідження, вказані обмеження VOSviewer не є суттєвими для її досягнення, тому VOSviewer було обрано засобом для побудови та візуалізації бібліометричних мереж.

Достовірність даних для аналізу була забезпечена вибором джерел з двох провідних наукометричних баз: Scopus та Web of Science, які разом забезпечують якість та повноту даних, що використовуються для бібліометричного аналізу.

Пошук у Scopus 13 січня 2023 року за запитом

(TITLE (teacher AND training) AND TITLE-ABS-KEY (stem))

надав 93 результати.

Пошук у Web of Science 13 січня 2023 року за пошуковим запитом

teacher training (Title) and STEM (Topic)

надав 85 результатів, з яких 43 є підмножиною результатів пошук у Scopus, а 42 – унікальні (присутні лише у Web of Science).

Обрані стратегія пошуку та критерії включення і виключення також підвищують достовірність даних.

Тип аналізу в VOSviewer – за спільним вживанням (Co-occurrence), одиниця аналізу – усі включові слова (All keywords).

Границя відбору (мінімальна кількість ключових слів, що зустрічаються) була визначена у 5, що надало можливість відібрати 21 ключове слово з 656.

У результаті аналізу було побудовано мережу зв'язків ключових слів, подану на рис. 1. Валідність методу забезпечується використаннями бібліометричних показників, які відображають мету дослідження, використанням алгоритму кластеризації VOSviewer за замовчанням, який оптимізує модульність і якість кластерів, та візуалізації, яка покращує читабельність та інтерпретацію результатів.

Розробники VOSviewer застосовують таку термінологію [12, с. 4-5]:

- *зв'язок* (link) – зв'язок або відношення між двома елементами (зокрема, ключовими словами);
- *сила зв'язку* (strength) – додатне числове значення: чим воно вище, тим сильніший зв'язок;
- *мережа* (network) – набір елементів разом із зв'язками між ними;
- *кластер* (cluster) – набір елементів мережі, що є близькими один до одного за певною ознакою, позначений номером;
- *вага* (weight) елемента вказує на важливість елемента: елемент з вищою вагою вважається більш важливим, ніж елемент з меншою вагою;
- *рахунок* (score) – атрибут, що може вказувати на будь-яку числову властивість елементів.

Існує два стандартних атрибути ваги:

- $\text{weight} \langle \text{Links} \rangle (w_l)$ – вага зв'язків: кількість зв'язків елемента з іншими елементами;
- $\text{weight} \langle \text{Total link strength} \rangle (w_{ls})$ – вага загальної сили зв'язку: загальна сила зв'язків елемента з іншими елементами.

Додатково були використані такі атрибути ваги та рахунку:

- weight<Occurrences> (w_o) – при роботі з ключовими словами вказує кількість документів, у яких зустрічається ключове слово [12, с. 34];
- score<Avg. pub. year> (s_{apy}) – середній рік публікації документів, у яких зустрічається дане ключове слово [12, с. 34];
- score<Avg. citations> (s_{ac}) – середня кількість цитувань документів, в яких зустрічається дане ключове слово [12, с. 35];
- score<Avg. norm. citations> (s_{anc}) – середня нормалізована кількість цитувань документів, в яких зустрічається дане ключове слово [12, с. 35].

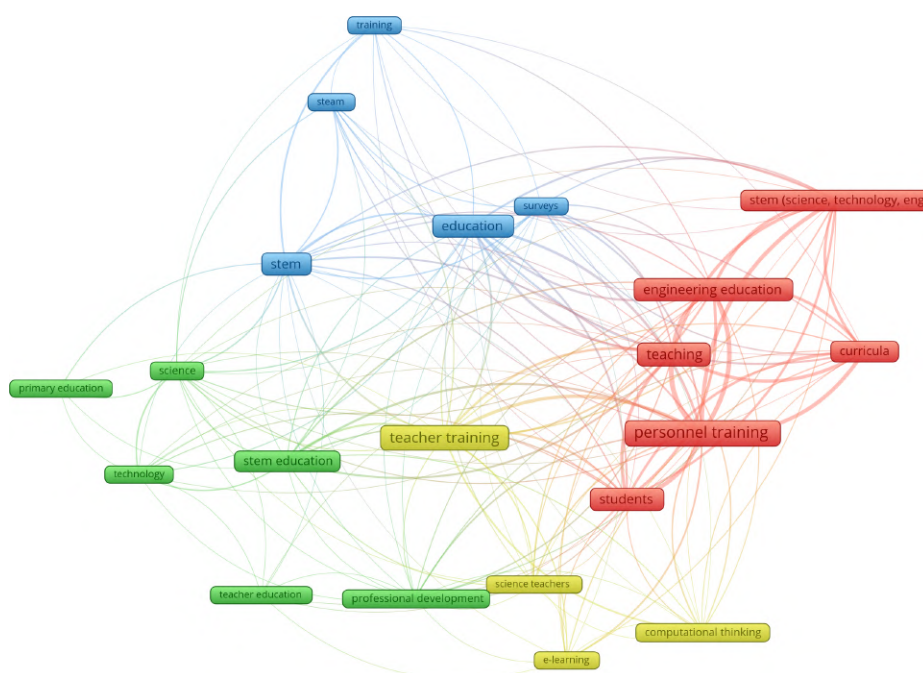


Рис. 1. Мережа зв'язків ключових слів джерел з питань професійної підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін у Scopus та Web of Science.

3 Результати та обговорення

3.1 Виокремлення основних концепцій дослідження

У табл. 1 для кожного ключового слова вказані визначені вище ваги та рахунки. Кластери 1-4 з табл. 1 на рис. 1 візуалізовано у такий спосіб:

- кластер 1 (червоний): STEM-освіта та підготовка кадрів;
- кластер 2 (зелений): професійна підготовка вчителів та початкова освіта;

- кластер 3 (блакитний): опитування щодо STEM-освіти;
- кластер 4 (жовтий): електронне навчання та обчислювальне мислення у підготовці майбутніх вчителів STEM-дисциплін.

Табл. 1. Розподіл ключових слів за кластерами.

Ключове слово	Кластер	w_l	$w_{t s}$	w_o	s_{apy}	s_{ac}	s_{anc}
personnel training	1	19	165	37	2016.9189	3.7568	1.3322
teaching	1	19	122	26	2016.1154	9.2308	0.9856
engineering education	1	18	108	23	2015.2609	3.2609	1.235
students	1	18	93	21	2016	3.5714	1.1567
curricula	1	16	87	17	2017	4.1765	1.4054
stem (science, technology, engineering and mathematics)	1	16	86	18	2017.8333	5.7778	1.3583
science	2	18	31	10	2018.2	0.1	0.0189
professional development	2	17	27	7	2019	2.1429	2.5317
stem education	2	16	44	18	2019.2222	1.5556	1.2956
technology	2	12	19	6	2017.3333	0	0
teacher education	2	8	8	6	2017.3333	30.5	0.8464
primary education	2	5	7	6	2019.5	0	0
stem	3	20	52	22	2019.2273	3.5455	1.2143
education	3	17	69	22	2017.5714	1.5455	0.5902
surveys	3	17	36	5	2017.8	5.6	2.5784
steam	3	12	20	5	2021	0.4	0.7235
training	3	11	18	5	2018.2	0.8	0.249
teacher training	4	18	80	33	2018.5758	1.8182	1.0511
computational thinking	4	14	27	8	2020.125	2.375	1.5525
science teachers	4	14	24	5	2016.6	0.6	1.4714
e-learning	4	13	25	5	2020.6	5	2.2403

Проаналізуємо ключові слова (концепти) у кожному кластері за силою зв'язків.

