

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Мінтій Михайло Михайлович

УДК 378::[372.8::[501+62+004]]+004.946

ДИСЕРТАЦІЯ

**ПІДГОТОВКА МАЙБУТНІХ ВИКЛАДАЧІВ STEM-ДИСЦИПЛІН
ДО ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ
У ПРОФЕСІЙНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ**

015 Професійна освіта (Цифрові технології)

01 Освіта/Педагогіка

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії
Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



М. М. Мінтій

Науковий керівник – **Семеріков Сергій Олексійович**, доктор педагогічних наук, професор, старший дослідник

Кривий Ріг — 2023

АНОТАЦІЯ

Мінтій М. М. Підготовка майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 015 Професійна освіта (Цифрові технології). – Криворізький державний педагогічний університет, Кривий Ріг, 2023.

У ході розв’язання наукової проблеми підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності були отримані наступні результати.

Бібліометричний аналіз джерел в галузі STEM та підготовки викладачів ідентифікував 21 ключове поняття, систематизовані у чотири кластери: “STEM-освіта і підготовка кадрів”, “Професійна підготовка вчителів і початкова освіта”, “Опитування щодо STEM-освіти” та “Електронне навчання і обчислювальне мислення в підготовці майбутніх викладачів STEM-дисциплін”.

За результатами систематичного аналізу було встановлено, що: а) STEM-освіта позитивно впливає на досягнення у природничих науках і математиці, але існує дефіцит фахівців у цих галузях; б) зниження інтересу до STEM-дисциплін – глобальна проблема, яку можна вирішити за допомогою привабливих та доступних освітніх програм; в) нерівність у сфері STEM – глобальна проблема, яку можна вирішити через створення STEM-лабораторій та підготовку вчителів з урахуванням гендерних аспектів; г) обчислювальне мислення – важлива складова STEM-освіти, що може бути впроваджена через семінари для вчителів, онлайн-курси та методичну підтримку; д) професійна підготовка та соціальний статус учителів є стратегічно важливими для STEM-освіти; е) зацікавлення у STEM-дис-

циплінах може бути підвищено за допомогою ІКТ, зокрема доповненої реальності, віртуальної реальності та робототехніки.

Отримані результати дають змогу запропонувати такі рекомендації для поліпшення STEM-освіти: а) інтегрувати STEM-підхід у програми підготовки вчителів; б) розвивати проєктне мислення, цифрові та STEM-навички у вчителів та учнів; в) запроваджувати міждисциплінарні STEM-проєкти; г) використовувати активні та практико орієнтовані методи навчання; д) збільшувати доступність STEM-освіти для всіх учнів; е) створювати STEM-лабораторії у закладах загальної середньої освіти; ж) підвищувати соціальний статус викладачів STEM-дисциплін; з) запроваджувати засоби ІКТ у навчання STEM-дисциплін.

Педагогічні умови включають матеріальні, методичні, організаційні та інші фактори, що забезпечують ефективність підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до використання доповненої реальності у своїй професійній діяльності. Опитування 94 респондентів, переважно викладачів STEM-дисциплін, що використовують доповнену реальність, виявило наступні педагогічні умови: 1) забезпечення доступності мобільних апаратних засобів доповненої реальності та імерсивних цифрових освітніх ресурсів майбутнім викладачам STEM-дисциплін; 2) уведення до змісту підготовки питань, пов'язаних із використанням доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін; 3) застосування дослідницького підходу та інтерактивних технологій у процесі підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін; 4) набуття практичного досвіду застосування технологій доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін.

Було встановлено, що доступність мобільних пристроїв для доповненої реальності та імерсивних цифрових освітніх ресурсів для майбутніх викладачів STEM-дисциплін забезпечується частково. Через обмежену кількість імерсивних

цифрових освітніх ресурсів майбутні викладачі STEM-дисциплін повинні брати участь у їх розробці, що сприяє їх професійному розвитку.

Для впровадження питань, пов'язаних із застосуванням доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін, було розроблено елементи методики навчання майбутніх викладачів STEM-дисциплін створення імерсивних освітніх ресурсів.

Застосування дослідницького підходу та інтерактивних технологій у процесі підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін передбачало два напрями: створення STEM-проектів із доповненою реальністю та створення системи завдань, що сприяють пошуковій та творчій активності студентів. Такі підходи допомагають підвищити інтерактивність та ефективність навчання STEM-дисциплін.

У процесі дослідно-експериментальної роботи було створено три версії навчального курсу для майбутніх викладачів STEM-дисциплін, що сприяє позитивній динаміці в підготовці майбутніх викладачів до використання імерсивних освітніх ресурсів. Більшість учасників експерименту планують використовувати доповнену реальність у своїй професійній діяльності, що свідчить про позитивну ефективність навчання.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що вперше виокремлено та теоретично обґрунтовано педагогічні умови підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності: а) забезпечення доступності мобільних апаратних засобів доповненої реальності та імерсивних цифрових освітніх ресурсів майбутнім викладачам STEM-дисциплін; б) уведення до змісту підготовки питань, пов'язаних із використанням доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін; в) застосування дослідницького підходу та інтерактивних технологій у процесі підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін; г) набуття практичного досвіду застосу-

вання технологій доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін; удосконалено зміст професійної підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін; набули подальшого розвитку теорія та методика професійної підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблено окремі елементи методики навчання майбутніх викладачів STEM-дисциплін створення імерсивних освітніх ресурсів у складі електронного навчального курсу та посібника до нього.

Ключові слова: STEM-освіта, STEM-дисципліни, професійна підготовка викладачів, педагогічні умови, методика навчання, доповнена реальність, віртуальна реальність, імерсивні технології, цифрові освітні ресурси, імерсивні освітні ресурси, мобільні технології.

ABSTRACT

Mintii M. M. STEM teachers' training to use augmented reality technologies in their work. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for the Doctor of Philosophy degree in the speciality 015 Professional Education (Digital Technologies). – Kryvyi Rih State Pedagogical University, Kryvyi Rih, 2023.

In the course of solving the scientific problem of preparing future STEM teachers to use augmented reality technologies, the following results were obtained.

Bibliometric analysis of STEM and teacher training sources identified 21 key concepts, systematised into four clusters: “STEM education and personnel training”, “Teacher training and primary education”, “STEM education surveys”, and “E-learning and computational thinking in training future STEM teachers”.

The systematic analysis found that: a) STEM education positively impacts achieve-

ment in science and maths, but there is a shortage of specialists in these fields; b) the decline of interest in STEM subjects is a global problem that can be solved through attractive and accessible educational programs; c) inequality in STEM is a global problem that can be solved by creating STEM labs and training teachers with gender considerations; d) computational thinking is an essential component of STEM education that can be implemented through teacher workshops, online courses and methodological support; e) professional training and social status of teachers are strategically crucial for STEM education; f) interest in STEM subjects can be increased through ICT, specifically augmented reality, virtual reality and robotics.

The obtained results make it possible to propose the following recommendations for improving STEM education: a) integrate the STEM approach into teacher training programmes; b) develop project thinking, digital and STEM skills in teachers and pupils; c) implement interdisciplinary STEM projects; d) use active and practice-oriented teaching methods; e) increase the accessibility of STEM education for all pupils; f) create STEM labs in secondary schools; g) raise the social status of STEM teachers; h) implement ICT tools in STEM teaching.

Pedagogical conditions include material, methodological, organisational and other factors that ensure the effectiveness of preparing future STEM teachers to use AR in their professional activities. A survey of 94 respondents, mostly STEM teachers using augmented reality, identified the following pedagogical conditions: 1) providing accessibility of mobile augmented reality hardware and immersive digital educational resources to future STEM teachers; 2) introducing content on the use of augmented reality in STEM teaching into the training; 3) applying a research approach and interactive technologies in the training of future STEM teachers; 4) gaining practical experience in using augmented reality technologies in STEM teaching.

It was found that the accessibility of mobile AR devices and immersive digital educational resources for future STEM teachers is only partially ensured. Due to the limited number of immersive digital educational resources, future STEM teachers should participate in their development, contributing to their professional growth.

To introduce content on using augmented reality in STEM teaching, elements of a methodology for teaching future STEM teachers to create immersive educational resources were developed.

Applying a research approach and interactive technologies in the training of future STEM teachers involved two areas: creating AR-enhanced STEM projects and developing a system of tasks that promote inquiry-based and creative activity of students. Such approaches help increase the interactivity and effectiveness of STEM teaching.

In the process of research and experimental work, three versions of a training course for future STEM teachers were created, contributing to positive dynamics in preparing future teachers to use immersive educational resources. Most participants in the experiment plan to use augmented reality in their professional activities, indicating the positive effectiveness of the training.

The scientific novelty of the obtained results lies in the fact that for the first time:

- the pedagogical conditions for preparing future STEM teachers to use augmented reality technologies in professional activities were identified and theoretically substantiated: a) providing accessibility of mobile AR hardware and immersive digital educational resources to future STEM teachers; b) introducing content on the use of augmented reality in STEM teaching into the training; c) applying a research approach and interactive technologies in the training of future STEM teachers; d) gaining practical experience in using augmented reality technologies in STEM teaching;

- the content of professional training for future STEM teachers has been improved;
- the theory and professional training methods for future STEM teachers have been further developed.

The practical significance of the obtained results lies in that individual elements of the methodology for teaching future STEM teachers to create immersive educational resources have been developed as part of an e-learning course and accompanying textbook.

Keywords: STEM education, STEM disciplines, teachers' professional training, pedagogical conditions, teaching methods, augmented reality, virtual reality, immersive technologies, digital educational resources, immersive educational resources, mobile technologies.

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Semerikov, S., Lytvynova, S. and Mintii, M., 2020. Implementation of a course on virtual and augmented reality means development for future STEM-disciplines teachers. *Modern informational technologies and innovative methods in professional training: methodology, theory, experience, problems*, (57), p.55–67. URL <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2020-57-55-67>. **(стаття у журналі, включеному до переліку наукових фахових видань України)**
2. Tkachuk, V.V., Semerikov, S.O., Yechkalo, Y.V., Markova, O.M. and Mintii, M.M., 2020. WebAR development tools: comparative analysis. *Physical and Mathematical Education*, (2(24)). URL <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2020-024-2-021>. **(стаття у журналі, включеному до переліку наукових фахових видань України)**
3. Mintii, M.M., 2023. Selection of pedagogical conditions for training STEM tea-

chers to use augmented reality technologies in their work. *Educational Dimension*, 8, p.212–239. URL <https://doi.org/10.31812/educdim.4951>. **(стаття у журналі, включеному до переліку наукових фахових видань України)**

4. Mintii, M.M., 2023. STEM education and personnel training: systematic review. *Journal of Physics: Conference Series*, 2611(1), p.012025. URL <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2611/1/012025>. **(стаття у зарубіжному науковому виданні, проіндексована у Scopus)**

Наукові праці, які засвідчують наукові результати дисертації

5. Mintii, M., 2020. The course “Development of virtual and AR software” for STEM teachers. *SHS Web of Conferences*, 75, p.04015. URL <https://doi.org/10.1051/shsconf/20207504015>. **(стаття у зарубіжному науковому виданні)**
6. Shepiliev, D.S., Semerikov, S.O., Yechkalo, Y.V., Tkachuk, V.V., Markova, O.M., Modlo, Y.O., Mintii, I.S., Mintii, M.M., Selivanova, T.V., Maksyshko, N.K., Vakaliuk, T.A., Osadchyi, V.V., Tarasenko, R.O., Amelina, S.M. and Kiv, A.E., 2021. Development of career guidance quests using WebAR. *Journal of Physics: Conference Series*, 1840(1), p.012028. URL <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1840/1/012028>. **(стаття у зарубіжному науковому виданні, проіндексована у Scopus)**
7. Shepiliev, D.S., Modlo, Y.O., Yechkalo, Y.V., Tkachuk, V.V., Mintii, M.M., Mintii, I.S., Markova, O.M., Selivanova, T.V., Drashko, O.M., Kalinichenko, O.O., Vakaliuk, T.A., Osadchyi, V.V. and Semerikov, S.O., 2021. WebAR development tools: An overview. In: A.E. Kiv, S.O. Semerikov, V.N. Soloviev and A.M. Striuk, eds. *Proceedings of the 3rd Workshop for Young Scientists in Computer Science & Software Engineering (CS&SE@SW 2020), Kryvyi Rih, Ukraine, November 27, 2020. CEUR Workshop Proceedings*, vol. 2832, pp.84–93. URL <http://ceur-ws.org/Vol-2832/paper12.pdf>. **(стаття у зарубіжному науковому виданні, проіндексована у Scopus)**

8. Semerikov, S.O., Mintii, M.M. and Mintii, I.S., 2021. Review of the course “Development of Virtual and Augmented Reality Software” for STEM teachers: implementation results and improvement potentials. In: S.H. Lytvynova and S.O. Semerikov, eds. *Proceedings of the 4th International Workshop on Augmented Reality in Education (AREdu 2021), Kryvyi Rih, Ukraine, May 11, 2021*. CEUR-WS.org, *CEUR Workshop Proceedings*, vol. 2898, pp.159–177. URL <http://ceur-ws.org/Vol-2898/paper09.pdf>. **(стаття у зарубіжному науковому виданні, проіндексована у Scopus та Web of Science)**
 9. Mintii, M.M., Sharmanova, N.M., Mankuta, A.O., Palchevska, O.S. and Semerikov, S.O., 2023. Selection of pedagogical conditions for training STEM teachers to use augmented reality technologies in their work. *Journal of Physics: Conference Series*, 2611(1), p.012022. URL <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2611/1/012022>. **(стаття у зарубіжному науковому виданні, проіндексована у Scopus)**
- Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації*
10. Мінтій, І. С. and Мінтій, М. М., 2019. Проектування засобів доповненої реальності навчального призначення. In: Вакалюк, Т. А. and Литвинова, С. Г., eds. *Інформаційні технології у вищій школі*. Житомир: Вид-во ФОП “О. О. Євенок”, p.290–306. URL <https://doi.org/10.31812/123456789/3607>. **(стаття у монографії)**
 11. Mintii, I.S., Shokaliuk, S.V., Vakaliuk, T.A., Mintii, M.M. and Soloviev, V.N., 2019. Import test questions into Moodle LMS. *Educational Dimension*, 1, p.111–124. URL <https://doi.org/10.31812/educdim.v53i1.3836>. **(стаття у науковому періодичному виданні України)**
 12. Mintii, I.S., Bondarenko, O.V., Shokaliuk, S.V., Polhun, K.V. and Mintii, M.M., 2020. Analysis of the use of LCMS Moodle in the educational process of KrSPU. *Educational Dimension*, 3, p.368–383. URL <https://doi.org/10.31812/educdim.v55i0.4366>.

(стаття у журналі, включеному до переліку наукових фахових видань України)

13. Mintii, I.S., Shokaliuk, S.V., Vakaliuk, T.A., Merzlykin, O.V. and Mintii, M.M., 2020. Development of a Standard Moodle Course to Optimize the Teacher's Work in Distance Education. *Universal Journal of Educational Research*, 8(12), pp.6659–6666. URL <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.081230>. **(стаття у зарубіжному науковому виданні)**
14. Мінтій, М. and Мінтій, І., 2020. MOOC як форма підвищення ІКТ-компетентності педагогічних працівників. *Збірник наукових праць здобувачів вищої освіти Криворізького державного педагогічного університету*. Кривий Ріг: Криворізький державний педагогічний університет, р.77–79. URL <https://doi.org/10.31812/123456789/4202>. **(тези доповіді)**
15. Mintii, M.M., 2023. Exploring the landscape of STEM education and personnel training: a comprehensive systematic review. *Educational Dimension*. URL <https://doi.org/10.31812/ed.583>. **(стаття у журналі, включеному до переліку наукових фахових видань України)**
16. Семеріков, С. О. and Мінтій, М. М., 2023. *Вступ до проектування цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю : навчальний посібник до курсу “Інноваційні цифрові технології в освіті”*. Кривий Ріг. URL <http://elibrary.kdpu.edu.ua/xmlui/handle/123456789/7850>. **(навчальний посібник)**

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
ВСТУП	15
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ВИКЛАДАЧІВ STEM-ДИСЦИПЛІН ДО ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ У ПРОФЕСІЙНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ	23
1.1 Бібліометричний аналіз провідних понять дослідження	23
1.2 Систематичний аналіз джерел із професійної підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін	35
1.2.1 Спрямування учнів та студентів на STEM-професії	35
1.2.2 Підходи до проектування STEM-курикулуму	38
1.2.3 Інженерія у STEM-освіті	40
1.2.4 Підготовка кадрів для STEM	42
1.2.5 Викладання STEM-дисциплін	52
1.2.6 Розробка та вдосконалення методик навчання STEM-дисциплін	54
1.3 Педагогічні умови підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності	61
Висновки до 1 розділу	81

РОЗДІЛ 2	РЕАЛІЗАЦІЯ ПЕДАГОГІЧНИХ УМОВ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ВИКЛАДАЧІВ STEM-ДИСЦИПЛІН ДО ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНО- ЛОГІЙ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ У ПРОФЕСІЙНІЙ ДІЯЛЬ- НОСТІ	84
2.1	Забезпечення доступності мобільних апаратних засобів доповненої реальності та імерсивних цифрових освітніх ресурсів майбутнім ви- кладачам STEM-дисциплін	84
2.2	Уведення до змісту підготовки питань, пов'язаних із використан- ням доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін	87
2.2.1	Уведення основних понять та засобів розробки	87
2.2.2	Створення сцени у віртуальній реальності	89
2.2.3	Перенесення сцени у доповнену реальність	101
2.2.4	Застосування шаблонів проектування для розробки моделей	107
2.2.5	Застосування декількох маркерів для управління динамічни- ми моделями	118
2.2.6	Безмаркерна доповнена реальність	128
2.2.7	Управління контролерами, розміщення об'єктів та перевірка дотику	143
2.3	Застосування дослідницького підходу та інтерактивних технологій у процесі підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін	159
2.4	Набуття практичного досвіду застосування технологій доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін	172
	Висновки до 2 розділу	185
	ВИСНОВКИ	188

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	195
ДОДАТКИ	229
ДОДАТОК А. Анкета “Умови підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності”	229
ДОДАТОК Б. Робоча програма навчальної дисципліни “Інноваційні цифрові технології в освіті”	234
ДОДАТОК В. Список публікацій М. М. Мінтія за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	245
В.1 Список публікацій М. М. Мінтія за темою дисертації	245
В.2 Відомості про апробацію результатів дисертації М. М. Мінтія	249

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Концепція розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти) [187] визначає, що для забезпечення її належної якості необхідним є:

- підвищення рівня професійної компетентності педагогічних працівників;
- оновлення змісту природничої, математичної та технологічної освітніх галузей (зокрема, засобів навчання та електронних освітніх ресурсів із штучного інтелекту, комп'ютерного моделювання, тривимірного моделювання, основ відеотехнологій, цифрового мистецтва);
- упровадження в освітній процес цифрових технологій.

Деталізуючи пріоритетні напрями “Плану дій з цифрової освіти на 2021–2027 роки”, Європейська Комісія особливу увагу приділяє цифровим освітнім екосистемам на основі імерсивних технологій (віртуальної реальності та доповненої реальності), технологій штучного інтелекту, опрацювання даних тощо, для яких наявність високошвидкісного доступу до Інтернету є критичною [39]. У додатку до документу вказується, що “... є докази того, що наявні форми професійного розвитку вчителів не завжди задовольняють їхні потреби. Зокрема, необхідним є перехід від набуття навичок володіння певними інструментами або технологічними компетентностями до пошуку шляхів адаптації технологій до конкретних предметів, цілей та видів діяльності. Поява нових технологій, таких як штучний інтелект, віртуальна або доповнена реальність і соціальна робототехніка вимагає від учителів більш активної ролі в розробці та впровадженні цих інструментів, щоб забезпечити їх ефективне, бажане та інклюзивне використання” [40].

Операційний план реалізації у 2022–2024 роках “Стратегії розвитку вищої

освіти в Україні на 2022–2032 роки” [188] формулює стратегічні цілі, зокрема “Забезпечення якісної освітньо-наукової діяльності, конкурентоспроможної вищої освіти, яка є доступною для різних верств населення” (ціль 3) та “Врахування наукових досліджень та інновацій під час визначення змісту та розвитку освітніх програм” (ціль 5). Їх реалізація передбачає популяризацію природничих наук та математики для здобувачів освіти.

У Стратегії вказується, що “у цілому система вищої освіти України продемонструвала великий адаптивний потенціал під час вимушеного переходу на дистанційні інноваційні технології навчання в період карантину... Разом з тим обмежені можливості ІТ-інфраструктури багатьох ЗВО та незадовільний рівень цифрової компетентності наукових, науково-педагогічних та педагогічних працівників не дали змоги забезпечити освітній процес в умовах дистанційного навчання на достатньому рівні” [188]. Особливої значущості дистанційні інноваційні технології навчання набули із початком збройної агресії Російської Федерації у 2014 році [183] та, зокрема, актом збройної агресії проти України 24 лютого 2022 року [184], наслідком якої стала велика кількість тимчасово переміщених осіб, ЗВО та збільшення кількості мешканців тимчасово окупованих територій, які потребують надання якісних освітніх послуг.

Таким чином, існує суспільно визначена потреба в розвитку цифрової компетентності вчителів STEM-дисциплін у проектуванні та реалізації цифрових освітніх ресурсів із використанням технологій штучного інтелекту та доповненої реальності.

В Україні питання застосування STEM-технологій у навчанні розглядалися у таких аспектах: визначення педагогічних умов і розробка моделі формування готовності майбутніх офіцерів ЗС України до застосування STEM-технологій у

професійній діяльності (О. Ю. Шагова [200]), розробка концепції STEM-освіти технічного ЗВО щодо забезпечення інтеграції навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін (О. С. Кузьменко [189]), визначення педагогічних умов формування дослідницьких умінь майбутніх учителів початкової школи засобами STEM-технологій (Л. І. Мельниченко [192]), визначення педагогічних умов використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики (В. В. Пікалова [196]), визначення специфіки професійно-педагогічної підготовки STEM-учителів старшої середньої школи США (В. В. Бойченко [181]). У дисертації Н. В. Валько розроблено концепцію підготовки майбутніх учителів природничо-математичних дисциплін до застосування STEM-технологій (насамперед – робототехнічних STEM-проектів) у професійній діяльності [182]; останні роботи автора присвячені освітнім застосуванням технологій штучного інтелекту [153, 170].

Починаючи з 2000 року, з'являються дослідження, присвячені проектуванню електронних освітніх ресурсів із віртуальною та доповненою реальністю [201]: розроблено технологію синтезу середовища віртуальної реальності (В. Г. Лі [190]), побудовано системну модель континууму засобів віртуальної реальності як середовища для апробації інноваційних технологій в архітектурі (С. М. Данилов [186]), розроблено технологію побудови і використання візуальних інформаційних структур доповненої реальності (О. М. Маковейчук [191]), розроблено технологію формування готовності майбутніх вчителів застосовувати засоби віртуальної наочності у професійній діяльності (Н. М. Гнедко [185]).

Серед зарубіжних досліджень, присвячених застосуванню віртуальної та доповненої реальності у STEM-освіті й професійній підготовці вчителів, виділимо дисертації В. Хуаня (Wen Huang) (показано, що ефект новизни при застосуван-

ні віртуальної реальності не обов'язково підвищує успішність навчання: ключовим для підвищення навчальних досягнень є відповідність між змістом навчання та методикою навчання [60]), К. Ф. Поллак (Carolyn F. Pollack) (показано доцільність застосування доповненої реальності для формування просторових концепцій учнів у навчанні наук про Землю [116]), К. К. Арканд (Kimberly Kowal Arcand) (показано доцільність спільного використання засобів програмування, 3D-моделювання, 3D-друку та віртуальної реальності для розвитку просторових концепцій у навчанні астрофізики та професійної орієнтації учениць на STEM-галузь [7]), А. М. Вільянуеви (Ana M. Villanueva) (розроблено засоби, що надають можливість викладачами та розробникам створювати цифрові освітні ресурси із доповненою реальністю для спільної роботи та дистанційного навчання, зокрема – для опанування робототехніки [172]), К. Доті (Constance Doty) (застосування симуляторів із доповненою реальністю для підготовки майбутніх вчителів до роботи з учнями на уроках фізики [34]).