У першому кластері “STEM-освіта та підготовка кадрів” найбільшу силу зв'язків (19) мають концепти *підготовки кадрів* (personnel training) та *викладання* (teaching) – вони є пов'язаними з усіма іншими, крім концепту початкової освіти другого кластеру. Можливою причиною цього є те, що, згідно Міжнародної стандартної класифікації освіти (МСКО) [58], початкова освіта (primary education) відноситься до спеціальності 0113 – Підготовка вчителя без предметної спеціалізації (Teacher training without subject specialisation), у той час як підготовка майбутніх викладачів STEM-дисциплін за вітчизняними спеціальностями 014 та 015 відповідає спеціальності 0114 – Підготовка вчителя з предметною спеціалізацією (Teacher training with subject specialisation).

Наступними за силою зв'язків є концепти “інженерна освіта” (engineering education) та “студенти” (students): кожен з них має по 18 зв'язків. Концепт

інженерної освіти пов'язаний із усіма концептами 3 та 4 кластерів і частково – із другим (відсутні зв'язки із концептами початкової освіти та педагогічної освіти). Це може бути пояснено тим, що за МСКО вони відносяться до різних галузей знань.

Концепт “*студенти*” також не пов'язаний із концептом початкової освіти у другому кластері та STEAM у третьому кластері. Останнє може бути пов'язане із тим, що “А”-складова (arts – мистецтва) STEM-освіти є суттєво більш поширеною у початковій та середній освіті, ніж у вищій.

Концепти навчального плану (curricula) та STEM (science, technology, engineering and mathematics) мають по 16 зв'язків. *Навчальні плани* пов'язані з усіма концептами 3 та 4 кластерів, а у другому – лише з концептами професійного розвитку та природничих наук. *STEM (science, technology, engineering and mathematics)* пов'язаний з усіма концептами 3 кластеру, а також має зв'язки у другому кластері – з концептами професійного розвитку, природничих наук та STEM-освіти, а у третьому – з підготовкою вчителів, електронним навчанням та обчислювальним мисленням.

Таким чином, концепти першого кластеру (STEM-освіта та підготовка кадрів) мають найбільше зв'язків із третім (опитування щодо STEM-освіти) та четвертим (електронне навчання та обчислювальне мислення у підготовці майбутніх вчителів STEM-дисциплін) кластерами.

У другому кластері “Професійна підготовка вчителів та початкова освіта” найбільшу силу зв'язків (18) має концепт *природничих наук* (science), пов'язаний з усіма концептами 1 та 3 кластерів, а також із такими концептами 4 кластеру, як “підготовка вчителів” та “вчителі природничих наук”.

Концепт *професійного розвитку* (professional development) має 17 зв'язків: з усіма концептами 1 та 4 кластерів, а також із такими концептами 3 кластеру, як STEM, освіта та опитування.

Концепт *STEM-освіти* (STEM education) у кожному кластері не пов'язаний з одним із концептів: навчальними планами (1 кластер), педагогічною освітою (2), професійною підготовкою (3) та електронним навчанням (4).

Концепт *технології* (technology) пов'язаний з усіма концептами другого кластеру, а також із концептами “студенти”, “підготовка кадрів”, “викладання”, “інженерна освіта” першого кластеру, STEM та освітою у третьому кластері та підготовкою вчителів – у четвертому.

Педагогічна освіта (teacher education) пов'язана у другому кластері – з технологіями, природничими науками та професійним розвитком, у першому – зі студентами, викладанням та підготовкою кадрів, у третьому – зі STEM, а у четвертому – з електронним навчанням.

Початкова освіта (primary education) пов'язана із трьома концептами другого кластеру (природничі науки, технології та STEM-освіта), а також із STEM (3 кластер) та підготовкою вчителів (4 кластер). Останнє надає можливість окремого розгляду STEM-освіти у підготовці вчителів початкової школи та STEM-освіти у підготовці вчителів та викладачів.

Таким чином, концепти другого кластеру (професійна підготовка вчителів та початкова освіта) мають найбільше зв'язків із першим кластером (STEM-освіта та підготовка кадрів).

У третьому кластері “Опитування щодо STEM-освіти” найбільшу силу зв'язків (20 – максимальне можливе значення) має концепт *STEM* – центральний для аналізованої вибірки джерел.

Концепти освіти та опитувань мають по 17 зв'язків:

- концепт *освіти* (education) пов'язаний з усіма концептами 1 та 3 кластерів, а також із окремими концептами 2 (природничі науки, STEM-освіта, професійний розвиток, технології) та 4 (підготовка вчителів, учителі природничих наук, обчислювальне мислення);
- концепт *опитувань* (surveys) пов'язаний з усіма концептами 1, 3 та 4 кластерів, а також із окремими концептами другого кластеру: природничі науки, STEM-освіта, професійний розвиток.

Концепт *STEAM* пов'язаний з усіма концептами 3, а також із концептами першого кластеру (за винятком концепту “студенти”), другого (природничі науки, STEM-освіта) та четвертого (підготовка вчителів).

Концепт *професійної підготовки* (training) пов'язаний з усіма концептами 1 і 3 кластерів, а також із природничими науками (2 кластер).

Таким чином, концепти третього кластеру (опитування щодо STEM-освіти) мають найбільше зв'язків із першим кластером (STEM-освіта та підготовка кадрів).

У четвертому кластері “Електронне навчання та обчислювальне мислення у підготовці майбутніх вчителів STEM-дисциплін” найбільшу силу зв'язків (18) має концепт *підготовки вчителів* (teacher training), пов'язаний з усіма концептами 1 та 4 кластерів, а також із окремими концептами 2 (природничі науки, професійний розвиток, STEM-освіта, технології, початкова освіта) та 3 (STEM, STEAM, освіта, опитування).

Наступним за силою зв'язків є концепти “обчислювальне мислення” та “вчителі природничих наук”:

- концепт *обчислювального мислення* (computational thinking) пов'язаний з усіма концептами 1 та 4 кластерів, а також із окремими концептами 2 (професійний розвиток, STEM-освіта) та 3 (STEM, освіта, опитування);
- *вчителі природничих наук* (science teachers) пов'язані з усіма концептами 4 кластерів, а також із окремими концептами 1 (підготовка кадрів, викладання, інженерна освіта, студенти, навчальні плани), 2 (професійний розвиток, STEM-освіта, природничі науки) та 3 (STEM, освіта, опитування).

Електронне навчання (e-learning) пов'язане з усіма концептами 1 та 4 кластерів, а також із окремими концептами 2 (професійний розвиток, педагогічна освіта) та 3 (STEM, опитування).

Таким чином, концепти четвертого кластеру (електронне навчання та обчислювальне мислення у підготовці майбутніх вчителів STEM-дисциплін)

також мають найбільше зв'язків із першим кластером (STEM-освіта та підготовка кадрів).

3.2 Обговорення: кластер “STEM-освіта та підготовка кадрів”

Згідно “Концепції розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти)” (далі – Концепція), природничо-математична освіта (STEM-освіта) – цілісна система природничої і математичної освітніх галузей, метою якої є розвиток особистості через формування компетентностей, природничо-наукової картини світу, світоглядних позицій і життєвих цінностей з використанням трансдисциплінарного підходу до навчання, що базується на практичному застосуванні наукових, математичних, технічних та інженерних знань для розв'язання практичних проблем для подальшого використання цих знань і вмінь у професійній діяльності [4].

Концепція пропонує політичні підходи до сприяння розвитку наукоємних та високотехнологічних галузей, спрямовані на заохочення дітей та молоді до проведення досліджень та оволодіння науково-технічними, інженерними професіями, зокрема – *стимулювання здобувачів освіти до обрання науково-технічної діяльності, що передбачає здійснення заходів, які дають змогу розв'язати проблеми соціального сприйняття науки і науково-технічних, інженерних професій, а також професійної орієнтації, спрямованої на розвиток партнерства між закладами освіти і роботодавцями.*

Спрямування учнів та студентів на STEM-професії. Наукоємні та високотехнологічні галузі є важливими факторами розвитку економіки. Banks-Hunt et al. [2] стверджують, що залучення молоді до кар'єри в галузі науки, технологій, інженерії та математики (STEM) є критично важливим для задоволення потреб у чистій воді, меншому забрудненні, належному постачанні їжі, житла, зв'язку та технологічному лідерстві. Автори описують партнерство між високотехнологічною корпорацією та Вірджинійським технічним університетом, що має на меті створення програм з підготовки вчителів та учнів з інженерної освіти.

Дефіцит фахівців наукоємних та високотехнологічних галузей відчутний в Україні і в усьому світі. Even-Zahav [15] провів дослідження, метою якого було розробити план управління ризиками в STEM-освіті в Ізраїлі, на основі участі п'яти груп стейкхолдерів. У результаті дослідження було виявлено стратегічний ризик в категорії “Викладачі – можливості, підготовка та соціальний статус”, і запропоновано співпрацю між зацікавленими сторонами як засіб зменшення ризиків.

Основною причиною вказаних дефіциту та ризиків є втрата популярності науково-технічних, інженерних професій. На думку Ragusa [43, 44], недостатня кількість студентів, що отримують ступінь в галузі математики, науки та інженерії, може призвести до суттєвих проблем. Автор зосереджується на проблемі зниження інтересу до науки, технологій, інженерії та математики серед студентів закладів вищої освіти. Він пропонує вирішення цих

проблем шляхом поліпшення якості навчання STEM-дисциплін у середній та старшій школі за допомогою партнерства між університетами та школами, зосереджуючись на підвищенні кваліфікації вчителів та введенні в дію нових навчальних програм, спрямованих на підвищення інтересу та успішності учнів у галузі STEM.

Про зниження рівня зацікавленості до вивчення STEM-дисциплін свідчить, зокрема, негативна динаміка кількості випускників закладів загальної середньої освіти, які проходять зовнішнє незалежне оцінювання з математики, фізики, хімії та біології. Це проблема не лише України: так, Seals and Valdiviejas [49] розглядають вплив програми розвитку мотивації афроамериканських, латиноамериканських та корінних студентів до навчання математики, а Symaco and Daniel [51], досліджуючи динаміку природничо-наукової освіти в Азії, відзначають потребу розвитку творчого мислення учнів та використання STEM-освіти як інструменту формування цінностей, навичок та умінь у молодших школярів.

Підготовка кадрів для STEM. Інший пропонований Концепцією підхід – *удосконалення підготовки педагогічних працівників та забезпечення їх професійного розвитку і стимулювання.*

Green and Anid [22] стверджують, що необхідно збільшити кількість вчителів, які навчають STEM-дисциплінам, щоб забезпечити економічну стабільність країни та залишатись конкурентоспроможними на глобальному рівні. На прикладі програми “Advanced Certificate in STEM” автори досліджують ефективність мультидисциплінарного підходу до навчання вчителів STEM-дисциплін та оцінюють результати, що полягають у покращенні знань та навичок викладання цих предметів.

Основна думка Fuentes Hurtado and Gonzalez Martinez [19] полягає у тому, що грамотна підготовка вчителів STEM-дисциплін з використанням гейміфікації може підвищити зацікавленість та мотивацію учнів до вивчення STEM-дисциплін. У статті наведено аналіз трьох областей знань (зміст, методика та технології), які повинні розвивати вчителі STEM-дисциплін, щоб успішно впроваджувати гейміфікацію у процес їх навчання. Salleh et al. [46] досліджено сприйняття майбутніми вчителями математики та природничих наук STEM програми підготовки фасилітаторів та її вплив на їх особистість. Дослідження виявило, що програма мала позитивний вплив на особистісний розвиток майбутніх учителів.

Demir [8] проаналізовано думки вчителів математики щодо STEM-навчання та визначено необхідність підготовки майбутніх вчителів до інтеграції STEM-освіти в їхні уроки. Galadima et al. [20, 21] пропонують інтегроване STEM-навчання майбутніх учителів математики. Tumasheva et al. [56] презентують результати дослідження з підготовки вчителів математики до STEM-освіти в школах та інших освітніх установах. Автори рекомендують використання вибіркового курсу для підготовки майбутніх вчителів математики до впровадження STEM-навчання, з урахуванням принципів пра-

ктичної орієнтації, багатодисциплінарності, професійного спрямування та застосування регіонального контексту.

Elías et al. [14] обговорюють необхідність розвитку цифрових та STEM-навичок у студентів, які прагнуть стати вчителями хімії. Ortega-Torres [39] досліджує готовність студентів-майбутніх вчителів до STEM-навчання за методом проєктів. У статті [11] представлено проєктно-орієнтовану методику навчання майбутніх вчителів хімії у неформальних освітніх середовищах, зокрема в наукових музеях. Використання такого підходу дозволяє досягати позитивних результатів у відношенні мотивації та зацікавленості студентів до вивчення хімії.

Tillinghast et al. [54] обговорюється доцільність підготовки вчителів до викладання наук про Землю у школі за допомогою програми підготовки вчителів, проведеної в музеї Sterling Hill Mining Museum. У статті наводяться результати опитування вчителів, які брали участь у програмі, щодо того, як вони використовували отримані знання в класі, з метою збільшення обсягу навчального матеріалу з геології в школах.

Дослідження Lantau et al. [29] спрямовано на впровадження міждисциплінарних STEM-проєктів на основі методу моделювання. Dibarbora [9] описує методику навчання інформаційних технологій майбутніх учителів фізики, в якій моделювання є ключовою темою. Автор пропонує використання програмних засобів навчання, фокусуючись на фізичних моделях, а також на експериментальній перевірці за допомогою програмного забезпечення для відеоаналізу Tracker або плат Arduino та датчиків.

Sundaram [50] обговорює програму підготовки вчителів середніх та початкових шкіл до застосування STEM-освіти у навчальному процесі.

Yildirim [61] пропонує модель професійного розвитку в галузі STEM-освіти для вчителів, яка має на меті покращити їхню підготовку та компетентність у цих царинах, включаючи інтеграцію STEM-підходів у плани уроків. У дослідженні було виявлено проблеми, які виникають у вчителів під час навчання STEM-дисциплін, і запропоновано вирішення цих проблем за допомогою представленної моделі.

Ferrando Palomares et al. [17] оцінюють ефективність використання інформаційно-комунікаційних технологій у навчанні природничих наук та математики студентів факультету початкової освіти Університету Валенсії (Іспанія), зокрема їх застосування для інтеграції навчання цих предметів. Результати виявили деякі труднощі щодо міждисциплінарного навчання наук та математики на початкових курсах. Використання ІКТ в навчанні STEM-дисциплін є можливістю для розвитку навичок викладання майбутніх учителів.