Проведений аналіз надав можливість визначити *протиріччя*:

- між суспільною потребою у підвищенні якості природничо-математичної освіти шляхом упровадження інноваційних технологій, зокрема технологій доповненої реальності, та недостатнім рівнем готовності викладачів STEM-дисциплін до їх використання у професійній діяльності;
- між можливостями, що надають технології доповненої реальності для підвищення ефективності навчання STEM-дисциплін, та відсутністю методик підготовки майбутніх викладачів до їх застосування;
- між потребою в розвитку цифрової компетентності вчителів STEM-дисциплін у проектуванні та реалізації цифрових освітніх ресурсів із використанням технологій штучного інтелекту та доповненої реальності й недостатнім

рівнем їхньої підготовки в цій галузі;

- між потребою в удосконаленні професійної підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін та наявністю обмежених ресурсів для її реалізації.

Необхідність їх розв'язання зумовила вибір теми дослідження: **“Підготовка майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності”**.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Дисертація виконана у межах фундаментального дослідження “Теоретико-методичні засади проектування імерсивного хмаро орієнтованого освітнього середовища університету” (державний реєстраційний номер 0121U113711). Тему дисертації затверджено Вченою радою Криворізького державного педагогічного університету (протокол № 6 від 19.12.2019 р.).

Предмет дослідження – педагогічні умови підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності.

Об'єкт дослідження – професійна підготовка майбутніх викладачів STEM-дисциплін.

Мета дослідження – теоретично обґрунтувати, розробити та експериментально перевірити педагогічні умови підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати досвід підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін в Україні та закордоном.
2. Виокремити та теоретично обґрунтувати педагогічні умови підготовки май-

бутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності.

3. Розробити окремі елементи методики навчання майбутніх викладачів STEM-дисциплін створення імерсивних освітніх ресурсів.
4. Експериментально перевірити ефективність розроблених педагогічних умов підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності.

Методи дослідження: *бібліометричний аналіз* для визначення ключових понять дослідження; *кластерний аналіз* для групування ключових понять дослідження; *систематичний аналіз* для визначення рекомендацій щодо покращення професійної підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін; *мозковий штурм* для визначення педагогічних умов застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності; *анкетування* здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців з метою відбору педагогічних умов підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності; *педагогічний експеримент* для упровадження методики підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності; *опитування* для визначення рівня готовності та здатності розробляти і використовувати імерсивні освітні ресурси; *інтерв'ю* для оцінки ефективності розроблених педагогічних умов.

Наукова новизна отриманих результатів:

- *вперше* виокремлено та теоретично обґрунтовано педагогічні умови підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності:

- 1) забезпечення доступності мобільних апаратних засобів доповненої ре-

- альності та імерсивних цифрових освітніх ресурсів майбутнім викладачам STEM-дисциплін;
- 2) уведення до змісту підготовки питань, пов'язаних із використанням доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін;
 - 3) застосування дослідницького підходу та інтерактивних технологій у процесі підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін;
 - 4) набуття практичного досвіду застосування технологій доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін;
- *удосконалено* зміст професійної підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін;
 - *набули подальшого розвитку* теорія та методика професійної підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблено окремі елементи методики навчання майбутніх викладачів STEM-дисциплін створення імерсивних освітніх ресурсів у складі електронного навчального курсу та посібника до нього [197].

Особистий внесок здобувача: оформлено візуалізацію результатів дослідження у вигляді діаграм та таблиць [93, 94]; описано кроки створення об'єкта доповненої реальності за допомогою сервісу HP Reveal [193]; розглянуто досвід та можливості використання систем доповненої реальності під час викладання STEM-дисциплін [96]; проаналізовано вітчизняний досвід застосування технологій доповненої реальності в сфері освіти [138]; зроблено огляд та порівняльний аналіз сучасних інструментів доповненої реальності та відповідного програмного забезпечення, протестовано курс з доповненої реальності [140]; відібрано педагогічні умови підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування

технологій доповненої реальності у професійній діяльності [100]; обґрунтовано використання бібліотеки Three.js та WebAR SDK для розробки цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю [144]; зібрано та проаналізовано статистичні дані щодо рівня активності користування гаджетами та різними додатками серед студентів [145]; проаналізовано бібліотеку A-Frame для роботи з 3D-графікою у Web [164]; розглянуто історичні аспекти розвитку дистанційного навчання в Україні та проведено аналіз популярних MOOC, які спрямовано на підвищення ІКТ-компетентностей викладачів [194]; розглянуто алгоритм імпортування тестових питань у форматі Moodle XML [95]; розроблено структуру та зміст посібника [197].

Результати дисертації були апробовані на міжнародних наукових заходах: The International Conference on History, Theory and Methodology of Learning (ICHTML 2020) (Kryvyi Rih, Ukraine, 2020), XII International Conference on Mathematics, Science and Technology Education (ICon-MaSTEd 2020) (Kryvyi Rih, Ukraine, 2020), 3rd Workshop for Young Scientists in Computer Science and Software Engineering (CS&SE@SW 2020) (Kryvyi Rih, Ukraine, 2020), 4th International Workshop on Augmented Reality in Education (AREdu 2021) (Kryvyi Rih, Ukraine, 2021), XV International Conference on Mathematics, Science and Technology Education (ICon-MaSTEd 2023) (Kryvyi Rih, Ukraine, 2023).

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, двох розділів, висновків, списку використаних джерел та трьох додатків.

1 Теоретичні основи підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності

1.1. Бібліометричний аналіз провідних понять дослідження

Термін STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) використовується для позначення між- та трансдисциплінарного підходу в освіті, який передбачає інтеграцію природничих наук, технологій, інженерії та математики. Так, “Концепція розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти)” [187] пріоритетними напрямками розвитку STEM-освіти визначає розвиток природничої, математичної, технологічної та інформатичної освітніх галузей, науково-технічної творчості, підприємництва, формування критичного мислення та етичних норм науково-технічної діяльності у здобувачів освіти. Відповідно, під викладачами STEM-дисциплін матимемо на увазі викладачів цих освітніх галузей (фізики, хімії, біології, географії, математики, інформатики, технологій тощо) у закладах загальної середньої, фахової передвищої та вищої освіти.

Бібліометричний аналіз є доцільним методом дослідження для вивчення проблеми професійної підготовки майбутніх викладачів 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 публі-

кацій;

- 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 викладачів 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. [101], 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 притягування-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 [36, 113] 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 [1–4, 8–13, 15, 18, 19, 21–24, 26–30, 32, 33, 35, 37, 38, 41, 47, 49, 50, 53, 55, 58, 61, 62, 64, 65, 67, 68, 70, 72, 74, 77, 79–82, 86–89, 92, 102, 104, 108–110, 114, 115, 117, 118, 121–125, 127, 129–131, 134–137, 146, 147, 150, 156, 158–162, 165, 166, 171, 174–177, 179, 180].

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

teacher training (Title) and STEM (Topic)

надав 85 результатів [2, 3, 6, 8–10, 13–20, 22, 25, 33, 38, 41, 43, 45, 46, 48, 52–55, 59, 61–63, 65–69, 72, 73, 75, 77–79, 82–85, 87, 88, 90–92, 102, 105, 107, 108, 111, 112, 114, 118, 122, 123, 126–129, 133, 135, 136, 141–143, 146, 148, 149, 151, 155, 161, 162, 167, 169, 173, 175–178], з яких 43 є підмножиною результатів пошуку в Scopus [2, 3, 8–10, 13, 15, 18, 19, 22, 33, 38, 41, 53, 55, 61, 62, 65, 67, 68, 72, 77, 79, 82, 87, 88, 92, 102, 108, 114, 118, 122, 123, 127, 129, 135, 136, 146, 161, 162, 175–177], а 42 – унікальні (присутні лише у Web of Science): [6, 14, 16, 17, 20, 25, 43, 45, 46, 48, 52, 54, 59, 63, 66, 69, 73, 75, 78, 83–

85, 90, 91, 105, 107, 111, 112, 126, 128, 133, 141–143, 148, 149, 151, 155, 167, 169, 173, 178].

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

Тип аналізу в VOSviewer – за спільним вживанням (Co-occurrence), одиниця аналізу – усі ключові 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. 1.1. 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 [36, с. 4-5]:

- *зв'язок* (link) – зв'язок або відношення між двома елементами (зокрема, ключовими словами);
- *сила зв'язку* (strength) – додатнє 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.

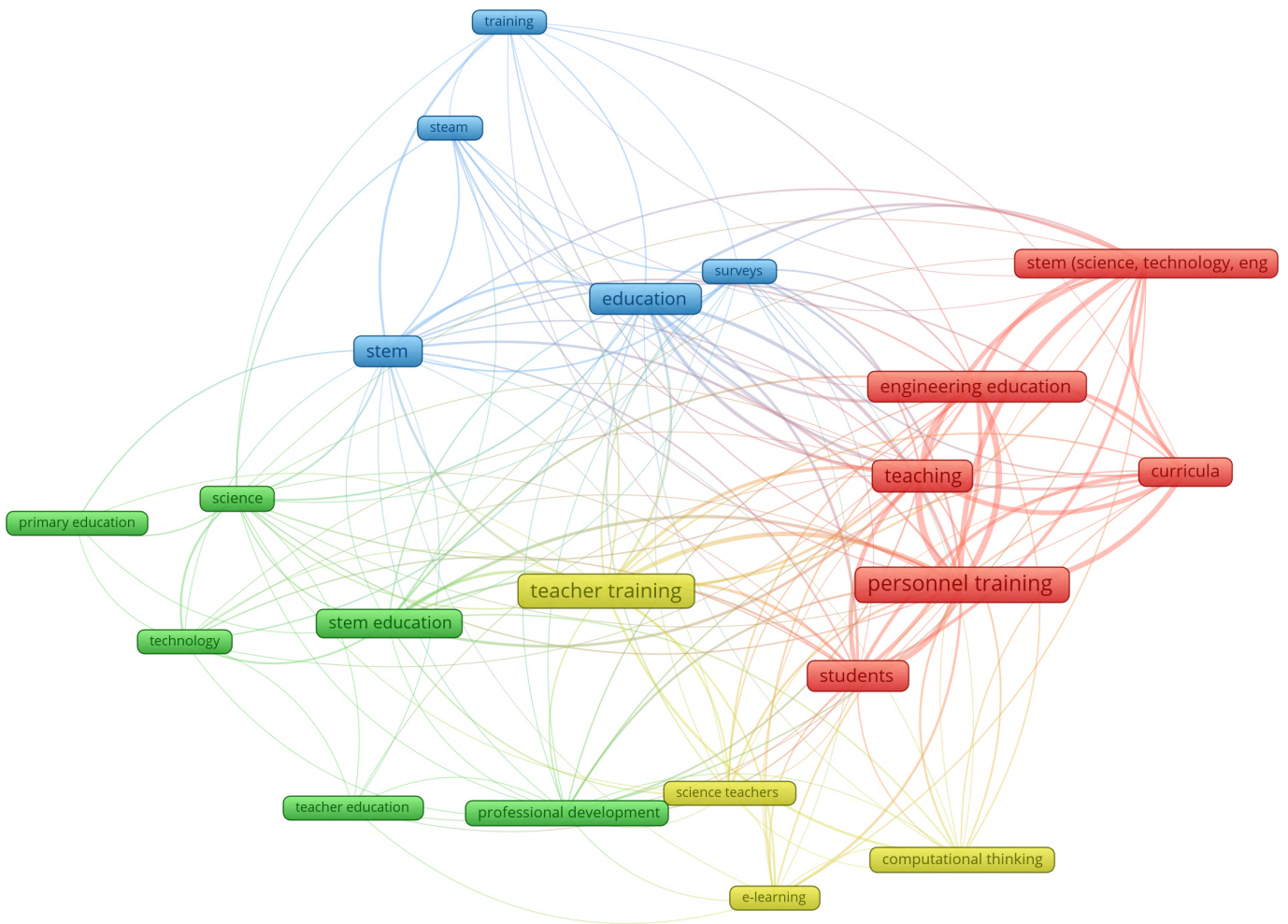


Рис. 1.1: Мережа зв'язків ключових слів джерел з питань професійної підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін у Scopus та Web of Science.

Існує два стандартних атрибути ваги:

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

Додатково були використані такі атрибути ваги та рахунку:

- $\text{weight}\langle\text{Occurrences}\rangle (w_o)$ – при роботі з ключовими словами вказує кількість документів, у яких зустрічається ключове слово [36, с. 34];
- $\text{score}\langle\text{Avg. pub. year}\rangle (s_{apy})$ – середній рік публікації документів, у яких зустрічається дане ключове слово [36, с. 34];

- $\text{score}\langle\text{Avg. citations}\rangle (s_{ac})$ – середня кількість цитувань документів, в яких зустрічається дане ключове слово [36, с. 35];
- $\text{score}\langle\text{Avg. norm. citations}\rangle (s_{anc})$ – середня нормалізована кількість цитувань документів, в яких зустрічається дане ключове слово [36, с. 35].

У табл. 1.1 для кожного ключового слова вказані визначені вище ваги та рахунки. Кластери 1-4 з табл. 1.1 на рис. 1.1 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.

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) [168], 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 *інже-*

Табл. 1.1: 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

нерної освіти пов'язаний із усіма концептами третього та четвертого 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 третього та четвертого кластерів, а у другому – лише з концептами професійного розвитку та природничих наук. *STEM* пов'язаний з усіма концептами третього 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 першого та третього кластерів, а також із такими концептами четвертого кластеру, як “підготовка вчителів” та “вчителі природничих наук”.

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

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

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 те-

хнологіями, природничим 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 (третій кластер) та підготовкою вчителів (четвертий 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 першого та третього кластерів, а також із окремими концептами другого (природничі науки, STEM-освіта, професійний розвиток, технології) та четвертого (підготовка вчителів, учителі природничих наук, обчислювальне мислення);
- концепт *опитувань* (surveys) пов'язаний з усіма концептами першого, третього та четвертого кластерів, а також із окремими концептами другого кластеру: природничі науки, STEM-освіта, професійний розвиток.

Концепт *STEAM* пов'язаний з усіма концептами третього, 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 першого і третього кластерів, а також із природничими науками (другий 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 першого та четвертого кластерів, а також із окремими концептами другого (природничі науки, професійний розвиток, STEM-освіта, технології, початкова освіта) та третього (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 першого та четвертого кластерів, а також із окремими концептами другого (професійний розвиток, STEM-освіта) та третього (STEM, освіта, опитування);
- *вчителі природничих наук* (science teachers) пов'язані з усіма концептами чотирьох кластерів, а також із окремими концептами першого (підготовка кадрів, викладання, інженерна освіта, студенти, навчальні плани), другого (професійний розвиток, STEM-освіта, природничі науки) та третього (STEM, освіта, опитування).

Електронне навчання (e-learning) пов'язане з усіма концептами першого та четвертого кластерів, а також із окремими концептами другого (професійний розвиток, педагогічна освіта) та третього (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).

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 [187] тощо. 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 [56] 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, Khan and Shaalan [132] 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 машинному

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 і консультації з іншими викладачами і дослідниками у галузі [98], а також додаткові джерела інформації для підтвердження та контекстуалізації висновків.

1.2. Систематичний аналіз джерел із професійної підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін

1.2.1. Спрямування учнів та студентів на STEM-професії

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 [187].

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.*

Наукоємні та високотехнологічні галузі є важливими факторами розвитку економіки. Banks-Hunt et al. [10] 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 поста-

чанні 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 [41] 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 [122, 123], 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 ЗВО. 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 [137] розглядають вплив програми розвитку мотивації афроамериканських, латиноамерикан-

ських та корінних студентів до навчання математики, а Symaco and Daniel [156], 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.

Аналізуючи джерела [3, 10, 18, 20, 21, 25, 28, 53, 58, 61, 62, 73, 81, 92, 102, 108, 121–123, 126, 130, 136, 148, 160, 161, 171], можна дійти висновку, що STEM-освіта студентів є актуальною проблемою сучасності. Це зумовлено рядом факторів, серед яких: висока значущість STEM-галузей для економічного розвитку країни; скорочення кількості студентів, які обирають STEM-дисципліни; потреба покращення якості STEM-освіти [123, 171].

Для вирішення цих проблем слід застосувати такі заходи: поліпшити якість професійної підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін [53, 123, 171]; забезпечити доступність STEM-освіти для всіх груп студентів та стимулювати інтерес до навчання STEM-дисциплін [123, 171].

Серед конкретних рекомендацій можна назвати наступні:

- формувати інтерес до STEM-дисциплін з раннього віку [10, 121];
- гарантувати рівний доступ до STEM-освіти для всіх категорій студентів [25, 148];
- спрямовувати STEM-освіту не лише на розвиток знань і навичок, а й на формування творчого, критичного мислення та інших важливих компетентностей [3, 18, 28, 61, 62, 102, 108, 130, 136];
- надавати вчителям STEM-дисциплін можливості для професійного розвитку та ознайомлення з новітніми технологіями [21, 53, 92];
- упроваджувати інноваційні методи викладання STEM-дисциплін, які стимулюватимуть пізнавальну діяльність студентів [58, 161, 171];

- пропонувати студентам можливості для практичної роботи в STEM-галузях у процесі навчання [20, 73, 171].

Реалізація цих заходів сприятиме забезпеченню майбутнього країни кваліфікованою STEM-робочою силою.

1.2.2. Підходи до проєктування STEM-курикулуму

STEM-курикулум – це навчальний план, який інтегрує знання та навички з науки, технології, інженерії та математики для розвитку компетентностей, необхідних для успішної адаптації до складного та змінного майбутнього. STEM-курикулум може мати різні форми, залежно від цілей, контексту та ресурсів навчального процесу [44].

Виокремимо деякі головні підходи, які є спільними для багатьох джерел:

1. *Інтеграція обчислювального мислення як основної компетентності для STEM-освіти.* Knie, Standl and Schwarzer [67] описують досвід уведення обчислювального мислення у комбіноване навчання майбутніх викладачів STEM-дисциплін. Авторами використовувалася методологія дизайн-мислення для створення навчальних сценаріїв, які сприяли розвитку обчислювального мислення через інтерактивну роботу з даними, моделями та алгоритмами. Автори показують, що такий підхід може покращити не лише знання вчителів про обчислювальне мислення, але і їх педагогічну грамотність та самооцінку. Alegre et al. [3] представляють програму підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін, яка базується на концепції обчислювального мислення та спрямована на розвиток лідерства і складається із трьох фаз: онлайн-курсу, лабораторії обчислювального мислення та проєктно-орієнтованого навчання.
2. *Використання інтерактивних та інноваційних технологій для забезпечення*

дистанційної та змішаної форми навчання. Один із підходів – це використання вбудованих систем Інтернету речей (IoT) для дистанційної взаємодії людини та комп'ютера у процесі онлайн-підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін. Wu and Zhang [177] розробили програму підготовки на основі концепції IoT, яка включала моделювання, програмування, аналіз даних та критичне мислення. Punsrigate Khonjaroen and Srikoon [121] пропонують програму формування навичок проведення навчальної діяльності на основі концепції STEM-освіти, Madahaе, Pisapak and Thanyasirikul [80] – навчання дизайну STEM-освіти через серію воркшопів, які мали на меті підготувати вчителів до розробки та реалізації STEM-проектів у своїх класах і базувалися на принципах інтеграції, інтерактивності, інноваційності та інклюзивності. Tumasheva et al. [166] пропонують створення елективних курсів для вчителів математики, які спрямовані на реалізацію STEM-підходу через поєднання математичного моделювання та інженерного проектування. Thomas et al. [160] представляють результати навчання педагогічних працівників розробки STEM-курикулуму для середньої школи, яке базувалося на принципах інженерного дизайну.

3. *Застосування методології дизайн-мислення для створення навчальних сценаріїв, які сприяють розвитку критичного та творчого мислення.* Wu, Hu and Wang [176] пропонують програму підготовки, яка базується на чотирьох стадіях дизайн-мислення: спостереження, генерування ідей, прототипування та тестування.
4. *Організація воркшопів та проектно-орієнтованого навчання для формування практичних навичок та лідерської компетентності* [80].
5. *Застосування змішаних методів дослідження для оцінки ефективності, а та-*

кож впливу підготовки на вчителів та учнів. Madahaе, Pisapak and Thanyasirikul [80] застосували змішаний метод дослідження для аналізу результатів воркшопів та виявили покращення у розумінні, ставленні та готовності вчителів до STEM-освіти. Thomas et al. [160] використовували змішаний метод дослідження для аналізу впливу навчання на знання, навички, ставлення та поведінку вчителів – автори виявили, що такий підхід може покращити як професійну підготовку вчителів, так і якість STEM-курикулуму. Olmedo-Torre and Martínez [108] використали змішаний метод дослідження для аналізу даних та виявили, що такий підхід може покращити як самостійне навчання студентів, так і роботу вчителів.

6. *Співпраця з роботодавцями, науковими установами та громадськими організаціями для забезпечення актуальності та якості STEM-освіти.* Banks-Hunt et al. [10] пропонують створення “інженерного простору” для забезпечення студентоцентрованого навчання та відповідних курикулуму і програми підготовки вчителів середніх шкіл на основі співпраці між університетом, школами та громадськими організаціями, а Madihally et al. [81] описують проєкт, який базується на співпраці між університетом, школами та промисловими партнерами.

1.2.3. Інженерія у STEM-освіті

На основі аналізу публікацій можна виділити наступні основні теми в контексті STEM-освіти та інженерної підготовки вчителів:

Важливість інженерної освіти для STEM-освіти – ця тема стосується ролі інженерної освіти як невід’ємної складової STEM-освіти, яка сприяє розвитку ключових компетентностей учнів у галузі науки, технологій, інженерії та математики. Green and Anid [53], Sundaram [155], Thomas et al. [160] показують, що інженер-

на освіта є ключовим фактором для формування STEM-світогляду, який дозволяє учням розвивати критичне мислення, творчість, навички вирішення проблем та інші, необхідні для успіху в STEM-професіях.

Інтеграція інженерії у STEM-освіту – ця тема стосується способів інтеграції інженерних змістових ліній у STEM-освіту, щоб забезпечити цілісне навчання учнів. Дослідники пропонують різні педагогічні практики для інтеграції інженерних елементів у STEM-освіту, такі як:

- упровадження нових стандартів середньої освіти, спрямованих на розвиток навичок 21-го століття, за якими навчання інженерії стає центральним компонентом, пов'язаним із іншими дисциплінами, такими як математика, мова, соціальні дисципліни [70];
- включення елементів інженерної діяльності до уроків природничих наук та математики [9, 80];
- розробка інтегрованих STEM-курсів, що поєднують елементи природничих наук, математики та інженерії [117, 123];
- використання віртуальних лабораторій та інших технологій для моделювання інженерних процесів [37];
- підтримка неперервного навчання учнів у віддаленому форматі [161];
- проведення занять на базі геологічного музею [162], виробничої лабораторії [81], шкільного IT-клубу [130] тощо;
- навчання обчислювального мислення для інженерних застосувань [58, 67].

Підготовка вчителів до інтеграції інженерії у STEM-освіту – ця тема стосується необхідності підготовки вчителів до інтеграції інженерії у STEM-освіту, щоб вони могли ефективно організовувати освітній процес та мотивувати учнів. Дослідники пропонують різні програми та заходи для підготовки вчителів до інте-

грації інженерії у STEM-освіту, такі як:

- курси підвищення кваліфікації та професійного розвитку вчителів, зокрема, із дизайн-мислення [92, 108, 176];
- програми стажування та практики для вчителів [155];
- створення партнерств між університетами, відділами освіти та іншими установами для підготовки вчителів [10, 41, 118, 122].

1.2.4. Підготовка кадрів для STEM

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

Green and Anid [53] 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 [48] 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, Md Nasir and Ismail [131] 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 [27] проаналізовано думки вчителів математики щодо STEM-навчання та визначено необхідність підготовки майбутніх вчителів до інтеграції STEM-освіти в їхні уроки. Galadima, Ismail and Ismail [49, 50] пропонують інтегроване STEM-навчання майбутніх учителів математики. Tumasheva et al. [166] презентують результати дослідження з підготовки вчителів математики до STEM-освіти в школах та інших освітніх установах. Автори рекомендують використання вибіркового курсів для підготовки майбутніх вчителів математики до впровадження STEM-навчання, з урахуванням принципів практичної орієнтації, багатодисциплінарності, професійного спрямування та застосування регіонального контексту.

Eliás et al. [38] обговорюють необхідність розвитку цифрових та STEM-навичок у студентів, які прагнуть стати вчителями хімії. Ortega-Torres [110] досліджує готовність студентів-майбутніх вчителів до STEM-навчання за методом проєктів. У статті [33] 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. [162] 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. [74] спрямовано на впровадження міждисциплінарних STEM-проєктів на основі методу моделювання. Dibarbora [29] описує ме-

тодику 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 [155] обговорює програму підготовки вчителів середніх та початкових шкіл до застосування STEM-освіти у освітньому процесі.

Yildirim [178] 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 представленої моделі.

Ferrando Palomares, Hurtado Soler and Beltran Meneu [45] 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 у навчанні STEM-дисциплін є можливістю для розвитку навичок викладання майбутніх учителів.

Ezzeldin [43] досліджує вплив веб-навчання на розвиток компетентостей вчителів середніх шкіл з питань впровадження STEM-підходу. Автори статті [161] 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 Madahaе, Pisapak and Thanyasirikul [80] полягає у тому, що вчителі відіграють важливу роль у створенні навчальних матеріалів та ситуацій, які сприяють розвитку в учнів навичок мислення вищого рівня та інтегрують науку в повсякденне життя. Автори пропонують різні майстер-класи та практичні заняття для вчителів з метою підвищення їх професійного рівня.

Weiner, Lande and Jordan [175] 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. [12] 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 [136] 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 подається оцінка результатів її впровадження серед 184 вчителів.

Дослідження [176] показало, що статичний та адаптивний супровід учителів може допомогти розвинути компетентності з дизайн-мислення у викладачів STEM-дисциплін.

Martinez-Borreguero, Mateos-Nunez and Naranjo-Correa [84] виявили необхідність підвищення наукової, методичної та емоційної компетентності майбутніх вчителів початкової школи щодо навчання STEM-дисциплін. Punsrigate Khonja-

roen and Srikoon [121] розробили та довели ефективність навчального курсу, спрямованого на підвищення компетентності вчителів початкової школи у STEM-освіті. Так, основна думка Martinez-Borreguero, Mateos-Nunez and Naranjo-Correa [83] 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, Mateos-Nunez and Naranjo-Correa [83] пропонують використовувати активні та практичні методи підготовки вчителів, щоб підвищити рівень їх знань та вміння інтегрувати науковий матеріал у STEM-проекти.

Основна думка статті [160] 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 [19] 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.

На основі аналізу робіт [51, 71, 118, 121] можна виокремити такі основні рекомендації із підготовки *вчителів початкових класів* до реалізації STEM-освіти: розробка програм навчання STEM-освіти для учителів початкових класів; застосування інтегрованого та міждисциплінарного підходів до навчання; методична

підготовка до викладання STEM-дисциплін; встановлення зв'язку STEM-освіти із реальним життям; поступове впровадження STEM-освіти; постійне самовдосконалення вчителів.

Tumasheva et al. [166] пропонують використовувати потенціал вибіркового курсів для підготовки майбутніх *вчителів математики* до впровадження STEM-освіти з акцентом на практичну та професійну орієнтацію, мультидисциплінарність та регіональний контекст, а Shyshenko et al. [147] описують досвід підготовки вчителів математики до створення простору для творчості (мейкер-простору) на уроках математики за допомогою пакету GeoGebra в рамках курсів підвищення кваліфікації. Мейкер-простір – це середовище, де учасники можуть експериментувати, конструювати, моделювати та демонструвати свої проекти за допомогою різних матеріалів та технологій. GeoGebra допомагає вчителям математики організувати мейкер-простір на основі STEM-принципів, таких як інтерактивність, візуалізація, співтворчість, рефлексія та оцінювання.

У підготовці майбутніх *вчителів фізики* до успішної реалізації STEM-освіти можна виокремити три основні напрями:

- 1) *підвищення рівня знань і навичок зі STEM-дисциплін*, яке включає не лише вивчення основ фізики, математики, інформатики та інженерії, але й розвиток навичок критичного мислення, вирішення проблем, творчості, комунікації та співпраці. Це дозволить вчителям фізики бути компетентними у своїй галузі та ефективно співпрацювати з іншими вчителями та учнями. Наприклад, Dibarbora [29] стверджує, що “метою курсу є надання студентам можливості розробляти моделі фізичних явищ за допомогою програмного забезпечення Scilab та апаратного забезпечення Arduino”. Це допомагає студентам розуміти фізичні закони та застосовувати їх до реальних ситуацій;

- 2) *оволодіння методиками STEM-освіти* передбачає розуміння принципів інтеграції STEM-дисциплін, а також уміння використовувати сучасні технології та обладнання для STEM-навчання. Це допоможе вчителям фізики застосовувати інтердисциплінарний підхід до навчання, який поєднує навчальні концепції з реальними ситуаціями. Наприклад, Elisa et al. [37] показують, як вони провели тренінг для вчителів фізики з використанням віртуальних лабораторій, та зазначають, що “віртуальна лабораторія є одним із способів навчання STEM, який може допомогти учням отримати практичний досвід фізичного експериментування”. Таким чином, вчителі фізики можуть використовувати цей інструмент для покращення якості своїх уроків. Arif et al. [8] описують розробку програми підготовки вчителів фізики до створення тестових завдань, що допомагає вчителям використовувати сучасні технології для оцінювання результатів навчання учнів;
- 3) *розвиток професійної компетентності* включає вміння планувати і проводити STEM-уроки, оцінювати результати навчання учнів, а також працювати з батьками та іншими зацікавленими сторонами. Це дозволить вчителям фізики покращити якість своєї роботи та забезпечити ефективне навчання учнів. Наприклад, Jauhariyah et al. [62] описують програму підготовки вчителів фізики до створення тестових завдань з фізики на основі критеріїв вищих когнітивних навичок (HOTS). Автори стверджують, що “HOTS є одним із важливих аспектів STEM-освіти, який сприяє формуванню в учнів навичок аналізу, синтезу, оцінки, розв’язування проблем та прийняття рішень”. Таким чином, вчителі фізики можуть розробляти завдання, які стимулюють учнів до критичного мислення та творчості.
- Підготовка *вчителів інформатики* до реалізації STEM-освіти може здійсню-

ватись за такими напрямками:

- 1) *розвиток обчислювального мислення* – цей напрямок спрямований на формування в учнів навичок аналізу, моделювання, абстрагування та розв’язання проблем за допомогою комп’ютерних технологій. Учителі інформатики повинні мати глибоке розуміння основних концепцій обчислювального мислення та знати, як інтегрувати їх у своє навчання [3];
- 2) *опанування основ робототехніки* – цей напрямок спрямований на ознайомлення учнів з принципами конструювання, програмування та керування роботами. Вчителі інформатики повинні мати практичні навички роботи з робототехнічними платформами та засобами, а також здатність проектувати цікаві та мотивуючі завдання для своїх учнів [104];
- 3) *формування позитивного ставлення до робототехніки* – цей напрямок спрямований на зміну стереотипних уявлень про робототехніку як складну дисципліну. Вчителі інформатики повинні бути свідомими власних переконань щодо робототехніки, а також вміти стимулювати інтерес та довіру до неї у своїх учнів [18];
- 4) *підтримка дослідницького навчання інформатики* – цей напрямок спрямований на заохочення учнів до самостійного пошуку, дослідження та вирішення проблем у галузі інформатики. Вчителі інформатики повинні володіти методами наукового дослідження та знати, як керувати та консультувати учнів у їхніх проєктах [130].

Аналіз [21, 28, 58, 80, 92, 102, 108, 123, 136, 158, 161, 162, 175, 177] надав можливість класифікувати *методи, засоби та форми професійної підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін* у такий спосіб:

- *онлайн-платформи та освітні ресурси* – передбачається, що вчителі отри-

- мують доступ до різноманітних онлайн-ресурсів, які допомагають їм оволодіти новими знаннями та навичками у галузі STEM-освіти. Наприклад, Wu and Zhang [177] описують систему дистанційної взаємодії на основі IoT, яка може покращити онлайн-навчання вчителів STEM-дисциплін;
- *інтерактивний підхід та метод проєктів* передбачають застосування активних методів та кооперативних форм навчання, які сприяють розвитку критичного мислення, креативності та інтересу до STEM. Майбутні вчителі можуть організовувати групові проєкти, які вимагають інтеграції різних STEM-дисциплін: так, Tijani et al. [161] представляють приклад віртуального STEM-проєкту в Африці, який надає вчителям можливість спілкуватися з експертами, студентами та однодумцями через онлайн-платформу;
 - *воркшопи та тренінги* – передбачається, що вчителі беруть участь у регулярних заходах (короткотермінових або довготермінових сесіях), які спрямовані на покращення їх професійних STEM-компетентностей;
 - *мейкерство* – метод навчання, який фокусується на практичному застосуванні знань і навичок. Він заохочує вчителів до самостійного створення та експериментування з різними матеріалами та інструментами, пов'язаними з наукою, технологіями, інженерією та математикою (STEM). Наприклад, вони можуть створювати творчі простори для учнів у своїх класах або використовувати 3D-принтери та інше обладнання для реалізації власних ідей [175];
 - *освітня робототехніка, програмування та конструювання* передбачають використання робототехнологічних, програмних та конструкторських засобів для навчання STEM-дисциплін. Наприклад, вчителі можуть використовувати роботи, мікроконтролери, сенсори та інші пристрої для створення інтер-

активних моделей та симуляцій [136];

- *обчислювальне мислення* є ключовою STEM-компетентністю вчителя, що охоплює такі інформатичні процеси, як абстрагування, декомпозиція, алгоритмізація, автоматизація тощо, та надає можливість навчитися моделювати та аналізувати складні проблеми [58];
 - *магістерська та докторська підготовка і співпраця з університетами* – за цієї форми вчителі продовжують освіту за програмою підготовки магістра та доктора філософії й співпрацюють з університетськими фахівцями у галузі STEM. Це метод залучення вчителів до наукових досліджень та академічних програм у STEM-галузях [28, 108];
 - *проекти передуніверситетської підготовки* – цей метод передбачає залучення вчителів до розробки та реалізації проектів, які спрямовані на підготовку учнів до вступу в університети за STEM-спеціальностями. Організуючи STEM-лабораторії, STEM-олімпіади, STEM-фестивалі та інші заходи, вчителі можуть стимулювати інтерес учнів до STEM-галузі, розвивати їх дослідницькі та аналітичні навички, а також показати перспективи кар'єри в STEM-галузі;
 - *інноваційні методи, засоби та форми підготовки* передбачають ознайомлення вчителів із сучасними педагогічними концепціями та практиками, які можуть покращити якість та ефективність STEM-освіти. Наприклад, вони можуть вивчати теорії навчання, дизайн-мислення, інклюзивну освіту та інші підходи, або застосовувати диференційоване навчання, перевернутий клас, комбіноване навчання, групову роботу, дискусії, рефлексію та інші методи і форми задля розвитку власних професійних компетентностей.
- На основі аналізу [67, 106, 120, 171] можна виокремити такі основні реко-

мендації із *перепідготовки вчителів* для ефективної реалізації STEM-освіти:

- вчителі STEM-дисциплін повинні мати доступ до ресурсів, необхідних для забезпечення якісної STEM-освіти, включаючи можливості для професійного зростання через постійне та систематичне навчання, наставництво та підтримку, коли вони планують, розробляють та реалізують власні STEM-уроки та модулі;
- вчителі STEM-дисциплін повинні брати участь у безкоштовних тренінгах та семінарах, які пропонуються різними організаціями, щоб отримати необхідну методичну підготовку та підвищити власний рівень;
- вчителі STEM-дисциплін повинні використовувати інноваційні технології та програмне забезпечення для залучення учнів до STEM;
- вчителі STEM-дисциплін повинні інтегрувати мистецтво та дизайн у STEM-освіту, щоб створити STEAM – природничо-технологічно-інженерно-математично-мистецьку освіту, яка сприяє розвитку креативності, співпраці, критичного мислення та комунікаційних навичок учнів;
- вчителі STEM-дисциплін повинні отримувати сертифікати, які підтверджують їх кваліфікацію та компетентність у галузі STEM-освіти.

1.2.5. Викладання STEM-дисциплін

Викладання STEM-дисциплін вимагає від учителів ефективних підходів, методів та засобів. Один аспект цього викладання полягає в поведінці вчителя та її впливі на навчальні результати учнів. Наприклад, Kyriakides, Creemers and Antoniou [72] пропонують дослідити поведінку вчителя з позиції теорії динамічних моделей, зокрема з урахуванням контекстуальних факторів та змін поведінки вчителя в часі. Одночасно автори наголошують на важливості розвитку професійних компетенцій вчителів у галузі STEM.

Інший аспект стосується підготовки та перепідготовки вчителів STEM, особливо з урахуванням нових технологій та вимог суспільства. За дослідженням Shum, Lau and Fryer [146], педагогічна практика аспірантів-асистентів позитивно впливає на їхні педагогічні погляди та самооцінку, сприяючи розвитку конструктивістських підходів та підвищенню позитивного ставлення до викладання. Окрім цього, McNerney et al. [92] виявили, що застосування активних методів навчання підвищує технологічну грамотність вчителів та сприяє ефективному навчанню.

Гендерний аспект викладання STEM-дисциплін також має значення. Дослідження Dinh and Nguyen [30] свідчать про низьку самооцінку студенток у галузі STEM та необхідність підтримки та заохочення їх до вивчення цих дисциплін. У той же час, Weiner, Lande and Jordan [175] відзначають, що підготовка вчителів у галузі дизайну та мейкерства сприяє розвитку креативності та співпраці.

Роль дистанційного навчання та IoT у викладанні STEM-дисциплін досліджують Tzafilkou, Perifanou and Economides [167], які показують позитивне ставлення вчителів до дистанційного навчання, однак вони також стикаються з технологічними та педагогічними викликами. Водночас Wu and Zhang [177] запропонували систему використання IoT для навчання вчителів STEM-дисциплін, яка сприяє якості навчання та підтримці студентів.

Інші аспекти включають практичний досвід та експериментальне навчання, які сприяють розвитку компетентностей та мотивації [45, 158]; розвиток екологічної свідомості вчителів [32]; розвиток обчислювального мислення [3, 29]; оцінювання якості викладання та педагогічної підготовки [8, 64]; інтеграція геонаук [162].

Узагальнюючи, викладання STEM-дисциплін потребує від вчителів розви-

тку компетенцій, використання нових технологій, оцінювання якості навчання, інтеграції різних галузей знань та забезпечення ефективного навчання через дистанційні та традиційні методи.

1.2.6. 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. [22] 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, Martinez-Borreguero and Naranjo-Correa [91] досліджують наявність зв'язків 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. [85] 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. [37] 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 [18] 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 [64] зауважує, що вивчення програмування дітьми набуває все більшої популярності, і, зокрема, в Туреччині підтримується на національному рівні. Автор досліджує сучасні методологічні та педагогічні вимоги до викладання програмування, а також пропонує інноваційну методику навчання вчителів інформатики, що дає позитивні результати.

Acar, Tertemiz and Taşdemir [1] дослідили вплив навчання STEM на академічні досягнення учнів четвертого класу з природничих дисциплін та математики, а також їхні погляди на навчання STEM. Результати показали, що навчання STEM позитивно впливає на досягнення дітей під час вивчення природничих дисциплін та математики, учні мають позитивні думки про таке навчання та можуть розглядати STEM-напрямки у майбутньому як свої професійні обрання.

Rursch, Burkhardt and Jacobson [130] розглядається, що вчителям потрібен підвищений рівень знань в галузі інформаційних технологій, щоб допомогти здобувати учням 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 проєктних технологій в освітньому процесі [187].

Основна думка авторів [47] 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 [30] 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 [165] 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. [58] 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, представлено зразки уроків та проєктів, а також розглянуто результати застосування цих уроків у практиці вчителів.

Pewkam and Chamrat [114] 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 обчислювального мислення у майбутніх вчителів, а її ключовими характеристиками є технічна підтримка, система управління навчанням, активне залучення та релевантність змісту навчання потребам студентів.

Knie, Standl and Schwarzer [67] 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, Perifanou and Economides [167] 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 ви-

кладання STEM-дисциплін, а також потребу в психологічній підтримці.

Lasica et al. [75] описують проєкт EL-STEM, який спрямований на використання технологій доповненої та змішаної реальностей (AR/MR) в STEM-освіті старшокласників, а також на розробку програми підвищення кваліфікації вчителів з використанням цих технологій у навчанні. Головна мета проєкту – збільшити зацікавленість учнів у STEM-дисциплінах та залучити їх до навчання.

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, роз-

робка й упровадження онлайн-навчальних програм із розвитку обчислювального мислення, та надання вчителям методичної підтримки із упровадження 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 викладачів 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 проектного мислення, цифрових та STEM-навичок;
 - реалізація міждисциплінарних STEM-проектів, 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-проекти.
 - 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;
- уведення ІКТ-підтримуваних навчальних майстерень (STEM-воркшопів) як форми організації навчання, спрямованої на інноваційну діяльність;
- уведення 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 спадає, 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.

1.3. Педагогічні умови підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності

Педагогічні умови – суттєві обставини реалізації освітнього процесу (матеріальні умови, методи, форми, реальні ситуації тощо), які об'єктивно склалися або суб'єктивно створені для досягнення певної мети.

Педагогічні умови підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності – матеріальні умови, методи, форми, реальні ситуації тощо застосування технологій доповненої реальності, які об'єктивно склалися у процесі підготовки або суб'єктивно створені для досягнення мети.

З метою виокремлення педагогічних умов підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності було проведено мозковий штурм, під час якого запропоновано 20 умов, та розподілено їх за 5 групами:

- умови, пов'язані з матеріальним забезпеченням освітнього процесу (підготовка майбутніх викладачів STEM-дисциплін, застосування технологій доповненої реальності):
 - 1) наявність обладнаних аудиторій у ЗВО (імерсивних лабораторій, аудиторій з віртуальною та доповненою реальністю);
 - 2) наявність мобільних (портативних, переносних, частково енергонезалежних) засобів для доповненої реальності: ноутбуків, планшетів, смартфонів, окулярів доповненої реальності тощо;
 - 3) доступність предметних (інформатика, фізика, математика, хімія, біо-

- логія, технології тощо) цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю, спеціально розроблених для майбутніх викладачів STEM-дисциплін;
- 4) доступність міжпредметних (трансдисциплінарних) цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю, спеціально розроблених для майбутніх викладачів STEM-дисциплін;
 - 5) доступність цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю для психолого-педагогічної підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін;
- методи, форми підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності:
 - 6) застосування інтерактивних технологій у процесі підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін;
 - 7) застосування дослідницького та проєктного методів у процесі підготовки;
 - 8) залучення студентів до адаптації, розробки, тестування та впровадження цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю;
 - 9) організація педагогічної практики з використанням технологій доповненої реальності;
 - 10) організація самостійної роботи з використанням технологій доповненої реальності;
 - 11) організація дистанційного навчання з використанням технологій доповненої реальності;
 - 12) застосування систем підтримки навчання;
 - реальні ситуації щодо кращих практик застосування технологій доповненої

реальності у підготовці:

- 13) добір, пристосування, адаптація тощо цифрових ресурсів із доповненою реальністю для освітньої діяльності зі STEM-дисциплін;
 - 14) набуття практичного досвіду застосування технологій доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін;
- спеціально створені для досягнення мети підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності:
 - 15) введення до змісту підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін питань, пов'язаних із використанням доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін;
 - 16) введення до змісту підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін спецкурсу із розробки цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю;
 - 17) створення хмаро зорієнтованого навчально-методичного комплексу із розробки цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю для майбутніх викладачів STEM-дисциплін;
 - 18) залучення студентів до конкурсів із розробки цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю;
 - умови, пов'язані з психологічною та педагогічною підтримкою учасників освітнього процесу:
 - 19) позитивна мотивація до застосування технологій доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін;
 - 20) ведення освітнього сайту, блогу, каналу для викладачів STEM-дисциплін із питань імерсивних технологій навчання, проведення “неконф-

ренцій”, семінарів, педагогічних майстерень тощо.

Ураховуючи, що педагогічні умови є *найбільш* суттєвими обставинами освітнього процесу, для оцінки значущості запропонованих умов було організовано опитування (додаток А).

Анкету були розроблено у Google Forms, а відповідне посилання (<https://forms.gle/zNWwY43eRF7pCJcC9>) поширено через ряд груп Facebook та Google (зокрема, *ss_seminar*). Для відповідей анкета була відкрита 10 днів у період з 22.07.2022 р. по 05.08.2022 р. (рис. 1.2).

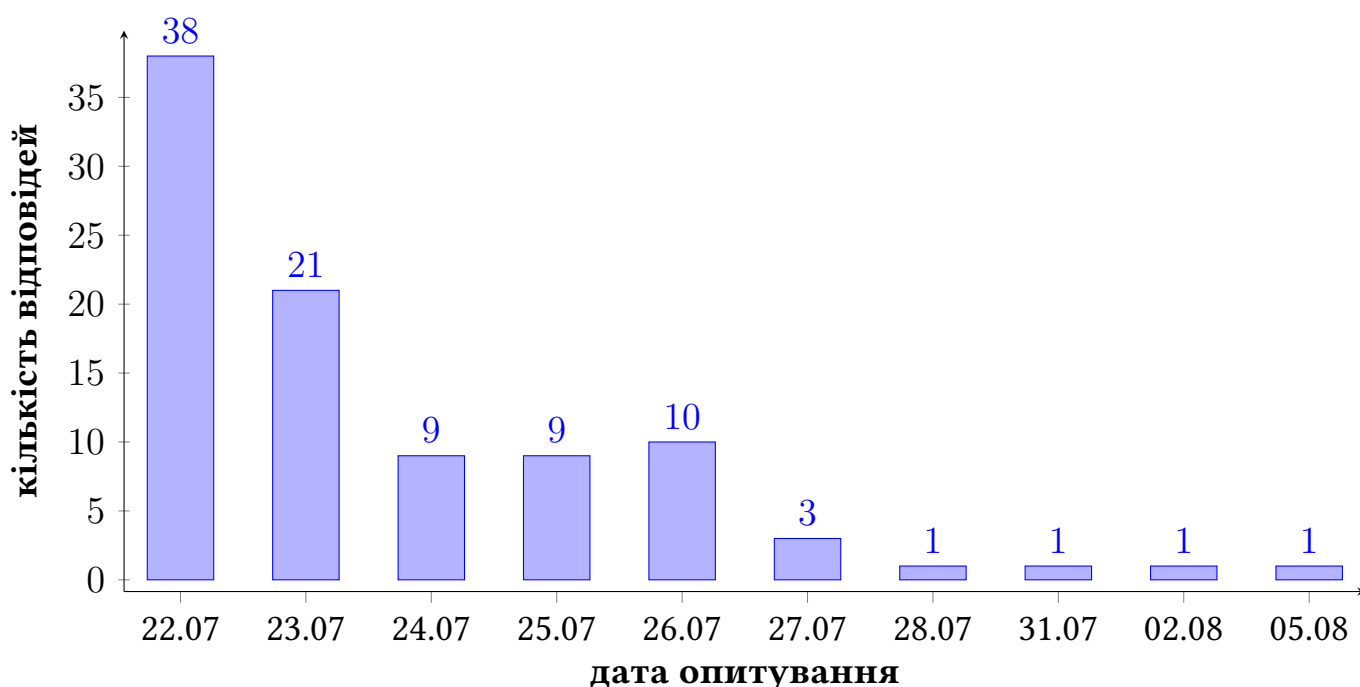


Рис. 1.2: Розподіл відповідей у часі.

На питання анкети відповіли 94 учасники опитування, серед яких 69.1% – викладачі ЗВО, 20.2% – вчителі, 16% – наукові співробітники та 3.2% – студенти (рис. 1.3).