Ezzeldin [16] досліджує вплив веб-навчання на розвиток компетентностей вчителів середніх шкіл з питань упрвадження STEM підходу. Автори статті [53] реалізували проєкт "Virtual STEM" у Нігерії та Кенії з метою підтримки вчителів у STEM-навчанні за допомогою дистанційної освіти та дослідницько-зорієнтованого навчання.

Основна думка Madahae et al. [31] полягає у тому, що вчителі відіграють важливу роль у створенні навчальних матеріалів та ситуацій, які сприяють розвитку в учнів навичок вищого порядку мислення та інтегрують науку в повсякденне життя. Автори пропонують різні майстер-класи та практичні заняття для вчителів з метою підвищення їх професійного рівня.

Weiner et al. [59] проаналізували, як воркшоп, присвячений принципам створення мейкерських інновацій, впливає на погляди майбутніх вчителів STEM-дисциплін, на процес планування уроків. Виявлено, що студенти, які ознайомилися з мейкерськими принципами та практикою, можуть спланувати урок, який є більш орієнтованим на учнів та активнішим, ніж звичайний.

Barana et al. [3] досліджують ефективність 32-годинного курсу підвищення кваліфікації для вчителів STEM-дисциплін в середній школі. Метою курсу було узагальнення культури постановки та вирішення проблем з використанням засобів ІКТ.

Основна думка статті [48] полягає в тому, що використання робототехніки, програмування та технологій є ефективним, проте вчителі-практики не завжди готові до їх впровадження. У статті описується методика навчання вчителів-практиків робототехніки та програмування, а також подветься оцінка результатів її впровадження серед 184 вчителів.

Дослідження [60] показало, що статичний та адаптивний супровід учителів може допомогти розвинути компетентності з дизайн-мислення у викладачів STEM-дисциплін.

Martinez-Borreguero et al. [33] виявили необхідність підвищення наукової, методичної та емоційної компетентності майбутніх вчителів початкової школи щодо навчання STEM-дисциплін. Punsrigate Khonjaroen and Srikoop [42] розробили та довели ефективність навчального курсу, спрямованого на підвищення компетентності вчителів початкової школи у STEM-освіті. Так, основна думка Martinez-Borreguero et al. [32] полягає у тому, що низький рівень знань студентів-вчителів та учнів початкової школи щодо фізичних понять, зокрема, про сили та їх вплив, може стати перешкодою для викладання наукових концепцій у початковій школі. Martinez-Borreguero et al. [32] пропонують використовувати активні та практичні методи підготовки вчителів, щоб підвищити рівень їх знань та вміння інтегрувати науковий матеріал у STEM-проекти.

Основна думка статті [52] полягає в тому, що успішна інтеграція технологій та інженерії у навчальні плани початкової школи є критично важливою для формування майбутніх вчителів STEM-дисциплін, а також для забезпечення кращої підготовки учнів з цих дисциплін. Стаття описує позитивний вплив курсу, який навчає студентів-вчителів розробляти STEM-уроки та розуміти свою роль у спрямуванні учнів на інженерні професії. Castro-Rodríguez and Montoro [6] дослідили можливість впровадження STEM-освіти в підготовку вчителів початкових класів в Іспанії на основі аналізу навчальних планів, що використовуються в університетах країни. Дослідження показало, що в більшості випадків навчальні плани включають три основні характеристики STEM-освіти, а саме розв'язання проблем,

застосування знань у реальних ситуаціях та міжпредметність, інтеграція різних предметів навчання через спільну тему.

Розробка та вдосконалення методик навчання STEM-дисциплін. Останній політичний підхід, що пропонує Концепція, полягає у *розробленні ефективних і привабливих методів впровадження навчальних програм з навчальними методиками природничо-математичної освіти (STEM-освіти)*.

Chirico et al. [7] досліджують вплив викладання із використанням платформи соціальної віртуальної реальності AltspaceVR на інтерес до STEM-навчання вчителів старших класів. Результати показали, що авторська методика може підвищити інтерес до науки та технології незалежно від віку.

Mateos-Nunez et al. [36] досліджують зв'язок між емоційними та пізнавальними факторами в навчанні STEM-дисциплін та визначають, що практичні та експериментальні методи навчання є ефективнішими за традиційні методи. Автори рекомендують зміцнювати позитивне ставлення, розвивати компетентності та емоційну сферу учнів на різних стадіях освіти, зокрема на стадії середньої освіти, де починається зниження інтересу до STEM-дисциплін.

Martinez-Borreguero et al. [34] висловлено думку, що в сучасному освітньому процесі існує проблема недостатнього розвитку наукових навичок учнів, зокрема у галузі фізики, що призводить до негативних емоцій та ставлення до неї. Автори стверджують, що використання гіперреалістичних симуляцій та STEM може покращити навчання фізики та сприяти розвитку науково-технологічних компетентностей майбутніх вчителів, збільшуючи їх рівень впевненості у власних знаннях і навичках.

Elisa et al. [13] пропонують використання віртуальних лабораторних практикумів на основі смартфонів для подолання обмежень у практичних заняттях з фізики у школах регентства Бенер-Мерія (Індонезія), особливо в умовах пандемії COVID-19. Це може покращити якість навчання фізики в школах та підвищити педагогічну компетентність вчителів.

Основна думка статті [5] полягає в тому, що існуючі ініціативи та лабораторії використання освітньої робототехніки часто не мають належного педагогічного фундаменту, а також проводяться недостатньо підготовленими вчителями та не оцінюються належним чином з точки зору ефективності. Автори пропонують навчальний курс з робототехніки, заснований на педагогічних підходах та досліджують думки вчителів про робототехніку щодо її використання та впливу на розвиток студентів. Опитування показали, що вчителі вважають робототехніку важливим інструментом для покращення мотивації студентів, розвитку навичок планування, роботи в команді, вирішення проблем та креативного розвитку.

Kert [26] зауважає, що вивчення програмування дітьми набуває все більшої популярності, і, зокрема, в Туреччині підтримується на національному рівні. Автор досліджує сучасні методологічні та педагогічні вимоги до ви-

кладання програмування, а також пропонує інноваційну методику навчання вчителів інформатики, що дає позитивні результати.

Asar et al. [1] дослідили вплив навчання STEM на академічні досягнення учнів четвертого класу в науці та математиці, а також їхні погляди на навчання STEM. Результати показали, що навчання STEM позитивно впливає на досягнення в науці та математиці, учні мають позитивні думки про таке навчання та можуть розглядати STEM-напрямки у майбутньому як свої професійні обрання.

Rursch et al. [45] розглядається, що вчителям потрібен підвищений рівень знань в галузі інформаційних технологій, щоб допомогти учням здобувати знання в рамках ІТ-клубів у школах. Програма ІТ-Adventures створена для організації таких клубів, де учні самостійно займаються вивченням тем, таких як кібербезпека, проектування ігор та програмування роботів, а вчителі-наставники допомагають учням з опануванням матеріалу та при вирішенні складних завдань.

ІТ-клуб є різновидом STEM-лабораторії – навчального кабінету або приміщення закладу освіти, оснащеного сучасними засобами навчання та обладнанням для залучення здобувачів освіти до навчально-дослідницької, дослідницько-експериментальної, конструкторської, винахідницької та пошукової діяльності відповідно до стандартів освіти, освітніх та навчальних програм з використанням проектних технологій в освітньому процесі [4].

Основна думка авторів [18] полягає в тому, що нерівність у різноманітності в галузі STEM, зокрема щодо гендерної нерівності, є світовим викликом, який необхідно вирішувати шляхом створення STEAM-лабораторій у середніх школах та підготовки вчителів до їх реалізації. Dinh and Nguyen [10] описано результати дослідження, яке зосереджується на ролі гендерного фактору в навчанні STEM-освіти. Автори наголошують на необхідності врахування гендерних аспектів при навчанні STEM-дисциплін.

Toldson and Lewis [55] розглядають ефективність моделі технічної допомоги для підвищення конкурентоспроможності історичних чорних коледжів та університетів та інших установ США, що обслуговують менші міноритарні групи, які прагнуть отримати фінансування для розширення підготовки вчителів у галузі STEM за програмою стипендій для вчителів Роберта Нойса Національного наукового фонду (США).

Hodhod et al. [24] розглядають важливість впровадження обчислювального мислення в навчання STEM-дисциплін для покращення здатності учнів до аналізу проблем і проектування рішень. В статті описано досвід проведення семінару з обчислювального мислення для вчителів STEM-дисциплін, представлені зразки уроків та проектів, а також розглянуто результати застосування цих уроків у практиці вчителів.

Pewkam and Chamrat [41] дослідили, як і до якого рівня у навчанні інформатики може бути розвинене вміння обчислювального мислення вчителів початкової та середньої школи в Таїланді, та розробили програму онлайн-навчання для підвищення рівня їх компетентності в цій області. Результати показують, що така програма може покращити базові навички обчислю-

вального мислення у майбутніх вчителів, а її ключовими характеристиками є технічна підтримка, система управління навчанням, активне залучення та релевантність змісту навчання потребам студентів.

Knies et al. [27] описують переробку навчальної програми для вчителів з метою включення до неї вивчення обчислювального мислення в контексті STEM-дисциплін. Результати дослідження показали високу задоволеність учасників навчальної програми онлайн-модулем з обчислювального мислення, а також позитивну динаміку щодо використання обчислювального мислення.

Tzafilkou et al. [57] досліджують ставлення вчителів STEM-дисциплін до дистанційного викладання, їх сприйняття перешкод та потреби в навчанні, і підкреслюють необхідність цілеспрямованої підготовки вчителів до використання цифрових засобів та методик в умовах дистанційного викладання STEM-дисциплін, а також потребу в психологічній підтримці.

Lasica et al. [30] описують проект EL-STEM, який спрямований на використання технологій доповненої та змішаної реальності (AR/MR) в STEM-освіті старшокласників, а також на розробку програми підвищення кваліфікації вчителів з використанням цих технологій у навчанні. Головна мета проекту – збільшити зацікавленість учнів у STEM-дисциплінах та залучити до їх навчання.

4 Обмеження

Головне обмеження дослідження пов'язано із обраними методом кластеризації VOS та засобом VOSviewer, які базуються на візуалізації подібності між публікаціями. Однак цей метод не вловлює семантичного значення та контексту публікацій, які є суттєвими для розуміння тем та напрямків дослідження, що змусило виконати ручний (не автоматизований) розподіл результатів, описаних у публікаціях, за політичними підходами Концепції [4]. Крім того, VOSviewer має деякі описані вище обмеження, такі як нездатність обробляти великі набори даних, відсутність часового та географічного аналізу і залежність від зовнішніх джерел даних.

Існують більш ефективні та виразні методи кластеризації наукових статей, які використовують не лише метадані, а й семантичний аналіз змісту цих статей. Так, Hassan and Haddawy [23] пропонують нову методику семантичного аналізу потоків знань між країнами за допомогою даних публікацій і цитувань, яка використовує тематичну модель із матрицею відстаней (розширення класичної моделі латентного розподілу Діріхле) для ідентифікації та порівняння тем досліджень, створених різними країнами в певній дослідницькій галузі. Методика також може показати різницю у використанні одних і тих же знань різними країнами.

Стаття Salloum et al. [47] представляє огляд підходів до семантичного аналізу, включаючи прихований семантичний аналіз, явний семантичний аналіз та аналіз настроїв. У статті обговорюються переваги та недоліки кожного підходу, а також їх застосування в обробці природної мови та машин-

ному навчанні. Зокрема, методи обробки природної мови (NLP) для вилучення семантичної інформації з текстів можуть бути використані для ідентифікації сутностей, зв'язків і подій, які згадуються в тексті, та подальшої кластеризації документів на основі цих семантичних концепцій.

Для забезпечення достовірності інтерпретації результатів бібліометричного аналізу (зокрема, визначення ключових понять дослідження, проблем та тенденцій у галузі) використовувались як авторські знання і досвід у галузі (викладача STEM-дисциплін і аспіранта), так й консультації з іншими викладачами і дослідниками у галузі [37], а також додаткові джерела інформації для підтвердження та контекстуалізації висновків.

5 Висновки

Проведений огляд досліджень із STEM-освіти та підготовки кадрів надав можливість зробити такі висновки:

1. STEM-освіта позитивно впливає на досягнення в природничих науках і математиці, що сприяє позитивному ставленню студентів до такої освіти та їх професійній орієнтації на наукоємні та високотехнологічні галузі, які є важливими чинниками розвитку економіки. Водночас у цих галузях існує дефіцит спеціалістів, який відчувається в Україні та в усьому світі.
2. Зниження інтересу до STEM-дисциплін є глобальною проблемою. Існує низка факторів, які цьому сприяють, зокрема сприйняття STEM-дисциплін як складних та нецікавих. Для розв'язання цієї проблеми, зокрема, необхідно зробити STEM-дисципліни більш привабливими та наближеними до життя, надати більше підтримки вчителям STEM-дисциплін і зробити STEM-освіту більш доступною для всіх учнів.
3. Нерівність у сфері STEM, зокрема гендерна нерівність, є глобальною проблемою, яку можна вирішити шляхом створення STEM-лабораторій у середніх школах та підготовкою вчителів з урахуванням гендерних аспектів.
4. Обчислювальне мислення є важливою складовою STEM-освіти. Існують різні способи впровадження обчислювального мислення в STEM-освіту, зокрема проведення спеціальних семінарів для вчителів STEM-дисциплін, розробка й упровадження онлайн-навчальних програм із розвитку обчислювального мислення, та надання вчителям методичної підтримки із впровадження обчислювального мислення у навчанні STEM-дисциплін.
5. Стратегічно важливою ланкою STEM-освіти є професійна підготовка та соціальний статус учителів. Співпраця між усіма зацікавленими сторонами у цьому питанні є засобом зменшення ризиків у STEM-освіті. У підготовці майбутніх учителів STEM-дисциплін доцільним є:
 - інтеграція STEM-підходу у програми підготовки майбутніх учителів математики та природничих наук;