51.1% опитаних є викладачами STEM-дисциплін (рис. 1.4) – дана категорія учасників опитування в контексті тематики опитування має найвищий рівень значущості $L_{STEM} = 1$; для тих учасників опитування, які не є викладачами

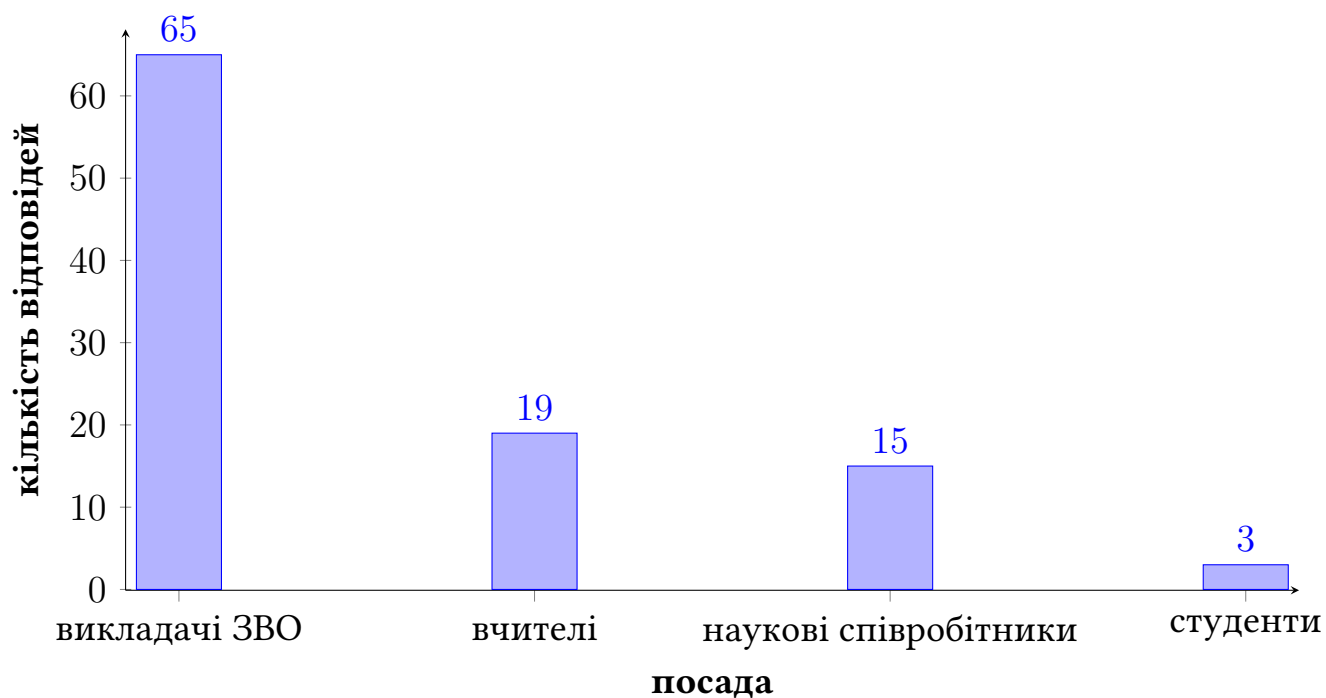


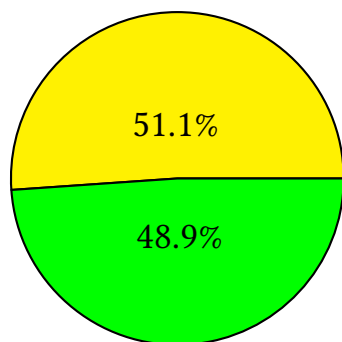
Рис. 1.3: Розподіл відповідей за посадами.

STEM-дисциплін, встановимо рівень значущості у $L_{STEM} = 0.5$.

На рис. 1.5 наведено розподіл учасників опитування за стажом роботи: 10.6% опитаних мають стаж від 5 до 10 років, 12.8% опитаних мають стаж від 11 до 15 років, 20.2% опитаних мають стаж від 16 до 20 років, 31.9% опитаних мають стаж від 21 до 30 років, тобто більш ніж $3/4$ (75.5%) опитуваних мають стаж роботи від 5 до 30 років, що відповідає високому рівню професійної активності.

У контексті опитування другим значущим фактором є рівень застосування доповненої реальності у власній професійній діяльності (рис. 1.6): 10.6% опитуваних можуть розробляти власні засоби доповненої реальності, тому для їх відповідей встановлено рівень значущості $L_{AR} = 1$; 61.7% опитуваних застосовують готові засоби доповненої реальності, тому для їх відповідей встановлено рівень значущості $L_{AR} = 0.75$; 27.7% опитуваних не застосовують засоби доповненої реальності у власній професійній діяльності, але є обізнаними із ними, тому для їх відповідей встановлено рівень значущості $L_{AR} = 0.5$.

викладачі STEM-дисциплін



не викладачі STEM-дисциплін

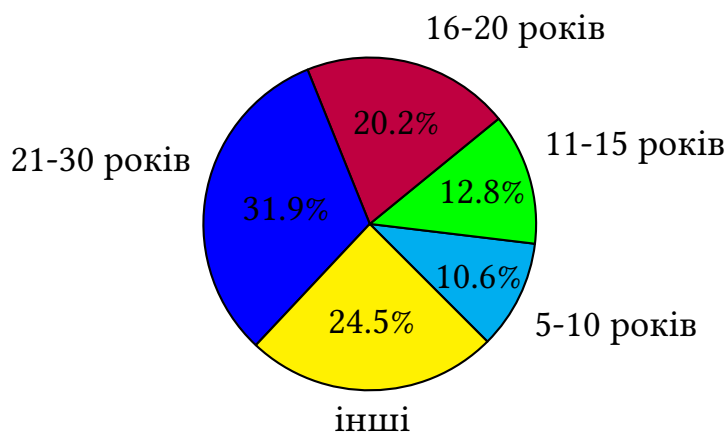


Рис. 1.4: Розподіл відповідей на питання “Чи є Ви викладачем STEM-дисциплін?”.

Рис. 1.5: Розподіл відповідей на питання “Вкажіть Ваш стаж роботи”.

Виходячи з відповідей на питання “Чи є Ви викладачем STEM-дисциплін?” та “Оцініть свій рівень застосування доповненої реальності у власній професійній діяльності”, вагу (i)-тої відповіді було встановлено у такий спосіб:

$$W^{(i)} = L_{STEM}^{(i)} \cdot L_{AR}^{(i)} \quad (1.1)$$

Значущість кожної з 20 умов було запропоновано оцінити за 5-бальною шкалою: 1 – “зовсім незначуща”, 2 – “незначуща”, 3 – “хай буде”, 4 – “значуща”, 5 – “дуже значуща”. Ураховуючи, що третій рівень відповідав невизначеній (нейтральній) відповіді, перший та другий – незначущості, а четвертий та п’ятий – значущості умови, для зручності опрацювання результатів оцінювання шкала [1, 2, 3, 4, 5] була зсунута вліво та перетворена на шкалу [-2, -1, 0, 1, 2]. Таким чином, від’ємна оцінка вказувала на незначущість умови, додатна – на значущість, а нульова – на невизначеність.

Розглянемо результати оцінювання умов, пов’язаних із матеріальним забезпеченням освітнього процесу. На рис. 1.7 показано розподіл оцінок значущості

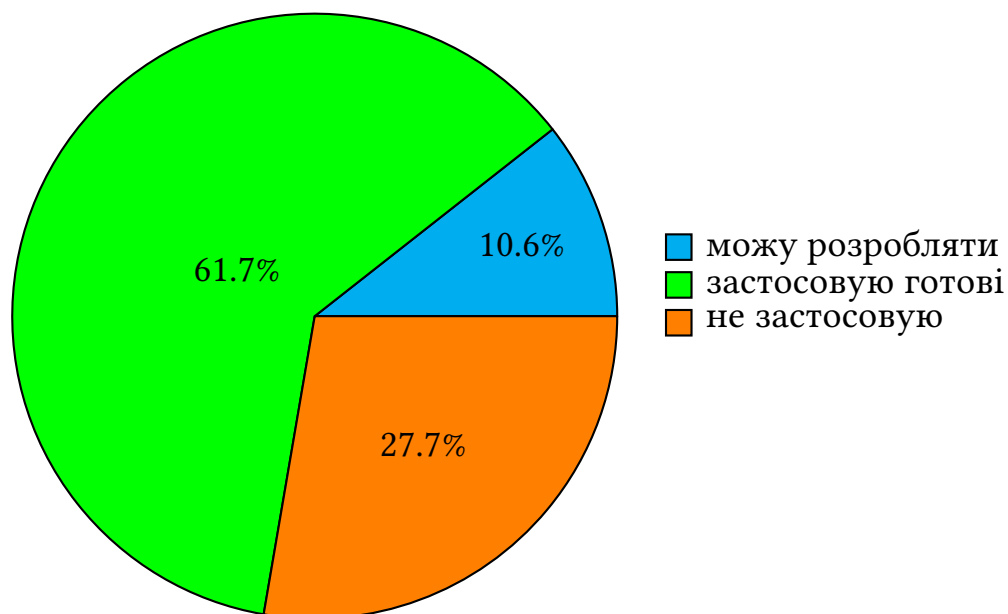


Рис. 1.6: Розподіл учасників опитування за рівнем застосування доповненої реальності у власній професійній діяльності.

умови 1 (наявність обладнаних аудиторій у ЗВО). 9.5% опитаних вважають наявність обладнаних аудиторій у ЗВО незначущим, 6.4% не визначились із відповіддю, а 84.1% опитаних – значущим.

На рис. 1.8 показано розподіл оцінок значущості умови 2 (наявність мобільних (портативних, переносних, частково енергонезалежних) засобів для доповненої реальності: ноутбуків, планшетів, смартфонів, окулярів доповненої реальності тощо). 5.3% опитаних вважають наявність мобільних засобів для доповненої реальності незначущим, 4.3% не визначились із відповіддю, а 90.4% опитаних – значущим.

На рис. 1.9 показано розподіл оцінок значущості умови 3 (доступність предметних (інформатика, фізика, математика, хімія, біологія, технології тощо) цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю, спеціально розроблених для майбутніх викладачів STEM-дисциплін.). 8.6% опитаних вважають доступність предметних цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю, спеціально

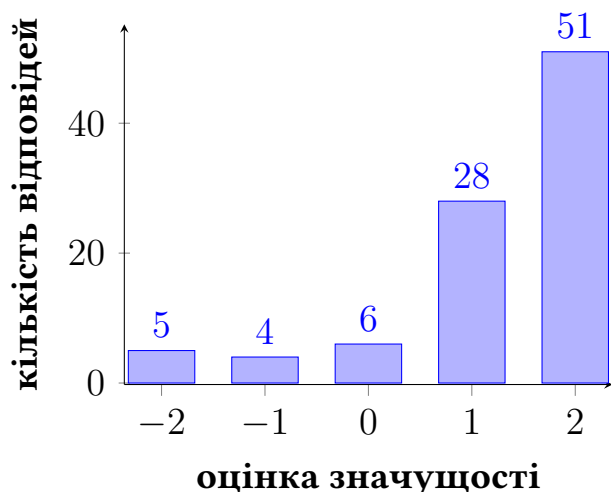


Рис. 1.7: Розподіл оцінок значущості умови 1 (наявність обладнаних аудиторій у ЗВО).

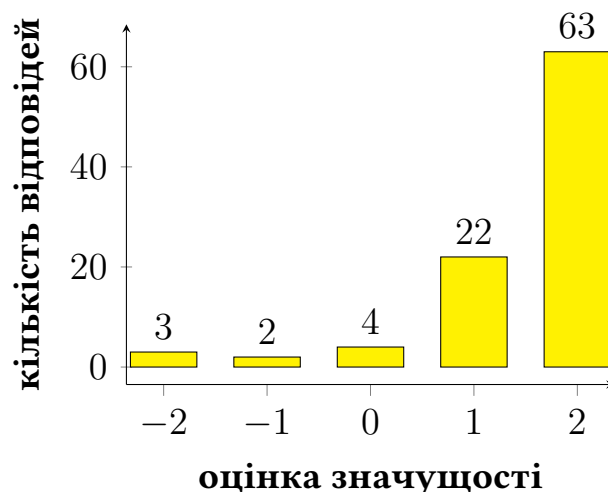


Рис. 1.8: Розподіл оцінок значущості умови 2 (наявність мобільних засобів для доповненої реальності).

розроблених для майбутніх викладачів STEM-дисциплін незначущим, 7.4% не визначились із відповіддю, а 84.0% опитаних – значущим.

На рис. 1.10 показано розподіл оцінок значущості умови 4 (доступність міжпредметних (трансдисциплінарних) цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю, спеціально розроблених для майбутніх викладачів STEM-дисциплін). 7.5% опитаних вважають доступність міжпредметних цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю, спеціально розроблених для майбутніх викладачів STEM-дисциплін незначущим, 5.3% не визначились із відповіддю, а 87.2% опитаних – значущим.

На рис. 1.11 показано розподіл оцінок значущості умови 5 (доступність цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю для психолого-педагогічної підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін). 14.9% опитаних вважають доступність цифрових освітніх ресурсів із застосуванням доповненої реальності для психолого-педагогічної підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін незначущим, 12.8% не визначились із відповіддю, а 72.3% опитаних – значущим.

На рис. 1.12 показано розподіл оцінок значущості умови 6 (застосування ін-

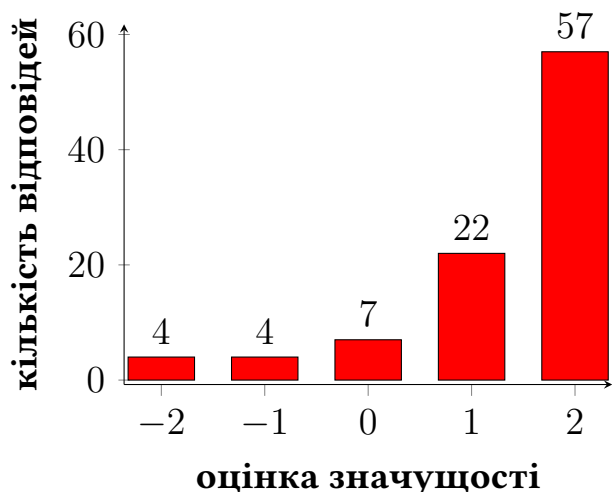


Рис. 1.9: Розподіл оцінок значущості умови 3 (доступність предметних цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю, спеціально розроблених для майбутніх викладачів STEM-дисциплін).

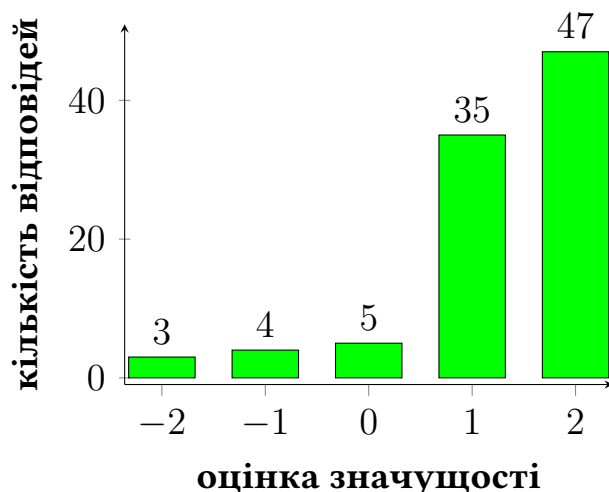


Рис. 1.10: Розподіл оцінок значущості умови 4 (доступність предметних цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю, спеціально розроблених для майбутніх викладачів STEM-дисциплін).

терактивних технологій у процесі підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін). 5.3% опитаних вважають застосування інтерактивних технологій у процесі підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін незначущим, 10.6% не визначились із відповіддю, а 84.1% опитаних – значущим.

На рис. 1.13 показано розподіл оцінок значущості умови 7 (застосування дослідницького та проектного методів у процесі підготовки). 3.2% опитаних вважають застосування дослідницького та проектного методів у процесі підготовки незначущим, 9.6% не визначились із відповіддю, а 87.2% опитаних – значущим.

На рис. 1.14 показано розподіл оцінок значущості умови 8 (залучення студентів до адаптації, розробки, тестування та впровадження цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю). 10.7% опитаних вважають залучення студентів до адаптації, розробки, тестування та впровадження цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю незначущим, 8.5% не визначились із відповіддю, а 80.8% опитаних – значущим.



Рис. 1.11: Розподіл оцінок значущості умови 5 (доступність цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю для психолого-педагогічної підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін).

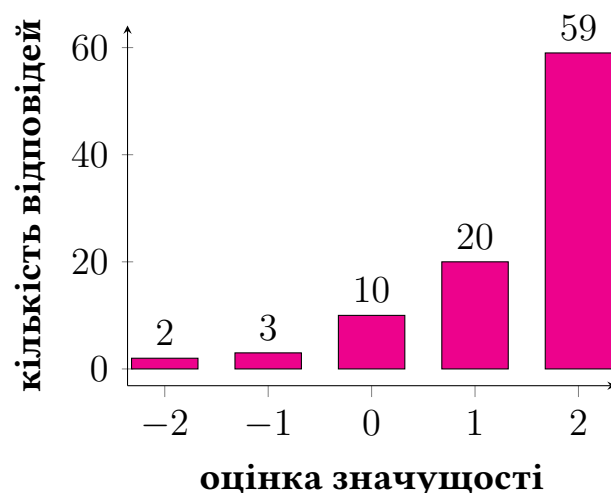


Рис. 1.12: Розподіл оцінок значущості умови 6 (застосування інтерактивних технологій у процесі підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін).

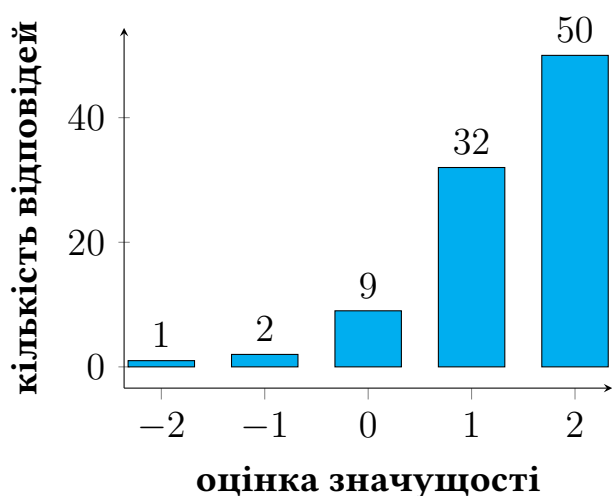


Рис. 1.13: Розподіл оцінок значущості умови 7 (застосування дослідницького та проектного методів у процесі підготовки).

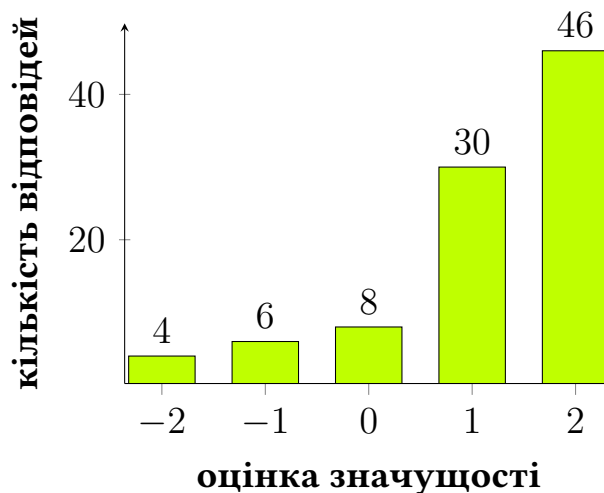


Рис. 1.14: Розподіл оцінок значущості умови 8 (залучення студентів до адаптації, розробки, тестування та впровадження цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю).

На рис. 1.15 показано розподіл оцінок значущості умови 9 (організація педагогічної практики з використанням технологій доповненої реальності). 9.6% опитаних вважають організацію педагогічної практики з використанням технологій

доповненої реальності незначущою, 11.7% не визначились із відповіддю, а 78.7% опитаних – значущою.

На рис. 1.16 показано розподіл оцінок значущості умови 10 (організація самостійної роботи з використанням технологій доповненої реальності). 8.6% опитаних вважають організацію самостійної роботи з використанням технологій доповненої реальності незначущою, 13.8% не визначились із відповіддю, а 77.7% опитаних – значущою.

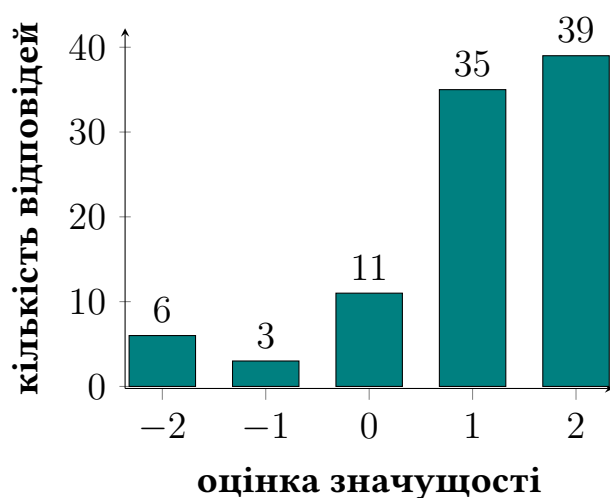


Рис. 1.15: Розподіл оцінок значущості умови 9 (організація педагогічної практики з використанням технологій доповненої реальності).

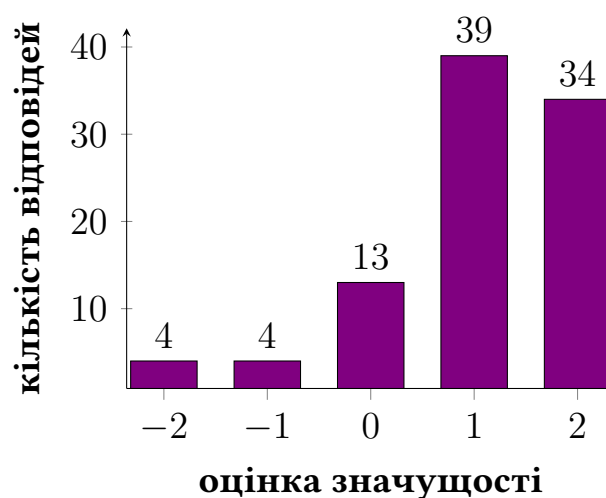


Рис. 1.16: Розподіл оцінок значущості умови 10 (організація самостійної роботи з використанням технологій доповненої реальності).

На рис. 1.17 показано розподіл оцінок значущості умови 11 (організація дистанційного навчання з використанням технологій доповненої реальності). 10.6% опитаних вважають організацію дистанційного навчання з використанням технологій доповненої реальності незначущою, 17% не визначились із відповіддю, а 72.3% опитаних – значущою.

На рис. 1.18 показано розподіл оцінок значущості умови 12 (застосування систем підтримки навчання). 10.6% опитаних вважають застосування систем підтримки навчання незначущим, 14.9% не визначились із відповіддю, а 74.4% опитаних – значущою.

таних – значущим.

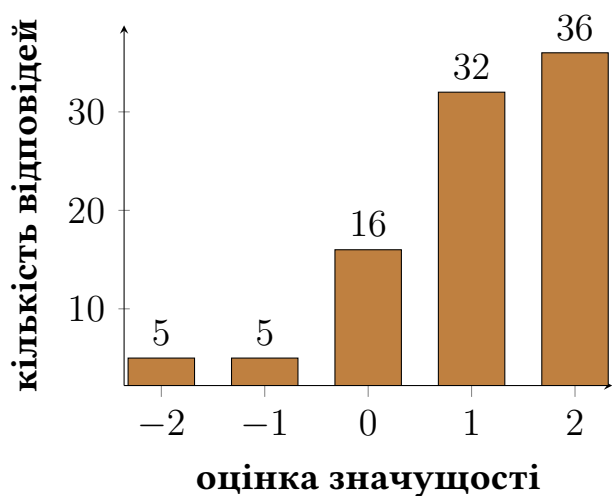


Рис. 1.17: Розподіл оцінок значущості умови 11 (організація дистанційного навчання з використанням технологій доповненої реальності).

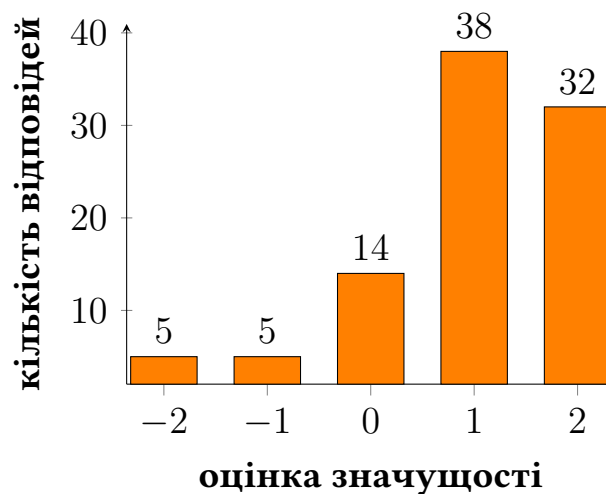


Рис. 1.18: Розподіл оцінок значущості умови 12 (застосування систем підтримки навчання).

На рис. 1.19 показано розподіл оцінок значущості умови 13 (добір, пристосування, адаптація тощо цифрових ресурсів із доповненою реальністю для освітньої діяльності зі STEM-дисциплін). 6.4% опитаних вважають, що добір, пристосування, адаптація тощо цифрових ресурсів із доповненою реальністю для освітньої діяльності зі STEM-дисциплін є незначущим, 6.4% не визначились із відповіддю, а 87.3% опитаних – значущим.

На рис. 1.20 показано розподіл оцінок значущості умови 14 (набуття практичного досвіду застосування технологій доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін). 7.4% опитаних вважають, що набуття практичного досвіду застосування технологій доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін є незначущим, 1.1% не визначились із відповіддю, а 91.5% опитаних – значущим.