- використання курсів за вибором для підготовки до впровадження STEM-освіти;
 - розвиток проєктного мислення, цифрових та STEM-навичок;
 - реалізація міждисциплінарних STEM-проєктів, зокрема, на основі методу моделювання;
 - використання активних і практико орієнтованих методів навчання вчителів для підвищення рівня їх знань та вміння інтегрувати науковий матеріал у STEM-проєкти.
 - інтеграція формальних та неформальних освітніх середовищ, зокрема, роботи в аудиторії та науковому музеї;
 - підвищення науково-методичної та емоційної компетентності майбутніх учителів щодо викладання STEM-дисциплін;
 - застосування дослідницького підходу та експериментування.
6. Учителям “традиційних” STEM-дисциплін (математики та природничих наук) потрібен підвищений рівень знань у сфері інформаційних технологій, зокрема, через поширення навчання програмуванню як складової STEM-освіти. Так, у навчанні STEM-дисциплін доцільним є:
- використання веб-орієнтованого та дистанційного навчання;
 - введення ІКТ-підтримуваних навчальних майстерень (STEM-воркшопів) як форми організації навчання, спрямованої на інноваційну діяльність;
 - введення робототехніки та програмування.
7. Для підвищення інтересу учнів і студентів та розвитку їх мотивації до навчання STEM-дисциплін доцільно застосовувати засоби ІКТ, зокрема:
- застосування платформ соціальної віртуальної реальності, гіперреалістичного моделювання, віртуальних лабораторій на основі мобільних пристроїв є методично обґрунтованим у всіх STEM-дисциплінах;
 - провідним засобом зміцнення позитивного ставлення до STEM-дисциплін на етапі середньої освіти, коли інтерес до них починає спадати, є освітня робототехніка, використання якої може бути важливим інструментом підвищення мотивації учнів, розвитку навичок планування, командної роботи, вирішення проблем та їх творчого розвитку;
 - технології доповненої та змішаної реальності (AR/MR) можна використовувати для підвищення інтересу студентів до STEM-дисциплін та залучення їх до навчання.

6 Напрями подальших досліджень

Проведене дослідження стосується професійної підготовки майбутніх учителів STEM-дисциплін у вузькому сенсі – проаналізовані лише ті дослідження, які безпосередньо стосувались основних концепцій STEM-освіти та підготовки кадрів для її реалізації. Подальше дослідження планується, зокрема, у таких напрямках:

- а) *інженерна складова STEM-освіти* для вчителів початкової та середньої школи: реальні та віртуальні лабораторії, засоби Індустрії 4.0, виробниче та музейне навчання, проєктне мислення, управління ризиками для STEM-освіти в Україні на прикладі Ізраїлю, професійна орієнтація на інженерні спеціальності для відновлення країни та досягнення економічної стабільності;
- б) *STEM-зорієнтовані компетентності*: дослідницька компетентність, компетентність у інтерактивному конструктивістському навчанні, управління STEM-навчанням, критичне мислення, математична компетентність, технологічна компетентність, інформатична компетентність, кібербезпека, компетентність у природничих науках та інші;
- в) *викладання STEM-дисциплін*: дистанційне навчання, трансдисциплінарний підхід, комбіноване навчання, моделювання, віртуальне STEM-навчання, історичний підхід, студентоцентроване навчання, модульний підхід, мейкерство, гендерні аспекти, інтерактивні технології, освітня робототехніка, імерсивні технології, проєктне навчання, застосування моделі 5Е та інші;
- г) *STEM-курикулум*: початкова школа, середня школа, профільна школа, дуальна освіта, підвищення кваліфікації та перепідготовка, позашкільна STEM-освіта, оцінювання сформованості STEM-компетентностей.

Вказані напрями передбачають подальший аналіз джерел, відібраних у розділах 2 та 3, зокрема таких, що відносяться до кластерів 2 (професійна підготовка вчителів та початкова освіта), 3 (опитування щодо STEM-освіти) та 4 (електронне навчання та обчислювальне мислення у підготовці майбутніх вчителів STEM-дисциплін).

References

- [1] Acar, D., Tertemiz, N., Taşdemir, A.: The effects of STEM training on the academic achievement of 4th graders in science and mathematics and their views on STEM training teachers. *International Electronic Journal of Elementary Education* **10**(4), 505–513 (2018), <https://doi.org/10.26822/iejee.2018438141>
- [2] Banks-Hunt, J.M., Adams, S., Ganter, S., Bohorquez, J.C.: K-12 STEM Education: Bringing the engineering maker space, student-centered learning, curriculum, and teacher training to middle schools. In: *Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE*, vol. 2016-November, p. 7757531, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. (2016), <https://doi.org/10.1109/FIE.2016.7757531>
- [3] Barana, A., Fissore, C., Marchisio, M., Pulvirenti, M.: Teacher training for the development of computational thinking and problem posing & solving skills with technologies. In: Roceanu, I. (ed.) *eLearning and Software for Education Conference*, pp. 136–144, National Defence University - Carol I Printing House (2020), <https://doi.org/10.12753/2066-026X-20-103>

- [4] Cabinet of Ministers of Ukraine: Pro skhvalennia Kontseptsii rozvytku pryrodnycho-matematychnoi osvity (STEM-osvity) [On approval of the Concept for the development of science and mathematics education (STEM education)] (2020), URL <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-%D1%80#Text>
- [5] Castro, E., Cecchi, F., Salvini, P., Valente, M., Buselli, E., Menichetti, L., Calvani, A., Dario, P.: Design and Impact of a Teacher Training Course, and Attitude Change Concerning Educational Robotics. *International Journal of Social Robotics* **10**(5), 669–685 (2018), <https://doi.org/10.1007/s12369-018-0475-6>
- [6] Castro-Rodríguez, E., Montoro, A.B.: STEM education and primary teacher training in Spain [Educación STEM y formación del profesorado de primaria en España]. *Revista de Educacion* **2021**(393), 353–378 (2021), <https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2021-393-497>
- [7] Chirico, A., Serafini, F., Pizzolante, M., Malvezzi, R., Gianotti, E., Micucci, C., Manduca, E., Carvelli, C., Vago, F., Renda, M., Cascio, E., Gaggioli, A.: Inspiring awe in high school teachers: Design and preliminary test of a virtual training on AltspaceVR. *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine* **20**, 31–35 (2022)
- [8] Demir, B.K.: The opinions of mathematics teacher candidates who have received a STEM training on STEM and the activities they designed in the class. *Athens Journal of Education* **8**(4), 401–416 (2021), <https://doi.org/10.30958/aje.8-4-4>
- [9] Dibarbora, C.: Computational models and experimental validation at the physics teacher training college using Scilab and Arduino. *Journal of Physics: Conference Series* **1882**(1), 012139 (2021), <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1882/1/012139>
- [10] Dinh, D.H., Nguyen, Q.L.: The involvement of gender in STEM training for teachers. *European Journal of Educational Research* **9**(1), 363–373 (2020), <https://doi.org/10.12973/eu-jer.9.1.363>
- [11] Domenici, V.: STEAM Project-Based Learning Activities at the Science Museum as an Effective Training for Future Chemistry Teachers. *Education Sciences* **12**(1), 30 (2022), <https://doi.org/10.3390/educsci12010030>
- [12] van Eck, N.J., Waltman, L.: VOSviewer Manual (2018), URL https://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.8.pdf
- [13] Elisa, E., Farhan, A., Herliana, F., Wahyuni, A., Susanna, S.: High school Physics teachers' perceptions of the learning revolution era 4.0 at training activities in Bener Meriah Regency. *Journal of Physics: Conference Series* **1882**(1), 012030 (2021), <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1882/1/012030>
- [14] Elías, M., Pérez, J., Cassot, M.D.R., Carrasco, E.A., Tomljenovic, M., Zúñiga, E.A.: Development of digital and science, technology, engineering, and mathematics skills in chemistry teacher training. *Frontiers in Education* **7**, 932609 (2022), <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.932609>
- [15] Even-Zahav, A.: Risk Management of STEM Education - The Strategic Risk: Teachers - Opportunities, Training and Social Status in Israel. *Advances*