На рис. 1.21 показано результат розподілу оцінок значущості умови 15 (уведення до змісту підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін питань, пов'язаних із використанням доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін). 5.3%

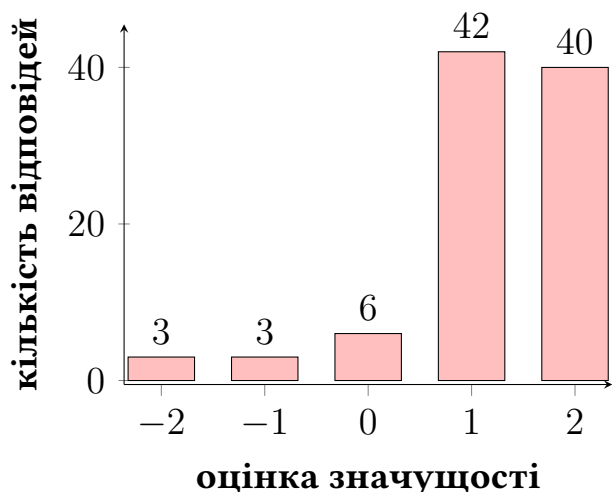


Рис. 1.19: Розподіл оцінок значущості умови 13 (добір, пристосування, адаптація тощо цифрових ресурсів із доповненою реальністю для освітньої діяльності зі STEM-дисциплін).

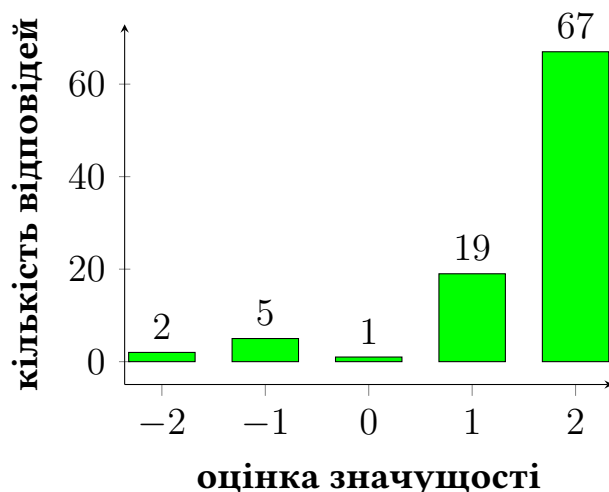


Рис. 1.20: Розподіл оцінок значущості умови 14 (набуття практичного досвіду застосування технологій доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін).

опитаних вважають уведення до змісту підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін питань, пов'язаних із використанням доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін незначущим, 9.6% не визначились із відповіддю, а 85.1% опитаних – значущим.

На рис. 1.22 показано розподіл оцінок значущості умови 16 (уведення до змісту підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін спецкурсу із розробки цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю). 5.3% опитаних вважають уведення до змісту підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін спецкурсу із розробки цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю незначущим, 9.6% не визначились із відповіддю, а 85.1% опитаних – значущим.

На рис. 1.23 показано розподіл оцінок значущості умови 17 (створення хмаро зорієнтованого навчально-методичного комплексу із розробки цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю для майбутніх викладачів STEM-дисциплін). 7.5% опитаних вважають створення хмаро зорієнтованого навчально-методичного комплексу із розробки цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю

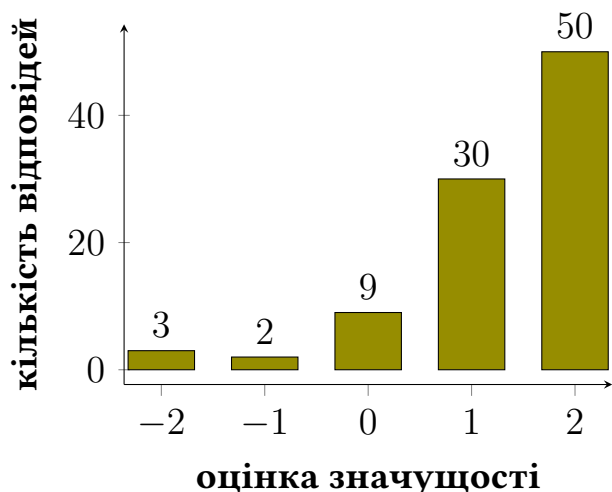


Рис. 1.21: Розподіл оцінок значущості умови 15 (уведення до змісту підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін питань, пов'язаних із використанням доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін).

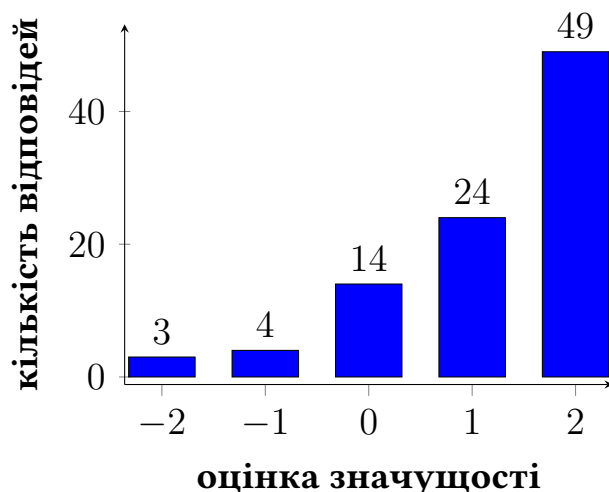


Рис. 1.22: Розподіл оцінок значущості умови 16 (уведення до змісту підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін спецкурсу із розробки цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю).

ністю для майбутніх викладачів STEM-дисциплін незначущим, 13.8% не визначились із відповіддю, а 77.8% опитаних – значущим.

На рис. 1.24 показано розподіл оцінок значущості умови 18 (залучення студентів до конкурсів із розробки цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю). 7.5% опитаних вважають залучення студентів до конкурсів із розробки цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю незначущим, 16% не визначились із відповіддю, а 76.6% опитаних – значущим.

На рис. 1.25 показано розподіл оцінок значущості умови 19 (позитивна мотивація до застосування технологій доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін). 6.4% опитаних вважають, що позитивна мотивація до застосування технологій доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін є незначущою, 10.6% не визначились із відповіддю, а 83.0% опитаних – значущою.

На рис. 1.26 показано розподіл оцінок значущості умови 20 (ведення освітнього сайту, блогу, каналу для викладачів STEM-дисциплін із питань імерсив-

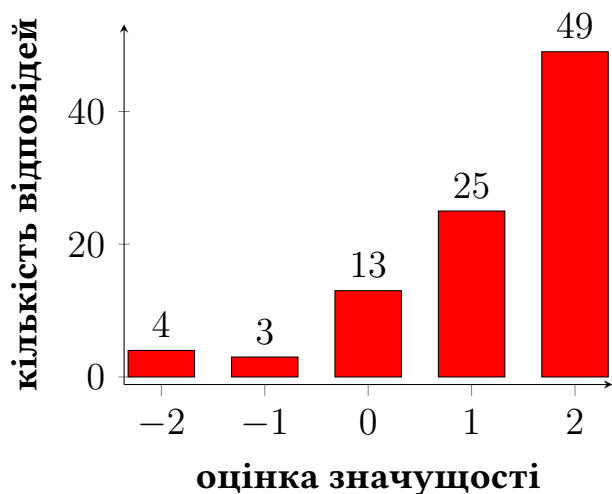


Рис. 1.23: Розподіл оцінок значущості умови 17 (створення хмаро зорієнтованого навчально-методичного комплексу із розробки цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю для майбутніх викладачів STEM-дисциплін).

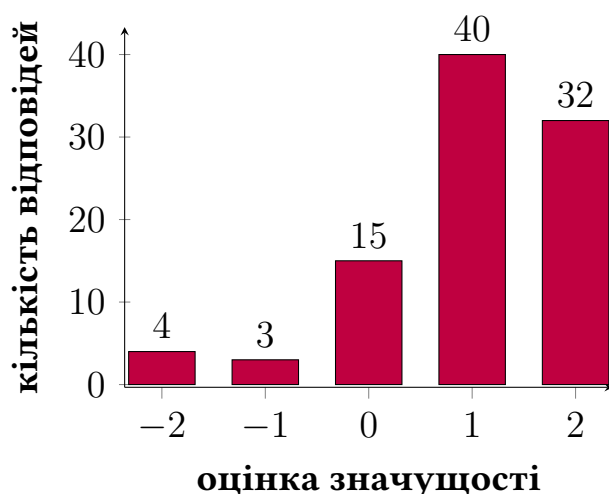


Рис. 1.24: Розподіл оцінок значущості умови 18 (залучення студентів до конкурсів із розробки цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю).

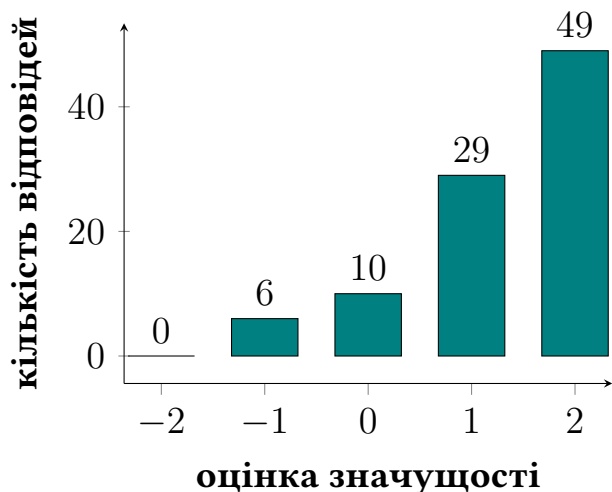


Рис. 1.25: Розподіл оцінок значущості умови 19 (позитивна мотивація до застосування технологій доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін).

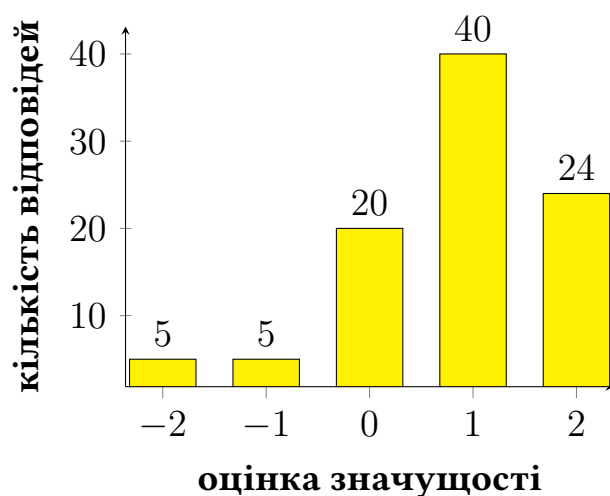


Рис. 1.26: Розподіл оцінок значущості умови 20 (ведення освітнього сайту, блогу, каналу для викладачів STEM-дисциплін із питань імерсивних технологій навчання, проведення “неконференцій”, семінарів, педагогічних майстерень тощо).

них технологій навчання, проведення “неконференцій”, семінарів, педагогічних майстерень тощо). 10.6% опитаних вважають ведення освітнього сайту, блогу, ка-

налу для викладачів STEM-дисциплін із питань імерсивних технологій навчання, проведення “неконференцій”, семінарів, педагогічних майстерень тощо незначущим, 21.3% не визначились із відповіддю, а 68.1% опитаних – значущим.

Для кожної умови у табл. 1.2 були розраховані такі значення:

- $AVG_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_k^i$ – середня оцінка значущості педагогічної умови без урахування ваги відповідей, де $k = \overline{1, 20}$ – номер педагогічної умови, що оцінювалась, $n = 94$ – кількість учасників опитування, $i = \overline{1, n}$ – номер відповіді, S_k^i – оцінка i -тим опитуваним значущості k -тої умови;
- $WAVG_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W^i S_k^i$ – середня оцінка значущості педагогічної умови з урахування ваги відповідей, де $k = \overline{1, 20}$ – номер педагогічної умови, що оцінювалась, $n = 94$ – кількість учасників опитування, $i = \overline{1, n}$ – номер відповіді, W^i – вага i -тої відповіді (за формулою (1.1)), S_k^i – оцінка i -тим опитуваним значущості k -тої умови.

Табл. 1.2: Відбір педагогічних умов.

Умова	AVG	WAVG	Фахівці звертають більшу увагу	Фахівці звертають меншу увагу	Відбір за AVG	Відбір за WAVG
Наявність обладнаних аудиторій у ЗВО (імерсивних лабораторій, аудиторій з віртуальною та доповненою реальністю)	1.234	1.198		*	0	0
Наявність мобільних (портативних, переносних, частково енергонезалежних) засобів для доповненої реальності: ноутбуків, планшетів, смартфонів, окулярів доповненої реальності тощо	1.489	1.498	+		1	1

Продовження табл. 1.2

Умова	AVG	WAVG	Фахівці звертають більшу увагу	Фахівці звертають меншу увагу	Відбір за AVG	Відбір за WAVG
Доступність предметних (інформатика, фізика, математика, хімія, біологія, технології тощо) цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю, спеціально розроблених для майбутніх викладачів STEM-дисциплін	1.319	1.314		*	1	0
Доступність міжпредметних (трансдисциплінарних) цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю, спеціально розроблених для майбутніх викладачів STEM-дисциплін	1.266	1.261		*	0	0
Доступність цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю для психолого-педагогічної підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін	1.000	0.998		*	0	0
Застосування інтерактивних технологій у процесі підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін	1.394	1.394	+		1	1
Застосування дослідницького та проєктного методів у процесі підготовки	1.362	1.454	+		1	1
Залучення студентів до адаптації, розробки, тестування та впровадження цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю	1.149	1.179	+		0	0
Організація педагогічної практики з використанням технологій доповненої реальності	1.043	1.019		*	0	0
Організація самостійної роботи з використанням технологій доповненої реальності	1.011	1.012	+		0	0
Організація дистанційного навчання з використанням технологій доповненої реальності	0.947	0.940		*	0	0
Застосування систем підтримки навчання	0.926	1.007	+		0	0
Добір, пристосування, адаптація тощо цифрових ресурсів із доповненою реальністю для освітньої діяльності зі STEM-дисциплін	1.202	1.205	+		0	0

Продовження табл. 1.2

Умова	AVG	WAVG	Фахівці звертають більшу увагу	Фахівці звертають меншу увагу	Відбір за AVG	Відбір за WAVG
Набуття практичного досвіду застосування технологій доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін	1.532	1.551	+		1	1
<i>Уведення до змісту підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін питань, пов'язаних із використанням доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін</i>	1.298	1.338	+		0	1
Уведення до змісту підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін спецкурсу із розробки цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю	1.191	1.242	+		0	0
Створення хмаро зорієнтованого навчально-методичного комплексу із розробки цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю для майбутніх викладачів STEM-дисциплін	1.191	1.200	+		0	0
Залучення студентів до конкурсів із розробки цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю.	0.989	1.048	+		0	0
Позитивна мотивація до застосування технологій доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін	1.287	1.309	+		0	0
Ведення освітнього сайту, блогу, каналу для викладачів STEM-дисциплін із питань імерсивних технологій навчання, проведення “неконференцій”, семінарів, педагогічних майстерень тощо	0.777	0.831	+		0	0
Середні значення	1.180	1.200				
Граничні значення	1.298	1.320				

Зважене середнє значення $WAVG_k$, на відміну від AVG_k , більше відображає думку фахівців, до яких віднесені викладачі STEM-дисциплін, що активно

використовують технології доповненої реальності у професійній діяльності. Тому, якщо для k -тої педагогічної умови значення $WAVG_k > AVG_k$, то до стовпця “Фахівці звертають більшу увагу” вносився знак “+”, інакше до стовпця “Фахівці звертають меншу увагу” вносився знак “*”.

Далі були обчислені $TAVG = \frac{1}{20} \sum_{k=1}^{20} AVG_k = 1.180$ – середнє значення AVG

для всіх умов та $TWAVG = \frac{1}{20} \sum_{k=1}^{20} WAVG_k = 1.200$ – середнє значення $WAVG$ для всіх умов. Отримані значення стали відправною точкою для відбору педагогічних умов за звичайним (AVG) та зваженим ($WAVG$) середнім значенням значущості.

Якщо прийняти ці значення як граничні (тобто порівнювати з ними рівень значущості кожної умови – якщо він менший за граничний, умова відкидається (0), інакше умова приймається (1)), то за AVG буде відібрано умов 12 умов (1, 2, 3, 4, 6, 7, 13, 14, 15, 16, 17, 19), а за $WAVG$ – 11 (ті самі, що й за AVG , крім 1). Така кількість умов є надмірною, тому був уведений емпірично дібраний множник (1.1), який застосовувався до $TAVG$ та $TWAVG$, що надало такі нові граничні значення $1.1TAVG = 1.298$ та $1.1TWAVG = 1.320$, результати застосування яких подано у стовпцях “Відбір за AVG ” та “Відбір за $WAVG$ ” (1 – умову відібрано, 0 – умову не відібрано).

Одночасно за AVG та $WAVG$ відібрано умови 2, 6, 7 та 14. Умова 15, відібрана лише за $WAVG$, має більшу значущість для фахівців, а умова 3, відібрана лише за AVG – значущість для широкого загалу:

- 2, 3 – умови, пов’язані з матеріальним забезпеченням освітнього процесу;
- 6, 7 – методи, форми підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності;
- 14 – реальні ситуації щодо кращих практик застосування технологій допов-

неної реальності у підготовці;

- 15 – спеціально створені для досягнення мети підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності;
- не відібрані умови, пов'язані з психологічною та педагогічною підтримкою учасників освітнього процесу.

Таким чином, після об'єднання отримаємо наступні *педагогічні умови підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності*:

1. Забезпечення доступності мобільних апаратних засобів доповненої реальності та імерсивних цифрових освітніх ресурсів майбутнім викладачам STEM-дисциплін.
2. Уведення до змісту підготовки питань, пов'язаних із використанням доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін.
3. Застосування дослідницького підходу та інтерактивних технологій у процесі підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін.
4. Набуття практичного досвіду застосування технологій доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін.

Висновки до 1 розділу

У ході розв'язання перших двох завдань дослідження, пов'язаних із визначенням теоретичних основ підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності, було отримано наступні результати та висновки:

1. *Бібліометричний аналіз* джерел із проблеми дослідження надав можливість з'ясувати та систематизувати 21 ключове поняття, що використовується у галузі STEM та підготовки викладачів. *Кластерний аналіз* за спільним їх використанням надав можливість згрупувати ключові поняття у чотири кластери: “STEM-освіта та підготовка кадрів”, “Професійна підготовка вчителів та початкова освіта”, “Опитування щодо STEM-освіти” та “Електронне навчання та обчислювальне мислення у підготовці майбутніх вчителів STEM-дисциплін”. *Систематичний аналіз* надав можливість зробити такі висновки:

- (а) STEM-освіта має позитивний вплив на досягнення в природничих науках і математиці, але існує дефіцит спеціалістів у цих галузях;
- (б) зниження інтересу до STEM-дисциплін є глобальною проблемою, яку можна вирішити шляхом створення привабливих та доступних освітніх програм;
- (в) нерівність у сфері STEM є глобальною проблемою, яку можна вирішити шляхом створення STEM-лабораторій та підготовки вчителів з урахуванням гендерних аспектів;
- (г) обчислювальне мислення є важливою складовою STEM-освіти, яку можна впровадити шляхом проведення семінарів для вчителів, розробки онлайн-курсів та надання методичної підтримки.

- (д) професійна підготовка та соціальний статус учителів є стратегічно важливими для STEM-освіти;
- (е) для підвищення інтересу до STEM-дисциплін доцільно використовувати засоби ІКТ, зокрема віртуальну реальність, робототехніку та AR/MR.

Отримані результати надають можливість запропонувати наступні рекомендації із поліпшення STEM-освіти: а) інтегрувати STEM-підхід у програми підготовки вчителів; б) розвивати проєктне мислення, цифрові та STEM-навички у вчителів та учнів; в) запроваджувати міждисциплінарні STEM-проєкти; г) використовувати активні та практико орієнтовані методи навчання; д) збільшувати доступність STEM-освіти для всіх учнів; е) створювати STEM-лабораторії у закладах загальної середньої освіти; ж) підвищувати соціальний статус викладачів STEM-дисциплін; з) запроваджувати засоби ІКТ у навчання STEM-дисциплін.

2. Під *педагогічними умовами* розуміється сукупність матеріальних, методичних, організаційних та інших чинників, які забезпечують ефективність підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування доповненої реальності у професійній діяльності. Для визначення педагогічних умов було проведено опитування 94 респондентів, серед яких переважали викладачі STEM-дисциплін, що активно використовують доповнену реальність у своїй роботі. За результатами опитування були виділені такі педагогічні умови:

- (а) забезпечення доступності мобільних апаратних засобів доповненої реальності та імерсивних цифрових освітніх ресурсів майбутнім викладачам STEM-дисциплін;
- (б) уведення до змісту підготовки питань, пов'язаних із використанням

- доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін;
- (в) застосування дослідницького підходу та інтерактивних технологій у процесі підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін;
 - (г) набуття практичного досвіду застосування технологій доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін.

Основні результати першого розділу представлено у публікаціях [97–100, 194].

2 Реалізація педагогічних умов підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності

2.1. Забезпечення доступності мобільних апаратних засобів доповненої реальності та імерсивних цифрових освітніх ресурсів майбутнім викладачам STEM-дисциплін

Головна ідея AR (Augmented Reality) полягає в тому, щоб відобразити комп'ютерну модель у реальному часі та реальному просторі з метою взаємодії між користувачем у реальному просторі та 3D-моделі у віртуальному.

Для AR розробляються спеціальні пристрої, як правило, у вигляді шоломів та гарнітур, що надають можливість занурення (імерсії) користувача у модельне середовище.

AR може бути як маркерною, так і безмаркерною. У маркерній AR пристрій відстежує 2D-маркер: коли він “знаходиться”, на ньому фактично відображається 3D-об'єкт. У безмаркерному варіанті пристрій буде “шукати” плоску поверхню (стіл, підлогу тощо), і розташовуватиме 3D-об'єкт на ній.

AR доповнює реальний світ 3D-моделями, якими можна керувати за допомогою мобільного пристрою в будь-якому місці. Віртуальна реальність (Virtual Reality – VR) занурює користувача у модельний світ, для чого, як правило, необхідні наголовні дисплеї (Head Mounted Devices – HMD).

Інтерактивність у програмах для AR і VR забезпечується дуже схоже. Так, наприклад, VR фактично використовує контролери, а у деяких випадках й відстеження рук, що надає змогу користувачеві взаємодіяти з 3D-об'єктами всередині

сцени, у якій вони знаходяться.

До головних небезпек використання HMD для роботи у VR відносяться: напруження очей, запаморочення і головні болі після використання HMD.

На відміну від VR, AR не має таких значних ризиків для здоров'я. Тим не менш, викликає занепокоєння можливість користувачів залишатися зосередженими на тому, що вони роблять, під час використання AR – зокрема, з причин безпеки.

Найбільш поширений тип пристроїв, готових для AR – смартфони та планшети з операційними системами iOS (версія 11 та вище під управлінням iPhone та iPad) та Android (версія 7 та вище).

HoloLens є HMD-подібною гарнітурою для AR, що знаходиться у активній розробці. Цю гарнітуру часто порівнюють з AR-окулярами, такими як CastAR, Meta, Laster SeeThru та K-Glass.

За даними [5], у 2024 році очікується доступність 1,74 млрд AR-пристроїв, найбільш поширеними серед яких є смартфони, планшети та окуляри доповненої реальності. Ноутбуки у системі мобільних апаратних засобів посідають окреме місце через можливість їх застосування в якості універсального засобу навчання.

В Україні доступність окулярів доповненої реальності є низькою через їх високу вартість – так, станом на початок 2023 року відпускна вартість Microsoft HoloLens 2 складає 3500 доларів США. Тому, попри перспективність AR-окулярів, основними мобільними апаратними засобами для доповненої реальності для майбутніх викладачів STEM-дисциплін будемо уважати засоби високого рівня доступності: ноутбуки, планшети та смартфони.

Доступність імерсивних цифрових освітніх ресурсів для майбутніх викла-

дачів STEM-дисциплін є більш низькою, насамперед – через брак україномовних. Так, розроблені у рамках проекту “Augmented Reality for STEM Education” (AR4STEM) [119] імерсивні цифрові освітні ресурси та плани уроків з їх використанням є англомовними, а ресурси, пропоновані вітчизняними виробниками, не повністю покривають усі STEM-дисципліни. Станом на 01.09.2023 р. AR Book Market (<https://market.arbook.info/>)

- не містить жодного ресурсу з інформатики;
- не містить жодного ресурсу з технологій;
- серед 28 3D-моделей більшість – з фізики (з хімії – 2, з математики – 1), причому жодна з моделей не надається для безоплатного використання;
- серед 548 демонстрацій також більшість – з фізики (з біології – 116, з математики – 114, з географії – 106, з хімії – 72), причому лише 53% з них надається для безоплатного використання.

Таким чином, перша педагогічна умова реалізується в повному обсязі лише щодо мобільних апаратних засобів для доповненої реальності. Недостатній рівень доступності імерсивних цифрових освітніх ресурсів для майбутніх викладачів STEM-дисциплін зумовлює необхідність їх залучення до розробки таких ресурсів, що є стимулом для їх професійного розвитку.

2.2. Уведення до змісту підготовки питань, пов'язаних із використанням доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін

Для реалізації другої педагогічної умови було розроблено електронний навчальний курс для майбутніх викладачів STEM-дисциплін із проектування цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю, який було покладено в основу практичної частини курсу “Інноваційні цифрові технології в освіті” (режим доступу: <https://moodle.kdpu.edu.ua/course/view.php?id=753>) для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти (спеціальності 014 Середня освіта (Інформатика, Математика, Фізика, Хімія, Трудове навчання та технології) та 015 Професійна освіта (Цифрові технології)), апробація якого відбувалась у 2019–2023 рр.

Розглянемо, як реалізація другої педагогічної умови підтримується цільовим та змістовим компонентами *методики навчання майбутніх викладачів STEM-дисциплін створення імерсивних освітніх ресурсів*.

2.2.1. Уведення основних понять та засобів розробки

Мета – навчитися створювати програми із доповненою реальністю, орієнтовані на традиційні та мобільні веб-браузери, за допомогою бібліотек A-Frame, Three.js, AR.js тощо.

Пререквізитами навчання за курсом є успішне опанування курсу “Web-програмування”.

Обладнання – стаціонарний або мобільний комп'ютер із убудованою або зовнішньою камерою.

Програмне забезпечення – веб-браузер із підтримкою WebGL та текстовий редактор.

Такі мінімальні технічні вимоги до навчання за курсом дозволили використати як застарілі комп'ютери під управлінням Windows XP у 2019 році, так і різноманіття комп'ютерних засобів, доступних студентам у режимі екстреного дистанційного навчання під час пандемії та повномасштабної війни.

Курс розпочинається із уведення ідеї *доповненої реальності* (Augmented Reality – AR), яка полягає у комбінуванні комп'ютерно-генерованих моделей з об'єктами реального світу. Вибір JavaScript в якості мови програмування доповненої реальності визначає й вибір засобів розробки, найбільш доцільними з яких на сьогодні є:

- 1) A-Frame та AR.js – ці API, фактично, унікальні засоби швидкого прототипування, і значна частина програми з їх використанням – це HTML-подібний код, який використовує JavaScript на сервері. A-Frame використовується для створення сцен, об'єктів, анімації та інших 3D-елементів у веб-браузері. AR.js надає можливість відслідковувати маркер і надає можливість сцені, сконструйованій за допомогою A-Frame, відобразитися безпосередньо на маркері;
- 2) Three.js та ARToolKit – своєрідний кістяк, який використовує багато інших бібліотек мовою JavaScript. Three.js використовує WebGLRenderer, що надає можливість створення якісних 3D-сцен безпосередньо у браузері. На відміну від A-Frame, Three.js використовується в основному для створення веб-програм під управлінням Google Cardboard та вимагає явного використання JavaScript. Програмні засоби із доповненою реальністю, розроблені із використанням JavaScript та WebGL, можуть бути розміщені в Інтернет на одному із хмарних сервісів, таких як Heroku.

Для початку роботи за курсом необхідно мати лише AR-сумісний браузер,

такий як Firefox або Chrome, та найпростіший текстовий редактор (типу Notepad або Sublime). Базові знання HTML, CSS та JavaScript є обов'язковими (це визначено пререквізитами курсу). Досвід роботи з веб-API та GitHub стане студентам у нагоді, проте не є обов'язковими.

При розробці імерсивних ресурсів під AR будемо розуміти здатність пристрою, зокрема мобільного пристрою або веб-браузера, відстежувати зображення та/або відображати 3D-об'єкт поверх цього зображення.

2.2.2. Створення сцени у віртуальній реальності

A-Frame дуже схожий на HTML – усі команди описуються тегами, які подібні до тегів HTML, але, на відміну від останніх, інтерпретуються не у веб-браузері на боці клієнта, а є способом доступу до JavaScript, що виконується на боці сервера. Разом із AR.js він є потужним API для AR, що приховує деталі реалізації мовою JavaScript.

Для початку роботи з A-Frame необхідно перейти на сайт A-Frame та завантажити з нього файл збірки JavaScript (JS Build, Production Version) (рис. 2.1).

The screenshot shows the A-Frame website interface. On the left, there is a navigation menu with links for 'DOCS', 'BLOG', 'COMMUNITY', 'SHOWCASE', 'GITHUB', 'SLACK', 'SUBSCRIBE', and 'ASK A QUESTION'. Below the menu is a 'VERSION' dropdown set to '1.0.0'. The main content area is titled 'Include the JS Build' and contains the following text: 'To include A-Frame in an HTML file, we drop a `<script>` tag pointing to the CDN build:'. Below this is a code block showing the HTML snippet:

```
<head>
  <script src="https://aframe.io/releases/1.0.3/aframe.min.js"></script>
</head>
```

 Further down, it says 'If we want to serve it ourselves, we can download the JS build:'. There are two buttons: 'Production Version 1.0.3' (labeled 'Minified') and 'Development Version 1.0.3' (labeled 'Uncompressed with Source Maps').

Рис. 2.1: Завантаження бібліотеки A-Frame.

Завантажений файл збірки необхідно зберегти у окремому каталозі (наприклад, `aframe`) всередині робочого каталогу, після чого створити в останньому індексний файл `HTML ARindex.html` із наступним вмістом:

```
<!DOCTYPE html>
<html>
  <script src="aframe/aframe.min.js"></script>
  <a-scene>
    <a-sky color="grey"></a-sky>
  </a-scene>
</html>
```

Файл містить команду `script` із посиланням на завантажений файл – вона завжди використовується для початку роботи з бібліотекою JavaScript. Саме у ньому інтерпретується тег `a-scene`, в якому знаходиться більша частина коду A-Frame. Тег `a-sky` створюватиме фоновий колір (його також можна застосувати для розміщення 360° зображення на сцені). Після відкриття файлу `ARindex.html` у веб-браузері отримаємо вікно із сірим фоном. Про те, що A-Frame API дійсно працює, свідчить режим VR (Virtual Reality) у нижньому правому куті вікна. Суттєво більше відомостей можна отримати, увімкнувши режим візуального 3D-інспектора (комбінація клавіш `Ctrl-Alt-I`, рис. 2.2).

Додавши до індексного файлу команду

```
<a-torus position="-2 1 -5" color="green" radius="1.2"></a-torus>
```

отримаємо зображення зеленого тору на сірому тлі.

У новостворених об'єктів є певні атрибути – ознайомитись із ними пропонуємо у документації до A-Frame через зміни, що відбуваються у процесі вдосконалення цієї бібліотеки. Так, у 2020 році версія 1.0.4 підтримувала наступні

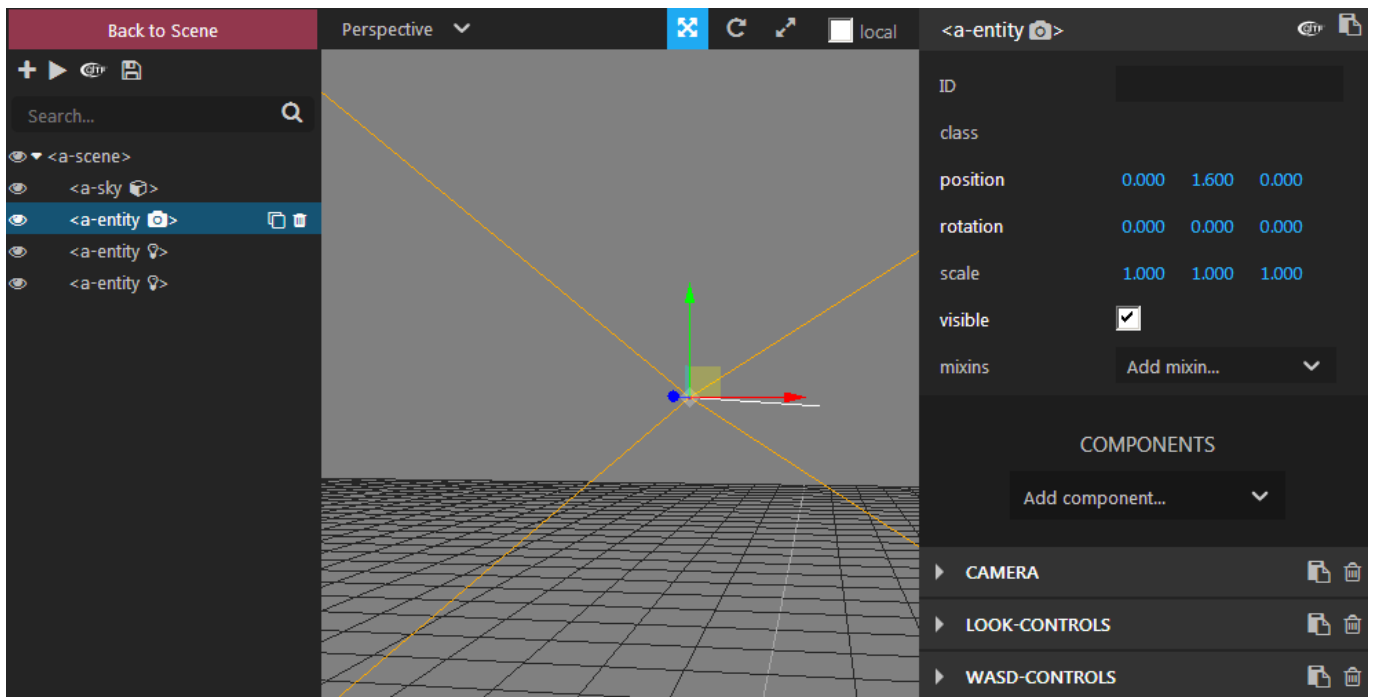


Рис. 2.2: Візуальний 3D-інспектор A-Frame.

примітиви:

- a-box – прямокутний паралелепіпед;
- a-camera – камера (визначає, що бачить користувач);
- a-circle – круг;
- a-collada-model – 3D-модель у форматі COLLADA (.dae);
- a-cone – конус;
- a-cursor – опрацювання подій від миши;
- a-curvedimage – панорамне зображення;
- a-cylinder – циліндричні поверхні;
- a-dodecahedron – дванадцятигранник;
- a-gltf-model – 3D-модель у форматі glTF (.gltf);
- a-icosahedron – двадцятигранник;
- a-image – пласке зображення;
- a-light – джерела світла;

- a-link – гіперпосилання;
- a-obj-model – 3D-модель у форматі Wavefront (.obj/.mtl);
- a-octahedron – восьмигранник;
- a-plane – площина;
- a-ring – пласке кільце або диск;
- a-sky – додає фоновий колір або 360° зображення;
- a-sound – джерело звуку;
- a-sphere – сфера або багатогранник;
- a-tetrahedron – трикутна піраміда;
- a-text – плаский текст;
- a-torus-knot – тороподібна фігура;
- a-torus – тор;
- a-triangle – трикутна поверхня;
- a-video – відео як текстура на площині;
- a-videosphere – 360° фонове відео.

Використання інспектора та документації до A-Frame спонукає студентів до подальшого дослідження її можливостей. Додамо до попередньої сцени, що містить зелений тор та сірий фон, ще кілька примітивів. Спочатку вставимо між тором та фоном площину:

```
<a-plane width="7" height="7" rotation="50 0 0"
position="3 -2 -3" color="purple"></a-plane>
```

Для перегляду параметрів a-plane пропонуємо скористатись документацією, де можна знайти різні атрибути площини, які можна застосувати до неї в тегу A-Frame. Параметри width та height відповідають за ширину та висоту прямокутника, rotation вказує на необхідність її повороту на 50° відносно вісі x та на 0°

відносно y та z , `position` – координати початку площини за відповідними осями, а `color` – обраний колір.

Площину, налаштовану у такий спосіб, на сцені можна побачити лише в режимі інспектора, тому що вона розміщена поза полем зору камери (знизу). Якщо змінити координати початку площини на `"-2 -2 -5"`, її можна побачити (рис. 2.3).

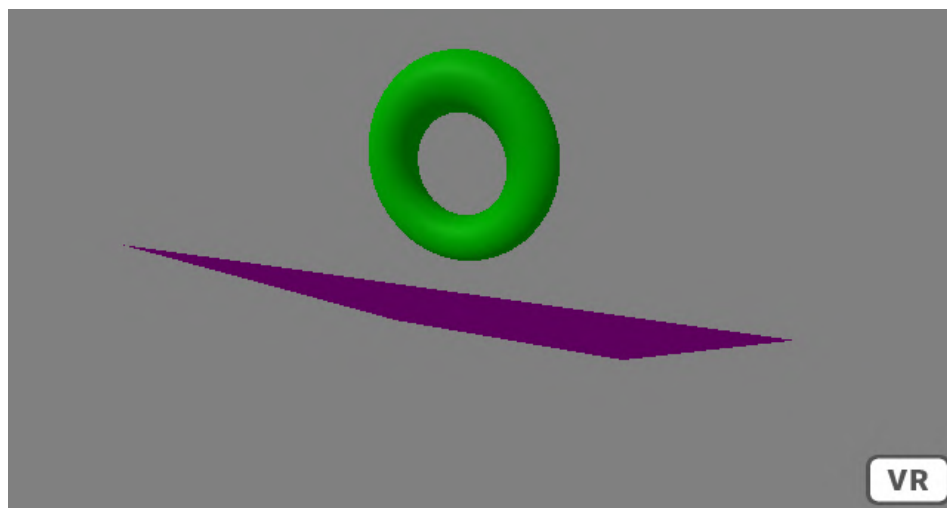


Рис. 2.3: Налаштування площини.

У такий спосіб студенти доходять висновку про те, що, якщо у певній позиції об'єкт не відображається, це може бути проблемою із позиціонуванням самого об'єкту всередині програмного коду.

Далі пропонуємо додати ще кілька об'єктів. Створимо циліндричний об'єкт у формі льодяника жовтого кольору, розташованого під самим тором:

```
<a-cylinder color="yellow" height="2" radius="0.05"
position="-2 -1 -5"></a-cylinder>
```

Далі додамо ще один циліндр:

```
<a-cylinder color="blue" height="2" radius="0.05"
position="-3 -1 -5"></a-cylinder>
```

та тороподібну фігуру (рис. 2.4):

```
<a-torus-knot color="orange" radius="1.2" position="-3 1 -5"></a-torus-knot>
```

Додавання тороподібної фігури є ще одним засобом зацікавлення студентів у вивченні документації з метою налаштування її параметрів.

Виконаємо невеликі зміни в атрибуті обертання площини – зміна кута огляду на "-55 0 0" надає їй суттєво кращого вигляду (рис. 2.4).

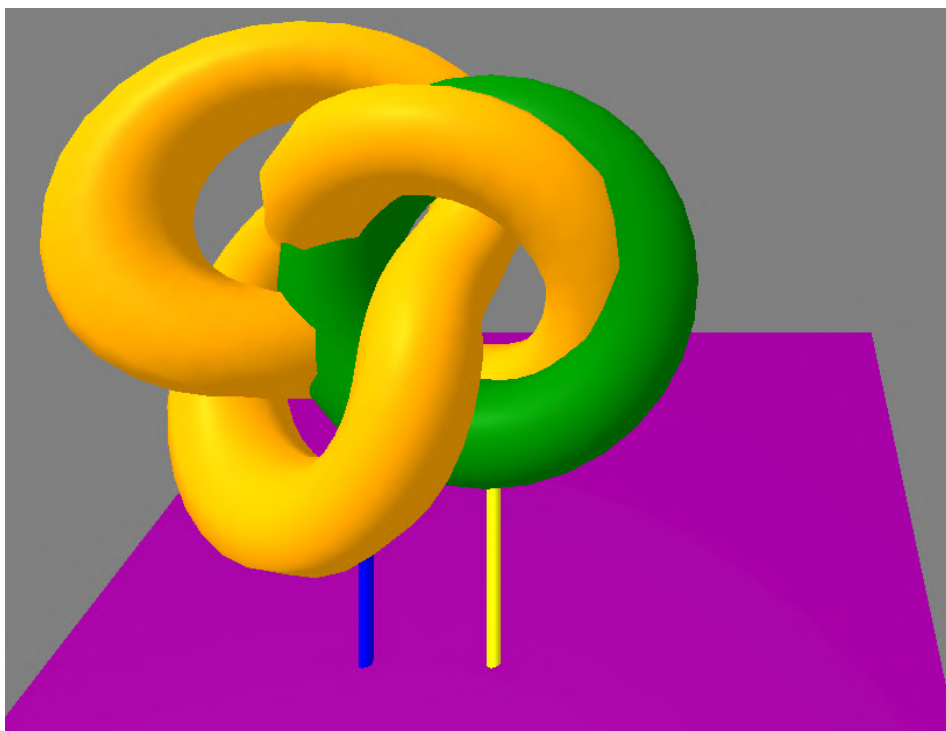


Рис. 2.4: Сцена у віртуальній реальності із 4 об'єктами.

Додамо до сцени площину, перпендикулярну попередній:

```
<a-plane width="9" height="2" position="3 1 -9"></a-plane>
```

Перевірити перпендикулярність площин пропонуємо через обчислення скалярного добутку їх векторів. За замовчанням колір нової площини буде білим – достатньо зручний для того, щоб перед ним розмістити напис (рис. 2.5):

```
<a-text value="Welcome to browser's VR" color="black"
width="10" position="-0.5 1 -6"></a-text>
```

Найчастіше студенти самі намагаються замінити запропонований напис на відповідний українською, проте “лобова” спроба виявиться невдалою без використання відповідного шрифту. Створення власного шрифту можливе за допомо-

гою MSDF font generator (<https://msdf-bmfont.donmccurdy.com/>, рис. 2.6).

Архів, завантажуваний зі сторінки генератора, містить шрифт у форматах JSON та PNG – для вхідного шрифту arial.ttf це будуть файли arial-msdf.json та arial.png відповідно: пропонуємо розташувати їх у тому ж самому місці, де знаходиться основний файл ARindex.html.

Чим більше символів обирається, тим більше має бути розмір PNG-файлу (до 1024x1024 пікселів). Для економії трафіку до цих файлів включені лише ті символи, які були обрані користувачем – усі інші не відображатимуться.

Внесемо зміни до параметру value та додамо параметри font і negate – якщо останній матиме істинне значення, обраний колір стане фоновим для кожної з літер:

```
<a-text value="Вітаємо у браузерній VR!" color="black"
width="10" position="-0.5 1 -6"
font="arial-msdf.json" negate="false"></a-text>
```

При спробі перевірити новий текст не відображається – згідно повідомлень із консолі браузера (рис. 2.7), локальне завантаження (за протоколом file://) шри-

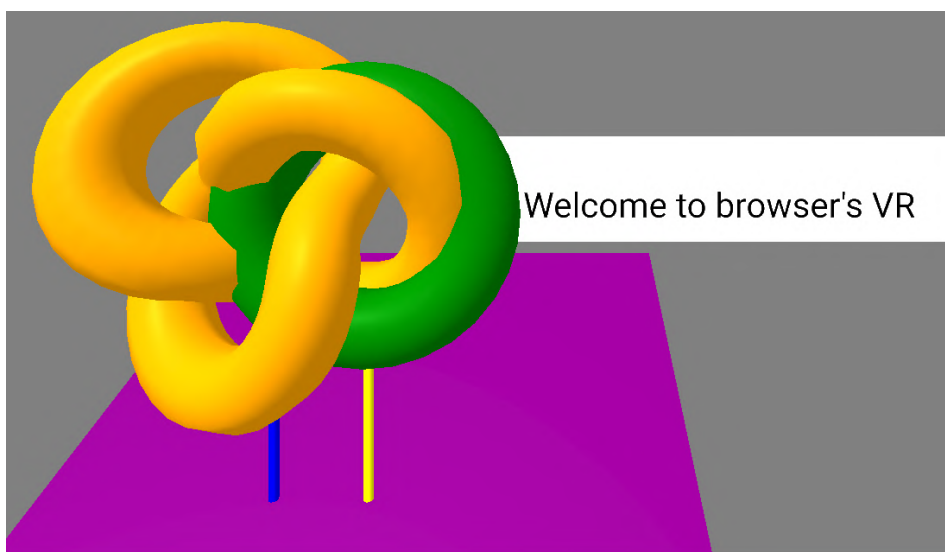


Рис. 2.5: Розміщення напису на площині.

MSDF font generator

[SOURCE](#) [ISSUES](#)

1. Select font

Default font is Microsoft YaHei, which supports several languages. Optionally, upload another (ttf) font:

Upload a font: arial.ttf

2. Select character set

qwertyuiopasdfghjklzxcvbnmQWERTYUIOPASDFGHJKLZXCVBNMЙцукенгшщзхїфівапроджеячсмїтьбю`1234567890-~\!;:./<>?*
[]~!@#\$\$%^&'()

3. Create MSDF font

arial

256px (default)

The generated file will be named `arial-msdf.json`.

4. Preview and download files

Preview shows only first five characters of charset

Рис. 2.6: Створення власного шрифту за допомогою MSDF font generator.

фту (так само, як і багатьох інших ресурсів) не дозволено. Для того, щоб виправити цю помилку, необхідно файли шрифту розмістити на сервері з доступом за протоколом HTTP або HTTPS. Де та як це зробити, залежить від вибору користувача – студенти можуть звернутись до викладача для того, щоб отримати доступ до зовнішнього серверу, або налаштувати власний.

З цією метою ми випробовували різні способи: у 2019 році це було застосування Glitch для розміщення окремих веб-сторінок, у 2020 році студенти отримували доступ за протоколом FTP до власного розділу на веб-сервері <https://playground>.

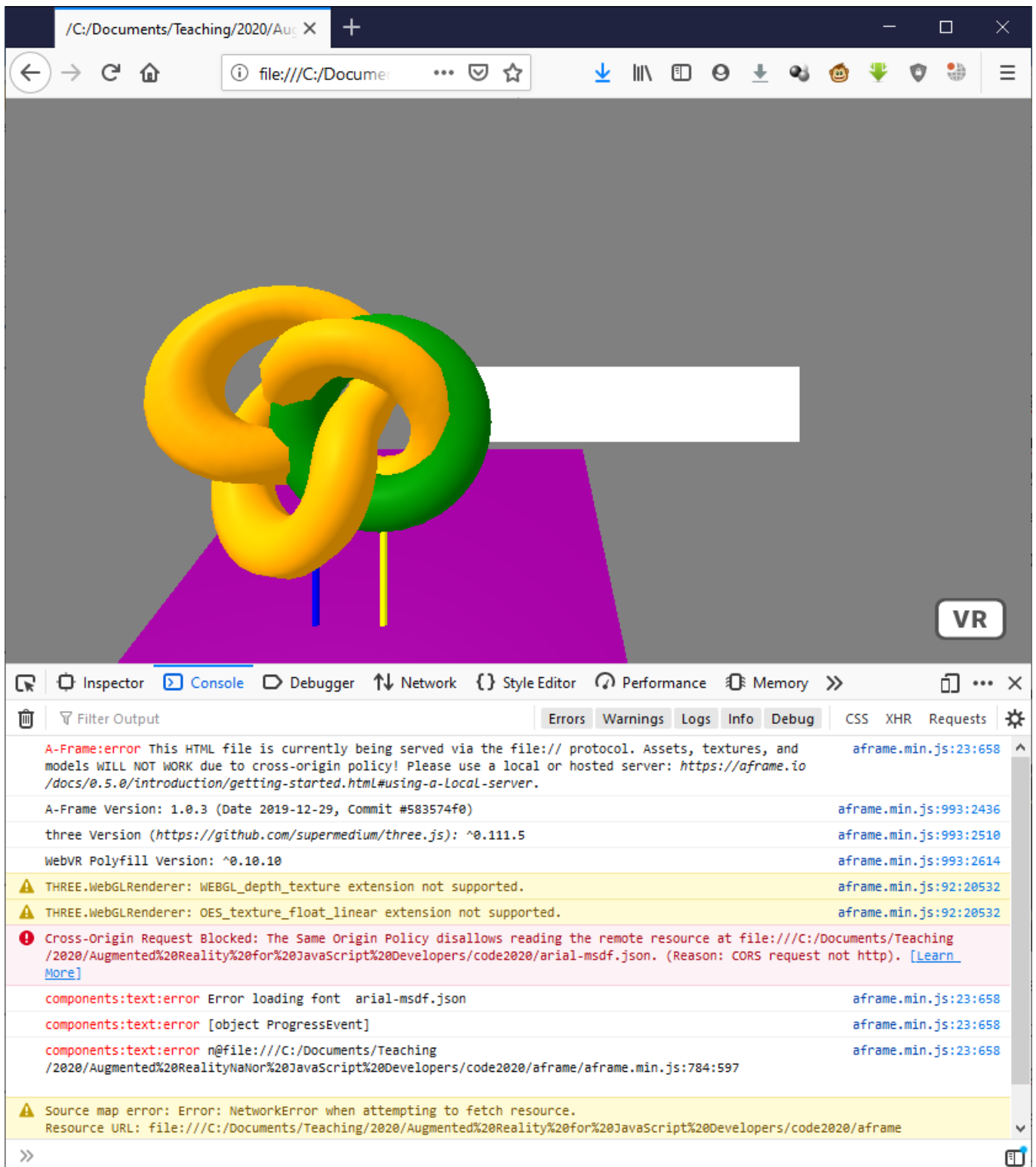


Рис. 2.7: Повідомлення про помилку при спробі використання власного шрифта. ccjournals.eu, а у 2021 – на <https://playground2.ccjournals.eu>. Перший спосіб не надавав можливості створити повноцінний сайт, а другий та третій ставив у залежність від працездатності веб-серверу викладача. Тому, починаючи з 2022 року,

основним засобом розгортання створюваних студентами веб-додатків є GitHub Pages (<https://pages.github.com/>).