- in *Intelligent Systems and Computing* **861**, 73–89 (2019), https://doi.org/10.1007/978-3-030-01406-3_7
- [16] Ezzeldin, S.M.Y.: A Web-Based Training Program for Developing Professional Attitudes and Literacy of STEM Among Science Teachers. *International Journal of Online Pedagogy and Course Design* **12**(1) (Jan-Mar 2022), ISSN 2155-6873, <https://doi.org/10.4018/IJOPCD.302085>
 - [17] Ferrando Palomares, I., Hurtado Soler, D., Beltran Meneu, M.J.: Pre-service teacher training in STEM: a teaching experience. *ATTIC - Revista d Innovacio Educativa* (20), 35–42 (Jan-Jun 2018), ISSN 1989-3477, <https://doi.org/10.7203/attic.20.10946>
 - [18] Fonseca, D., Jurado, E., García-Holgado, A., Olivella, R., García-Peñalvo, F.J., Sanchez-Sepulveda, M., Amo, D., Maffeo, G., Yigit, Ö., Hofmann, C., Quass, K., Sevinç, G., Keskin, Y.: Conceptualizing a Teacher Training for Identifying STEAM-Lab Spaces to Address Diversity Gaps. *Lecture Notes in Educational Technology* pp. 29–50 (2022), https://doi.org/10.1007/978-981-19-7431-1_3
 - [19] Fuentes Hurtado, M., Gonzalez Martinez, J.: Secondary Teachers Training Needs to Implement Gamified Experiences in STEM. *RED - Revista de Educación a Distancia* (54) (Mar 31 2017), ISSN 1578-7680, <https://doi.org/10.6018/red/54/8>
 - [20] Galadima, U., Ismail, Z., Ismail, N.: A need analysis for developing integrated stem course training module for pre-service mathematics teachers. *International Journal of Engineering and Advanced Technology* **8**(5), 47–52 (2019), <https://doi.org/10.35940/ijeat.E1006.0585C19>
 - [21] Galadima, U., Ismail, Z., Ismail, N.: A new pedagogy for training the pre-service mathematics teachers readiness in teaching integrated STEM education. *International Journal of Engineering and Advanced Technology* **8**(5), 1272–1281 (2019), <https://doi.org/10.35940/ijeat.E1181.0585C19>
 - [22] Green, S.L., Anid, N.M.: Training K-12 teachers in STEM education: A multi-disciplinary approach. In: *ISEC 2013 - 3rd IEEE Integrated STEM Education Conference*, p. 6525206 (2013), <https://doi.org/10.1109/ISECon.2013.6525206>
 - [23] Hassan, S.U., Haddawy, P.: Analyzing knowledge flows of scientific literature through semantic links: a case study in the field of energy. *Scientometrics* **103**(1), 33–46 (Apr 2015), ISSN 1588-2861, <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1528-3>
 - [24] Hodhod, R., Khan, S., Ray, L., Kurt-Peker, Y.: Training teachers to integrate computational thinking into K-12 teaching. In: *SIGCSE 2016 - Proceedings of the 47th ACM Technical Symposium on Computing Science Education*, pp. 156–157, Association for Computing Machinery, Inc (2016), <https://doi.org/10.1145/2839509.2844675>
 - [25] Hrynevych, L., Morze, N., Vember, V., Boiko, M.: Use of digital tools as a component of STEM education ecosystem. *Educational Technology Quarterly* **2021**(1), 118–139 (Mar 2021), <https://doi.org/10.55056/etq.24>

- [26] Kert, S.B.: A proposal of in-service teacher training approach for computer science teachers. *European Journal of Educational Research* **8**(2), 477–489 (2019), <https://doi.org/10.12973/eu-jer.8.2.477>
- [27] Knie, L., Standl, B., Schwarzer, S.: First experiences of integrating computational thinking into a blended learning in-service training program for STEM teachers. *Computer Applications in Engineering Education* **30**(5), 1423–1439 (2022), <https://doi.org/10.1002/cae.22529>
- [28] Kovalchuk, V.I., Maslich, S.V., Movchan, L.H.: Digitalization of vocational education under crisis conditions. *Educational Technology Quarterly* **2023**(1), 1–17 (Jan 2023), <https://doi.org/10.55056/etq.49>
- [29] Lantau, J.M., Bracke, M., Bock, W., Capraro, P.: The Design of a Successful Teacher Training to Promote Interdisciplinary STEM Modelling Projects. *International Perspectives on the Teaching and Learning of Mathematical Modelling* pp. 455–465 (2020), https://doi.org/10.1007/978-3-030-37673-4_39
- [30] Lasica, I.E., Meletiou-Mavrotheris, M., Katzis, K., Dimopoulos, C., Mavrotheris, E.: Designing a teacher training program on the integration of augmented and mixed reality technologies within the educational process. In: Chova, L.G., Martinez, A.L., Torres, I.C. (eds.) *12th International Technology, Education and Development Conference (INTED)*, pp. 8943–8953, *INTED Proceedings, IATED, Valencia* (2018), ISBN 978-84-697-9480-7, ISSN 2340-1079
- [31] Madahae, S., Pisapak, P., Thanyasirikul, C.: Learning Design of STEM Education through Workshop Training for Thai Teachers. *Journal of Physics: Conference Series* **1835**(1), 012062 (2021), <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1835/1/012062>
- [32] Martinez-Borreguero, G., Mateos-Nunez, M., Naranjo-Correa, F.L.: Forces and their effects: Comparative analysis of the knowledge of teachers in training versus primary school students. In: Chova, L.G., Martinez, A.L., Torres, I.C. (eds.) *11th Annual International Conference of Education, Research and Innovation (ICERI2018)*, pp. 258–267, *ICERI Proceedings, IATED, Valencia* (2018), ISBN 978-84-09-05948-5, ISSN 2340-1095
- [33] Martinez-Borreguero, G., Mateos-Nunez, M., Naranjo-Correa, F.L.: Levels of Teacher Self-Efficacy and Emotions Expressed by Teachers in Training STEM Areas. In: *New Perspectives in Science Education*, 8th edition, pp. 586–591, *PIXEL, Filodiritto Publisher, Bologna* (2019), ISBN 978-88-85813-56-4
- [34] Martinez-Borreguero, G., Naranjo-Correa, F.L., Perez-Rodriguez, A.L., Pardo-Fernandez, P.J., Suero-Lopez, M.I.: Validation of didactic simulations and STEM experiences to improve the teaching of content about light and colour with teachers in training. In: Chova, L.G., Martinez, A.L., Torres, I.C. (eds.) *EDULEARN18: 10th International Conference on Education and New Learning Technologies*, pp. 7594–7603, *EDULEARN Proceedings, IATED, Valencia* (2018), ISBN 978-84-09-02709-5, ISSN 2340-1117
- [35] Martyniuk, O.O., Martyniuk, O.S., Pankevych, S., Muzyka, I.: Educational direction of STEM in the system of realization of blended teaching of