У файлі `index.html` на веб-сервері доцільно розмістити посилання на інші файли, створені користувачем. Для того, щоб розглянутий приклад став працездатним, необхідно завантажити на сервер як файл `ARindex.html`, так і файли шрифту `arial-msdf.json` та `arial.png`:

- `ARindex.html` – основний файл із веб-додатку;
- `arial-msdf.json` – файл із шрифтом у форматі JSON;
- `arial.png` – файл із шрифтом у форматі PNG.

Перевірка виконання `ARindex.html` на сервері показує, що результат вже суттєво кращий (рис. 2.8). Для завершення локалізації надпису необхідно масштабувати його до розміру площини, вказавши параметр `scale`, та додати до набору символів, для яких генерується шрифт, пропуск. Застосування символів, що не входять до набору ASCII, потребує додаткового вказання одного з найпоширеніших кодувань тексту – UTF-8 – після теги `<html>`:

```
<meta charset="utf-8">
```

Для того, щоб анімувати примітив, необхідно додати до нього параметр `animation`:

```
<a-torus position="-2 1 -5" color="green" radius="1.2"
animation="property: components.material.material.color; type: color; from: green;
to: red; loop: true; dur: 10000"></a-torus>
```

У даному прикладі основним в параметрі `animation` є `property` – та складова об'єкту, яка буде змінюватись (`components.material.material.color` – колір). `dur` визначає тривалість анімації в мілісекундах ($10000 \text{ мс} = 10 \text{ с}$), `from` задає початкове значення атрибуту, `to` – кінцеве, а `loop` визначає кількість повторень циклу зміни

(true відповідає нескінченному циклу).

Більш детально про параметр `animation` пропонуємо студентам прочитати у довідці з A-Frame Core API, після чого пояснити, що саме робить наведений на рис. 2.9 код.

Сайт <https://aframe.io> містить посилання на вихідні коди бібліотеки, розташовані на GitHub, де серед 20 репозиторіїв A-Frame розташований репозиторій під назвою `sample-assets`, де можна знайти приклади файлів зображень, моделей та аудіозаписів для використання у віртуальній та доповненій реальності. Для того, щоб скористатися ними, необхідно отримати пряме посилання на об'єкт

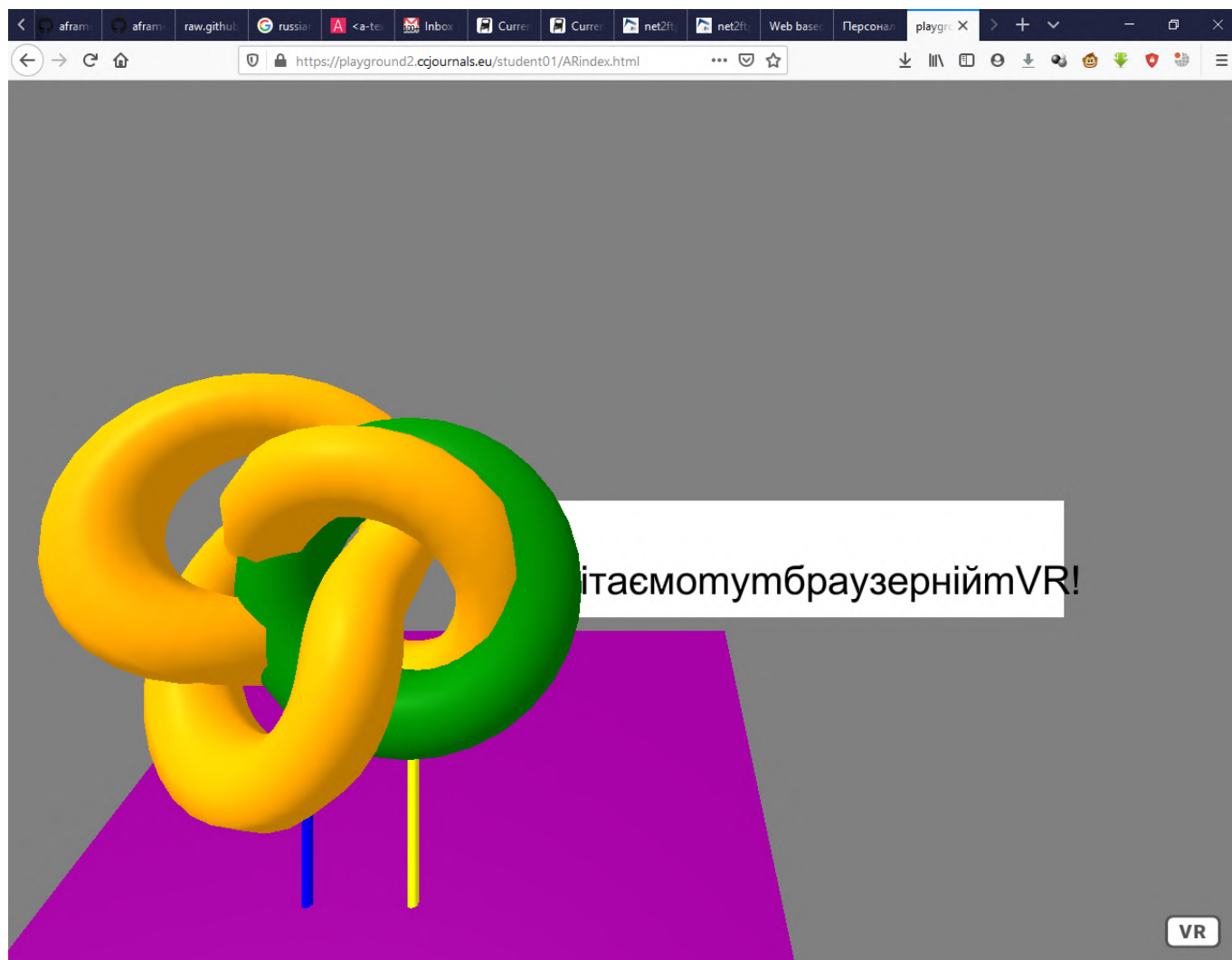


Рис. 2.8: Виконання веб-додатку із веб-серверу.

```
<a-torus-knot color="orange" radius="1.2" position="-3 1 -5"
  animation="property: rotation; to: 0 0 360; loop: true; dur: 10000">
</a-torus-knot>
```

Рис. 2.9: Приклад анімації примітиву A-Frame.

у цьому репозитарії та додати його як атрибут `src` до об'єкту, для якого обране зображення виступатиме текстурою. Наприклад, змінимо площину під торами (рис. 2.10):

```
<a-plane src="https://raw.githubusercontent.com/aframevr/sample-assets/master/
assets/images/illustration/758px-Canestra_di_frutta_(Caravaggio).jpg"
width="7" height="7" rotation="-55 0 0" position="-2 -2 -5" color="purple">
</a-plane>
```

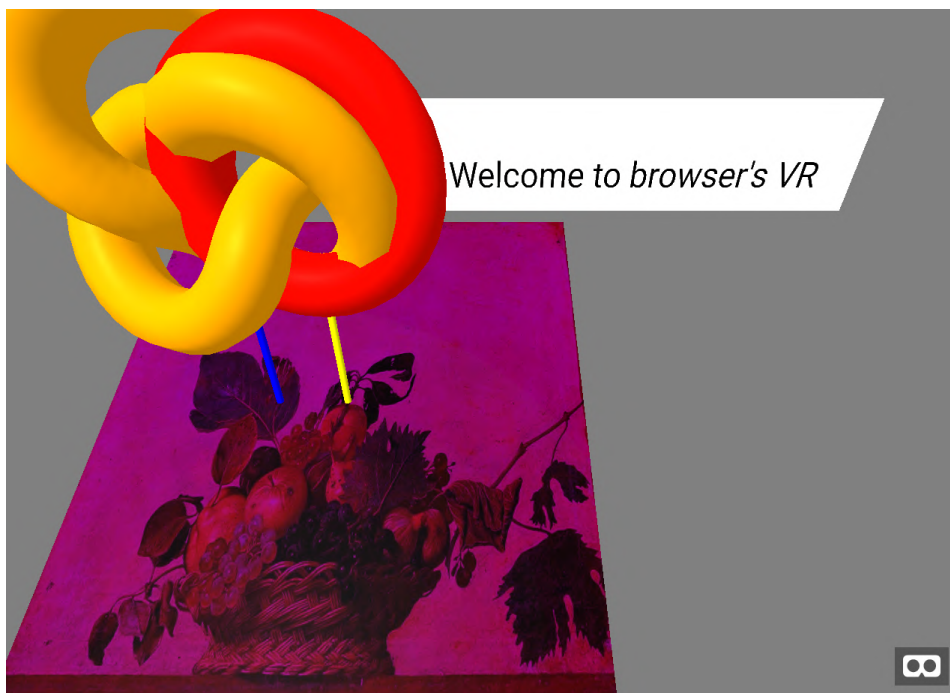


Рис. 2.10: Завантаження та застосування текстури.

Посилання на файл текстури може бути узяті із будь-якого місця, але не завжди сайти дозволяють використовувати прямі посилання на файли сайту поза його межами. “Політика того ж походження” (same origin policy) є важливим механізмом безпеки у сучасних веб-браузерах, що стосується як виконуваних у

браузері файлах, так й використовуваних.

2.2.3. Перенесення сцени у доповнену реальність

Випробування побудованої сцени на мобільному пристрої відкриває можливості для переходу до режиму віртуальної та доповненої реальності за кнопками VR та AR відповідно, проте не завжди така можливість наявна: так, під час першої хвилі пандемії (весна 2020 року) було виявлено, що лише чверть студентів мали мобільні телефони з підтримкою WebXR, здатні відобразити побудовану сцену у режимі доповненої реальності. Для подолання цієї проблеми й було застосовано бібліотеку AR.js.

Для початку її використання студентам необхідно перейти до сховища AR.js у GitHub за посиланням <https://github.com/jeromeetienne/AR.js> (з 2021 року – <https://github.com/AR-js-org/AR.js>) і завантажити ZIP-файл, натиснувши “Code” / “Download ZIP”.

Завантажений архів доцільно розпакувати у каталог, де зберігаються індексний файл та каталог aframe. Структура каталогів репозитарію досить розгалужена, але прозора. Так, у AR.js-master\data\images\можна знайти файл HIRO.jpg (рис. 2.11) – дане зображення буде маркером, необхідним для того, щоб при наведенні на нього веб-камери відображалась сцена.

Для початку використання AR.js необхідно внести кілька змін до вихідного індексного файлу ARindex.html. По-перше, після тегу script для підключення стандартної версії бібліотеки A-Frame додається ще один тег для роботи із AR.js та захоплення даних із веб-камери:

```
<script src="AR.js-master/aframe/build/aframe-ar.js"></script>
```

Для того, щоб побудовані об’єкти краще відображались на маркері, змінимо деякі їх атрибути:



Рис. 2.11: Маркер Hiro.

- Полозицію тора встановимо у $(0, 0.5, 0)$, а радіус – у 0.5 .
- Ширину та висоту площини зменшимо до 3.5 , а позицію встановимо у $(0, -1, 0)$.
- Полозицію першого циліндра змінємо на $(0, 0, 0)$, а другого – на $(1, 0, 0)$.
- Для кренделеподібної фігури радіус встановимо у 0.5 , а позицію – у $(1, 0.5, 0)$.
- До площини, на яку накладатиметься текст, застосуємо текстуру за посиланням https://raw.githubusercontent.com/aframevr/sample-assets/master/assets/images/uvgrid/UV_Grid_Sm.jpg та встановимо її ширину у 2.5 , висоту – у 1.5 , а позицію – у $(0, 1, -1)$.
- Ширину тексту встановимо у 3 , а позицію – у $(-1, 0.5, -1)$.

Створена сцена була побудована для використання у веб-VR. Для використання об'єктів на ній у доповненій реальності спочатку позбавимось сірого фону, доданого тегом `a-sky`, шляхом його видалення. Далі необхідно вбудувати у сцену `AR.js` шляхом додавання атрибутів `embedded` (застосовувати вбудований розпізнавач маркерів) та `arjs="trackingMethod: best;"` (використовувати найкращий метод відстеження):

```
<a-scene embedded arjs="trackingMethod: best;">
```

Крім того, доведеться використати тег `a-anchor` для того, щоб виконати прив'язку до маркера доповненої реальності:

```
<a-anchor hit-testing-enabled="true">
```

Всі об'єкти, розміщені на сцені, слід розмістити між тегами `<a-anchor>` та `</a-anchor>`. Останній крок – додавання статичної камери:

```
<a-camera-static/>
```

На відміну від попередніх, цей тег не є парним, що, за стандартом XHTML, потребує додавання слешу наприкінці тегу.

Після відкриття індексного файлу у веб-браузері, за наявності веб-камери, необхідно надати дозвіл на доступ до неї (рис. 2.12).

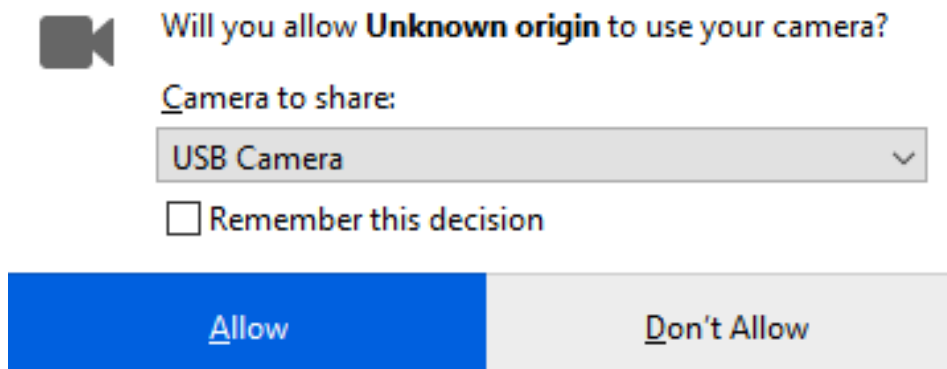


Рис. 2.12: Надання дозволу на доступ до камери.

Об'єкти на сцені з'являться, коли камера буде спрямована на маркер (рис. 2.13) – його можна відкрити на будь-якому мобільному пристрої або роздрукувати.

До параметру `arjs` можуть бути передані наступні значення:

- `trackingMethod` – спосіб відстежування маркерів (за замовчанням "best");
- `debugUIEnabled` – показувати додаткові відомості для налагодження (за замовчанням true);
- `debug` – вмикає налагоджувальний режим (рис. 2.14; за замовчанням false);

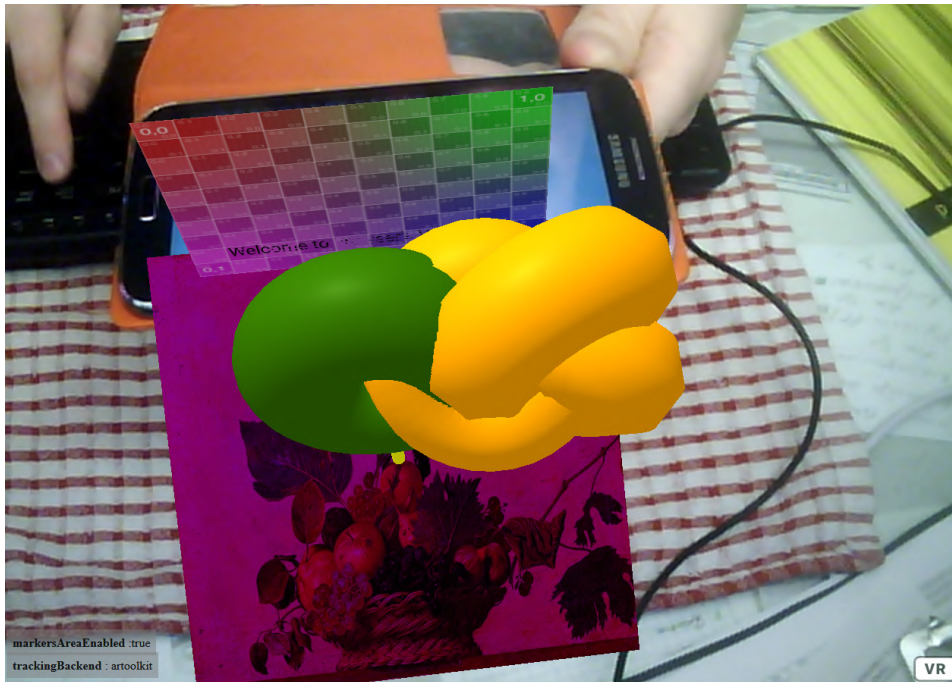


Рис. 2.13: Візуалізація сцени у доповненій реальності.

- `detectionMode` – тип маркеру (можливі `'color'`, `'color_and_matrix'`, `'mono'`, `'mono_and_matrix'`);
- `matrixCodeType` – тип матричного коду для `detectionMode` `'color_and_matrix'` та `'mono_and_matrix'` (можливі `3x3`, `3x3_HAMMING63`, `3x3_PARITY65`, `4x4`, `4x4_VCH_13_9_3`, `4x4_VCH_13_5_5`);
- `patternRatio` – співвідношення сторін для користувацьких маркерів (за замовчанням не використовується: -1);
- `cameraParametersUrl` – посилання на параметри камери (наприклад, `"AR.js-master\data\data\camera_para.dat"`);
- `maxDetectionRate` визначає максимальну частоту, з якою бібліотека намагається знайти маркер на зображенні з камери (за замовчанням 1);
- `sourceType` визначає джерело зображення і може приймати значення `'webcam'`, `'image'`, `'video'`;
- `sourceUrl` вказує посилання на джерело, якщо `sourceType` – `'image'` або `'video'`;

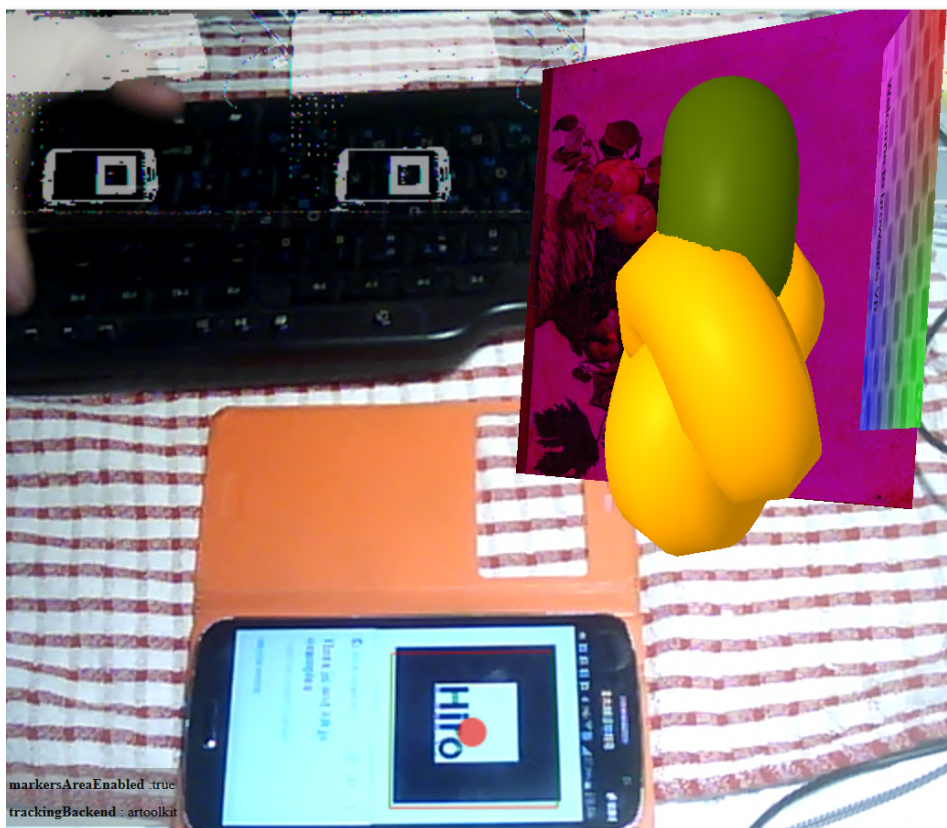


Рис. 2.14: Демонстрація сцени у налагоджувальному режимі із застосуванням мобільного пристрою.

- `sourceWidth` та `sourceHeight` задають роздільну здатність вихідного зображення, наприклад, 640x480, а `displayWidth` та `displayHeight` – відповідно відображуваного зображення;
- `deviceId` – опціональний ідентифікатор камери.

Більшість із цих значень використовує найстаріша бібліотека для доповненої реальності – ARToolKit, явне використання якої може бути задано параметром `artoolkit` примітиву `a-scene`.

Використовуючи тег `script` із атрибутом `src`, бібліотеки (і взагалі будь-який текст мовою JavaScript) можна включати як з локального розташування, так і з віддаленого. Наприклад, замість завантаження бібліотек A-Frame та AR.js можна було б посилатися на їх розташування в мережі Інтернет.

Якщо тег `a-anchor` виконує загальну прив'язку групи об'єктів, що він охо-

плює, до маркера, то у даному прикладі явно вказано, який маркер буде використовуватись, за допомогою тегу `a-marker`. У такий спосіб різним маркерам можна співставити різні групи об'єктів.

Приклад на рис. 2.15, 2.16 використовує два стандартні маркери – “hiro” та “kanji”. Крім того, одинарний тег `<a-camera-static/>` замінено на об'єкт `camera` за допомогою пари тегів `<a-entity camera></a-entity>`. Зауважимо, що, хоча у цьому прикладі різниця несуттєва, дана заміна не є однозначною. Головна її мета – показати студентам, що JavaScript є об'єктно-орієнтованою мовою. Будь-який приклад, з якого розпочинається використання цієї мови, яскраво це ілюструє:

```
<!DOCTYPE html>
<html>
  <body>
    <script type="text/javascript">
      document.write("<font size=7>Hello World!</font>");
    </script>
  </body>
</html>
```

```
<!doctype HTML>
<html>
<script src="https://aframe.io/releases/1.0.4/aframe.min.js"></script>
<script src="https://raw.githubusercontent.com/jeromeetienne/AR.js/2.1.8/aframe/build/aframe-ar.js"></script>
  <body style='margin : 0px; overflow: hidden;'>
    <a-scene embedded arjs="debugUIEnabled:false">
      <a-marker preset="hiro">
        <a-box position='0 0.5 0' material='color: red;'></a-box>
      </a-marker>
      <a-marker preset="kanji">
        <a-box position='0 0.5 0' material='color: blue;'></a-box>
      </a-marker>
      <a-entity camera></a-entity>
    </a-scene>
  </body>
</html>
```

Рис. 2.15: Співставлення груп об'єктів різним маркерам.