- physics. *Educational Technology Quarterly* **2021**(3), 347–359 (Sep 2021), <https://doi.org/10.55056/etq.39>
- [36] Mateos-Nunez, M., Martinez-Borreguero, G., Naranjo-Correa, F.L.: Emotional, attitudinal and competency analysis in stem areas of secondary school students versus teachers in training. In: Chova, L., Martinez, A., Torres, I. (eds.) *12th Annual International Conference of Education, Research and Innovation (ICERI 2019)*, pp. 559–568, ICERI Proceedings, IATED, Valencia (2019), ISBN 978-84-09-14755-7, ISSN 2340-1095
 - [37] Mintii, M.M.: Selection of pedagogical conditions for training STEM teachers to use augmented reality technologies in their work. *Educational Dimension* **8**, 212–239 (Jan 2023), <https://doi.org/10.31812/educdim.4951>
 - [38] Moral-Munoz, J.A., López-Herrera, A.G., Herrera-Viedma, E., Cobo, M.J.: Science mapping analysis software tools: A review. In: Glänzel, W., Moed, H.F., Schmoch, U., Thelwall, M. (eds.) *Springer Handbook of Science and Technology Indicators*, pp. 159–185, Springer International Publishing, Cham (2019), ISBN 978-3-030-02511-3, https://doi.org/10.1007/978-3-030-02511-3_7
 - [39] Ortega-Torres, E.: Training of future STEAM teachers: Comparison between primary degree students and secondary master’s degree students. *Journal of Technology and Science Education* **12**(2), 484–495 (2022), <https://doi.org/10.3926/jotse.1319>
 - [40] Perianes-Rodriguez, A., Waltman, L., van Eck, N.J.: Constructing bibliometric networks: A comparison between full and fractional counting. *Journal of Informetrics* **10**(4), 1178–1195 (2016), ISSN 1751-1577, <https://doi.org/10.1016/j.joi.2016.10.006>
 - [41] Pewkam, W., Chamrat, S.: Pre-Service Teacher Training Program of STEM-based Activities in Computing Science to Develop Computational Thinking. *Informatics in Education* **21**(2), 311–329 (2022), <https://doi.org/10.15388/infedu.2022.09>
 - [42] Punsrigate Khonjaroen, K., Srikoon, S.: The development of training course to promote learning activities skill based on the STEM Education concept for elementary school teachers. *Journal of Physics: Conference Series* **1835**(1), 012063 (2021), <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1835/1/012063>
 - [43] Ragusa, G.: Teacher training and STEM student outcome: Linking teacher intervention to students’ success in STEM middle and high school classes. In: *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*, American Society for Engineering Education (2011)
 - [44] Ragusa, G.: Teacher training and student inquiry and science literacy: Linking teacher intervention to students’ outcomes in STEM courses in middle and high school classes. In: *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*, American Society for Engineering Education (2012)
 - [45] Rursch, J.A., Burkhardt, B., Jacobson, D.: Training non-IT teachers to advise and facilitate inquiry-based learning in IT: A pilot study. In:

- Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE, p. 5350577 (2009), <https://doi.org/10.1109/FIE.2009.5350577>
- [46] Salleh, M.F.M., Md Nasir, N.A., Ismail, M.H.: STEM Facilitators Training Programme: Trainee Teachers' Perceptions of the Impact on their Personal Growth as Future Teachers. *Asian Journal of University Education* **16**(3), 1–10 (2020), <https://doi.org/10.24191/ajue.v16i3.11091>
- [47] Salloum, S.A., Khan, R., Shaalan, K.: A Survey of Semantic Analysis Approaches. In: Hassanien, A.E., Azar, A.T., Gaber, T., Oliva, D., Tolba, F.M. (eds.) *Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence and Computer Vision (AICV2020)*, pp. 61–70, Springer International Publishing, Cham (2020), ISBN 978-3-030-44289-7, https://doi.org/10.1007/978-3-030-44289-7_6
- [48] Scaradozzi, D., Screpanti, L., Cesaretti, L., Storti, M., Mazzieri, E.: Implementation and Assessment Methodologies of Teachers' Training Courses for STEM Activities. *Technology, Knowledge and Learning* **24**(2), 247–268 (2019), <https://doi.org/10.1007/s10758-018-9356-1>
- [49] Seals, C., Valdiviejas, H.: The Relation Between a Teacher-Based Growth Mindset Training and Minoritized Student Motivation in Mathematics. *Journal of Higher Education Theory and Practice* **21**(15), 53–74 (2021), <https://doi.org/10.33423/jhetp.v21i15.4891>
- [50] Sundaram, R.: TIES to STEM: University outreach model for teachers in K-12 STEM schools to be trained in engineering skills. In: *2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, pp. 1–4 (2015), <https://doi.org/10.1109/FIE.2015.7344244>
- [51] Symaco, L.P., Daniel, E.G.S.: Curriculum, Pedagogy, Teacher Training and Recent Reforms in Primary Science Education. *Contemporary Trends and Issues in Science Education* **47**, 215–228 (2018), https://doi.org/10.1007/978-3-319-97167-4_11
- [52] Thomas, S.W., Campbell, S.W., Subramanyam, M.D., Ellerbrock, C.R.: Contemporary STEM issues: Engineering training of pre-service teachers for middle school stem curriculum development (evaluation). In: *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings, American Society for Engineering Education* (2019)
- [53] Tijani, B., Madu, N., Falade, T., Dele-Ajayi, O.: Teacher training during Covid-19: A case study of the virtual STEM project in Africa. In: Klinger, T., Kollmitzer, C., Pester, A. (eds.) *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON*, vol. 2021-April, pp. 226–234, IEEE Computer Society (2021), <https://doi.org/10.1109/EDUCON46332.2021.9453920>
- [54] Tillinghast, R.C., Petersen, E.A., Kroth, W., Powers, G., Holzer, M., Osowski, J., Mansouri, M.: Bringing Geosciences to K-12 Classrooms: A Teacher Training Program Developed by the Sterling Hill Mining Museum. In: *2019 9th IEEE Integrated STEM Education Conference, ISEC 2019*, pp. 69–75, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. (2019), <https://doi.org/10.1109/ISECon.2019.8882052>
- [55] Toldson, I.A., Lewis, C.W.: Advancing teacher training programs at historically black colleges & universities through technical assistance & federal

- investments (Editor's Commentary). *Journal of Negro Education* **86**(2), 83–93 (2017), <https://doi.org/10.7709/jnegroeducation.86.2.0083>
- [56] Tumasheva, O.V., Shashkina, M.B., Shkerina, L.V., Valkova, Y.E.: Elective courses for training the mathematics teachers to realise STEM approach. *Journal of Physics: Conference Series* **1691**(1), 012225 (2020), <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1691/1/012225>
- [57] Tzafilkou, K., Perifanou, M., Economides, A.A.: STEM Distance Teaching: Investigating STEM Teachers' Attitudes, Barriers, and Training Needs. *Education Sciences* **12**(11) (Nov 2022), <https://doi.org/10.3390/educsci12110790>
- [58] UNESCO-UIS: International Standard Classification of Education: Fields of education and training 2013 (ISCED-F 2013) – Detailed field descriptions. UNESCO Institute for Statistics, Montreal (2015), URL <https://doi.org/10.15220/978-92-9189-179-5-en>
- [59] Weiner, S., Lande, M., Jordan, S.S.: Designing (and) making teachers: Using design to investigate the impact of maker-based education training on pre-service STEM teachers. *International Journal of Engineering Education* **36**(2), 702–711 (2020)
- [60] Wu, B., Hu, Y., Wang, M.: Scaffolding design thinking in online STEM preservice teacher training. *British Journal of Educational Technology* **50**(5), 2271–2287 (2019), <https://doi.org/10.1111/bjet.12873>
- [61] Yildirim, B.: A Model Proposal for Teacher Training: STEM Teacher Institutes Training Model. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi* (50), 70–98 (SEP 2020), ISSN 1301-0085, <https://doi.org/10.9779/pauefd.586603>