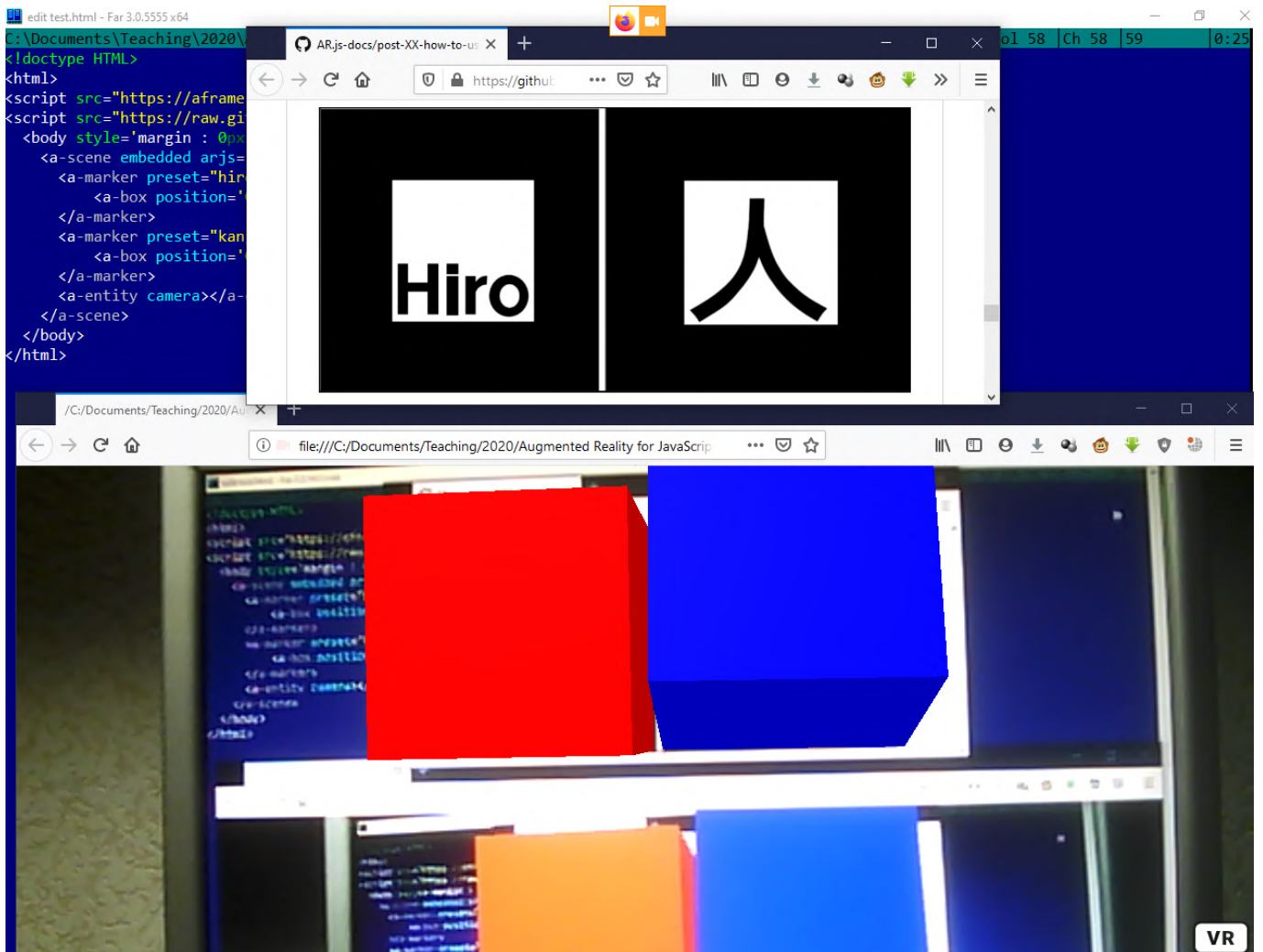


Рис. 2.16: Одночасне застосування двох маркерів.

Тег `script` доповнений атрибутом `type`, у якому конкретизовано мову. Програма складається з одного-єдиного рядка, в якому з об'єкту `document` викликається метод `write`, параметром якого є рядок, що з'являється у вікні браузера.

2.2.4. Застосування шаблонів проектування для розробки моделей

A-Frame використовує ECS (Entity – Component – System) – шаблон проектування комп'ютерних ігор, основними поняттями якого є Entity (сутність), Component (компонент) та System (система). *Сутність* – це контейнер для компонентів. Сутності є основою всіх об'єктів на сцені, але без компонентів сутності нічого не роблять і не надають. *Компонент* – це невеликий об'єкт, який реалізує

певну структуру даних та відповідає за окрему частину логіки роботи програми. Кожен тип компонента можна прикріпити до сутності, щоб надати їй певної властивості. *Системи* управляють набором сутностей, об'єднаних деякими компонентами. Вони не є обов'язковими.

У A-Frame цей шаблон проектування реалізований за допомогою атрибутів. Як сутності використовуються будь-які примітиви A-Frame – a-scene, a-box, a-sphere та ін. Але особливе місце займає a-entity, ім'я говорить саме за себе. Всі інші примітиви є обгортками для компонентів і зроблені для зручності, тому що будь-який елемент можна створити і за допомогою a-entity. Наприклад, примітив a-box можна реалізувати у такий спосіб:

```
<a-entity geometry="primitive: box; width: 1; height: 1; depth: 1"></a-entity>
```

У даному випадку geometry є компонентом, який був доданий до сутності <a-entity>. Сам по собі <a-entity> не містить будь-якої керованої логіки, а компонент geometry по суті перетворює його на куб або що-небудь інше. Іншим, не менш важливим, ніж geometry, компонентом є material. Він додає до геометрії матеріал, який відповідає за те, чи буде куб мати металевий блиск або текстури та ін.

Будь-який компонент у A-Frame повинен бути зареєстрований глобально через спеціальну конструкцію:

```
AFRAME.registerComponent('hello-world', {
  init: function () {
    console.log('Hello, World!');
  }
});
```

Створений компонент можна додати на сцену, як і будь-який інший еле-

мент:

```
<a-entity hello-world></a-entity>
```

Створення компоненту призводить до виклику методу `init`, що виводить повідомлення до консолі веб-браузера. У компоненті можуть бути визначені також методи:

- `update` – викликається при ініціалізації разом з `init` та при оновленні будь-якого властивості компонента;
- `remove` – викликається після видалення компонента або сутності, що його містить;
- `tick` – викликається перед відображенням чи оновленням (рендерингом) сцени;
- `tock` – викликається після рендерингу сцени;
- `play` – викликається при поновленні рендерингу сцени;
- `pause` – викликається при зупинці рендерингу сцени;
- `updateSchema` – викликається після оновлення схеми.

Схема описує властивості компонента та визначається у такий спосіб:

```
AFRAME.registerComponent('my-component', {
  schema: {
    arrayProperty: {type: 'array', default: []},
    integerProperty: {type: 'int', default: 5}
  }
})
```

У цьому випадку компонент `my-component` буде містити дві властивості – `arrayProperty` та `integerProperty`. Щоб передати їх до компонента, потрібно задати значення відповідного атрибута.

```
<a-entity my-component="arrayProperty: 1,2,3; integerProperty: 7"></a-entity>
```

Отримати ці властивості всередині компонента можна через властивість `data`. Властивість `data` компонента із сутності, до якої він доданий, можна одержати за допомогою `getAttribute`, а за допомогою `setAttribute` – встановити властивість у певне значення.

Системи у A-Frame задаються параметрами `a-scene` та реєструються через `AFRAME.registerSystem (name, definition)` – саме так бібліотекою AR.js зареєстрована система `arjs`. На відміну від компонентів, системи надають лише методи `init`, `play`, `pause`, `tick` та `tock`.

A-Frame активно використовує об'єктну модель веб-браузера:

- доступ до будь-якого об'єкту A-Frame може бути отримано використовуючи `document.querySelector`, `document.getElementById` тощо;
- різні компоненти можуть обмінюватись повідомленнями, для чого один з них повинен генерувати повідомлення за допомогою функції `emit` (приймає три параметри: назву події; дані, які треба передати; ознака спливання (`bubbling`) події), а інший – обробляти (“прослуховуючи” чергу події) за допомогою методу, визначеного у `addEventListener`;
- до об'єктів A-Frame можливе застосування методів `setAttribute` (надання атрибуту значення), `removeAttribute` (видалення атрибуту), `createElement` (створення елемента) та `removeChild` (видалення).

Постійно поповнюваний перелік нових компонентів A-Frame, розроблених користувачами та оформлених у пакети `npm`, доступний за посиланням <https://www.npmjs.com/search?q=iframe-component>

Для того, щоб застосувати компонент із списку, необхідно традиційно перейти до його репозитарію, завантажити та підключити відповідний файл. Інший

спосіб – скористатись сервісом unpkg, який надає можливість швидко завантажити будь-який файл з npm-паketу за посиланням вигляду

unpkg.com/:package@:version/:file

В якості прикладу скористаємось компонентом для побудови 3D-поверхонь:

```
<script src="https://unpkg.com/aframe-plot-component/dist/aframe-plot-component.min.js"> </script>
```

Для його використання замінимо блакитний куб, що пов'язаний із другим маркером, на поверхню (рис. 2.17):

```
<a-entity plot="function: ((3*x)^2 - (4*y)^2)/4; order: 32; show_zero_planes: true; bounds: -0.5 0.5 -0.5 0.5 -0.5 0.5; color: #04F"> </a-entity>
```

Надамо об'єктам A-Frame фізичного змісту, поставивши студентам задачу моделювання руху тіл в полі сил тяжіння. Для цього пропонуємо пригадати два основні закони руху:

- 1) під дією сили \vec{F} тіло масою m набуває прискорення \vec{a} ;
- 2) сила \vec{F} , з якою притягуються два тіла, прямо пропорційна добутку їх мас m_1 та m_2 і обернено пропорційна квадрату відстані r між ними.

У першому випадку традиційно використовується векторний запис, у другому – скалярний. Приведемо запис до єдиної форми, вважаючи, що тіла рухаються у тривимірному просторі.

Згідно рис. 2.18, прискорення \vec{a}_1 набуває тіло масою m_1 під дією сили \vec{F}_1 , яка є сумою сил \vec{F}_{12} , \vec{F}_{13} та \vec{F}_{14} . Кожна з них, у свою чергу, за законом всесвітнього тяжіння визначається формулою виду

$$F_{ij} = \frac{G \cdot m_i \cdot m_j}{r_{ij}^2},$$

де i, j – номери тіл.

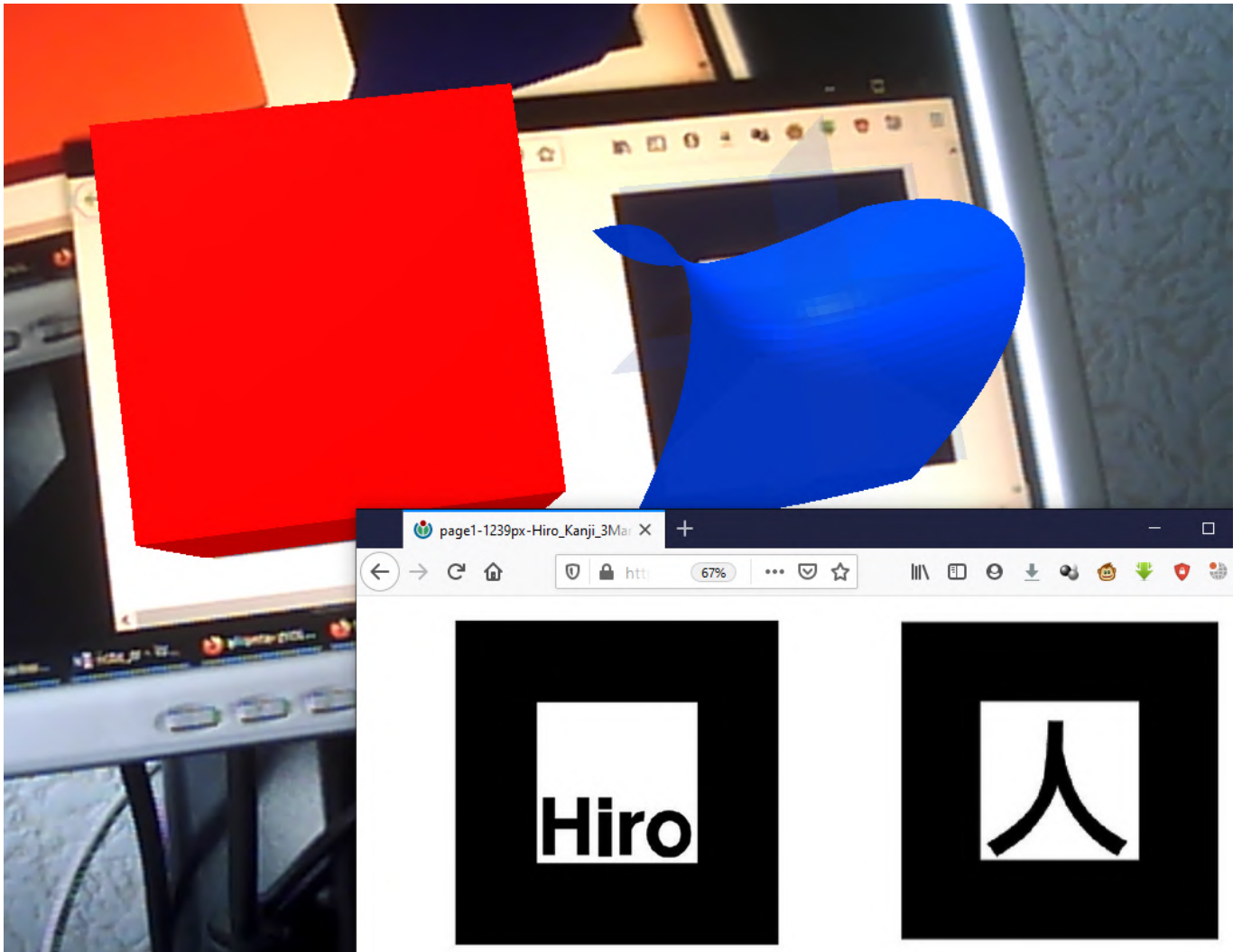


Рис. 2.17: Застосування компоненту для побудови 3D-поверхонь у доповненій реальності.

У загальному випадку сила \vec{F}_{ij} напрямлена від тіла масою m_i до тіла масою m_j уздовж вектору $\vec{r}_{ij} = \vec{r}_j - \vec{r}_i$, що з'єднує центри їх мас (\vec{r}_i – координатний радіус-вектор тіла i), тому попередню формулу краще переписати у такий спосіб:

$$\vec{F}_{ij} = \frac{G \cdot m_i \cdot m_j}{|\vec{r}_{ij}|^2} \cdot \frac{\vec{r}_{ij}}{|\vec{r}_{ij}|} = \frac{G \cdot m_i \cdot m_j}{|\vec{r}_{ij}|^3} \cdot \vec{r}_{ij}.$$

Тоді сила $\vec{F}_i = m_i \vec{a}_i$, що діє на тіло масою m_i з боку інших n тіл, може бути

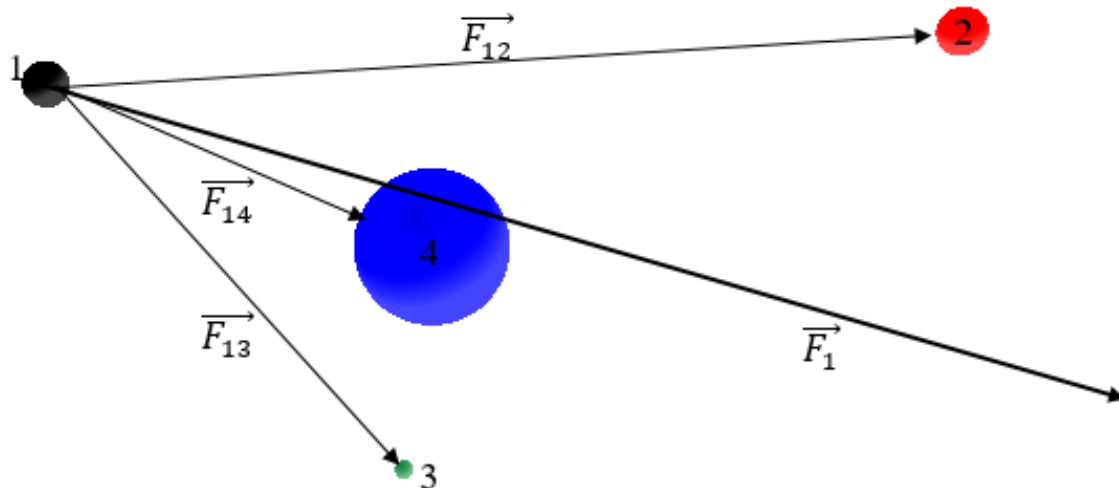


Рис. 2.18: Схематичне представлення сил.

записана як їх сума:

$$\vec{F}_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \vec{F}_{ij} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{Gm_i m_j}{|\vec{r}_{ij}|^3} \vec{r}_{ij} = Gm_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{m_j \vec{r}_{ij}}{|\vec{r}_{ij}|^3}$$

або

$$m_i \vec{a}_i = Gm_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{m_j \vec{r}_{ij}}{|\vec{r}_{ij}|^3},$$

звідки визначаємо прискорення \vec{a}_i , що набуває тіло i під дією інших:

$$\vec{a}_i = G \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{m_j \vec{r}_{ij}}{|\vec{r}_{ij}|^3}.$$

Ураховуючи, що $\vec{a}_i = \frac{d\vec{v}_i}{dt}$, а $\vec{v}_i = \frac{d\vec{r}_i}{dt}$, після переходу до скінченних різниць отримуємо наступну розрахункову схему:

- 1) визначити прискорення, яке набуває тіло i під дією інших тіл;
- 2) визначити зміну швидкості i -го тіла: $\Delta \vec{v}_i = \vec{a}_i \Delta t$;
- 3) визначити зміну координати i -го тіла: $\Delta \vec{r}_i = \vec{v}_i \Delta t$.

Її застосування потребує визначення початкових координат та швидкостей.

Для цього скористаємось припущенням про те, що усі тіла утворюють “парад планет”, розташовуючись на вісі x та рухаючись вздовж перпендикулярної до неї вісі y (рис. 2.19).



Рис. 2.19: Парад планет.

Тоді початкова швидкість всіх тіл, за винятком першого (центрального), може бути визначена як $v_y = \frac{2\pi R}{T}$, де R – середня відстань планети від Сонця, а T – період її обертання навколо Сонця.

Для зручності роботи спочатку доцільно налагодити модель у віртуальній реальності на невеликій кількості об’єктів, узявши планети земної групи, а після того, як вона стане працездатною, додати інші планети та перенести у доповнену реальність.

Після підключення бібліотеки A-Frame зареєструємо новий компонент – planet:

```
const day = 24.0*60*60; //тривалість земного дня у секундах
```

```
AFRAME.registerComponent('planet', {
```

```
  schema: {
```

```
    name: {type: 'string', default: ""}, //ім'я планети
```

```
    dist: {type: 'number', default: 0}, //середня відстань планети від Сонця
```

```
    mass: {type: 'number', default: 0}, //маса планети, кг
```

```

T: {type: 'int', default: 0}, //планетарний рік, земних днів
v: {type: 'array', default: [0,0,0]}, //вектор швидкості
a: {type: 'array', default: [0,0,0]}, //вектор прискорення
pos: {type: 'array', default: [0,0,0]} //координатний радіус-вектор
},

init: function () {
  this.data.T*=day; //переводимо із земних днів у секунди
  this.data.pos[0]=this.data.dist; //розташовуємо на вісі x
  //візуальну позицію виражаємо у мільйонах кілометрів
  this.el.setAttribute('position',this.data.dist/1e9+' 0 0');
  if(this.data.T!=0)//для всіх об'єктів, крім Сонця,
    //обчислюємо початкову швидкість вздовж вісі y
    this.data.v[1] = 2*Math.PI*this.data.dist/this.data.T;
}
});

```

Метод `init` забезпечує правильне відображення об'єкту на сцені та додатково обчислює початкову швидкість об'єкта відносно центрального тіла, оскільки Сонце у даній моделі також створюється компонентом `planet`. Для того, щоб відрізнити його від інших об'єктів, встановимо для нього значення параметру `T` у 0.

Новий компонент не визначає спосіб відображення об'єкта – для цього використовується відповідна сутність:

```

<a-scene>
  <a-sky color="black"></a-sky>

```

```

<a-camera position="0 0 300" cursor-visible="true" cursor-scale="2"
  cursor-color="#0095DD" cursor-opacity="0.5"></a-camera>
<a-entity geometry="primitive: sphere; radius: 20.510" material="color: yellow"
  planet="dist: 0; mass: 1.989e30; name: Sun"></a-entity>
<a-entity geometry="primitive: sphere; radius: 2.4397" material="color: #AA5588"
  planet="dist: 57.910e9; mass: 3.285e23; T: 88; name: Mercury"></a-entity>
<a-entity geometry="primitive: sphere; radius: 6.0518" material="color: white"
  planet="dist: 108.2e9; mass: 4.876e24; T: 224.7; name: Venus"></a-entity>
<a-entity geometry="primitive: sphere; radius: 6.371" material="color: cyan"
  planet="dist: 149.6e9; mass: 6e24; T: 365; name: Earth"></a-entity>
<a-entity main></a-entity>
</a-scene>

```

У створених сутностях можна легко змінити геометрію та матеріал об'єкту, і це не порушить реалізовану в компоненті логіку роботи. У цей момент слід звернути увагу студентів на розташування камери: вона відсунута по вісі z так, щоб можна було побачити орбіту поки що найвіддаленішої планети (подвоєна середня відстань Землі від Сонця) – при додаванні нових планет камеру доведеться відповідно відсувати далі.

За інтегрування рівнянь руху відповідатиме компонент main:

```

AFRAME.registerComponent('main', {
  init: function() {
    this.solar_system = document.querySelectorAll('[planet]');
  },

  tick: function (time, deltaTime) {

```

```

const dt = day/3; //крок інтегрування
const G=6.67e-11; //гравітаційна стала
for(var i = 0; i<this.solar_system.length; i++) {
  planet_i=this.solar_system[i].getAttribute('planet');
  planet_i.a[0]=planet_i.a[1]=planet_i.a[2]=0;
  for(var j = 0; j<this.solar_system.length; j++) {
    planet_j=this.solar_system[j].getAttribute('planet');
    if(i!=j) {
      deltapos = [0,0,0];
      for(var k = 0; k < 3; k++)
        deltapos[k]=planet_j.pos[k]-planet_i.pos[k];
      var r=Math.sqrt(Math.pow(deltapos[0],2)+
        Math.pow(deltapos[1],2)+Math.pow(deltapos[2],2));
      for(var k = 0; k < 3; k++)
        planet_i.a[k]+=G*planet_j.mass*deltapos[k]/Math.pow(r, 3);
    }
  }
}
for(var k = 0; k < 3; k++)
  planet_i.v[k]+=planet_i.a[k]*dt;
for(var k = 0; k < 3; k++)
  planet_i.pos[k]+=planet_i.v[k]*dt;
this.solar_system[i].setAttribute('position', (planet_i.pos[0]/1e9)+' '+
(planet_i.pos[1]/1e9)+' '++(planet_i.pos[2]/1e9));
}
}

```

});

Для того, щоб отримати всі визначені засобами A-Frame сутності з компонентом planet, у методі init компоненту main використовується метод document.querySelectorAll: отриманий масив об'єктів зберігається у змінній solar_system. Розмірність масиву solar_system визначає кількість об'єктів гравітаційної взаємодії n . Кожен об'єкт масиву solar_system містить велику кількість елементів – для полегшення доступу до необхідних властивостей створених компонентів викликом getAttribute створюються дві змінні – planet_i та planet_j: запис із ними буде коротшим, ніж звернення до елементів solar_system. Ці та інші повторювані дії розміщені у методі tick, що відповідає за опрацювання події від таймеру.

Перш ніж розпочати обчислення прискорення, відповідні координатам x , y та z елементи масиву $a[0]$, $a[1]$ та $a[2]$ встановлюються у 0 (більш короткий спосіб показаний при визначенні deltapos). deltapos відповідає вектору \vec{r}_{ij} (відповідно $\text{planet}_j.\text{pos} - \vec{r}_j$, а $\text{planet}_i.\text{pos} - \vec{r}_i$), а r – його модулю. Цикли за змінною k проходять координати всіх векторів.

Обчислені координати об'єкту pos є масивом компоненту planet, у той час як атрибут position – рядком із geometry, що вимагає відповідного перетворення.

Додавання до сцени (рис. 2.20) інших планет та компоненту arjs пропонуємо студентам як завдання для самостійної роботи – це дозволить актуалізувати набуті раніше навички масштабування сцени.

2.2.5. Застосування декількох маркерів для управління динамічними моделями

Тег <a-marker> має такі основні атрибути:

- type – тип маркеру: 'pattern', 'barcode', 'unknown';
- size – розмір маркеру в метрах;

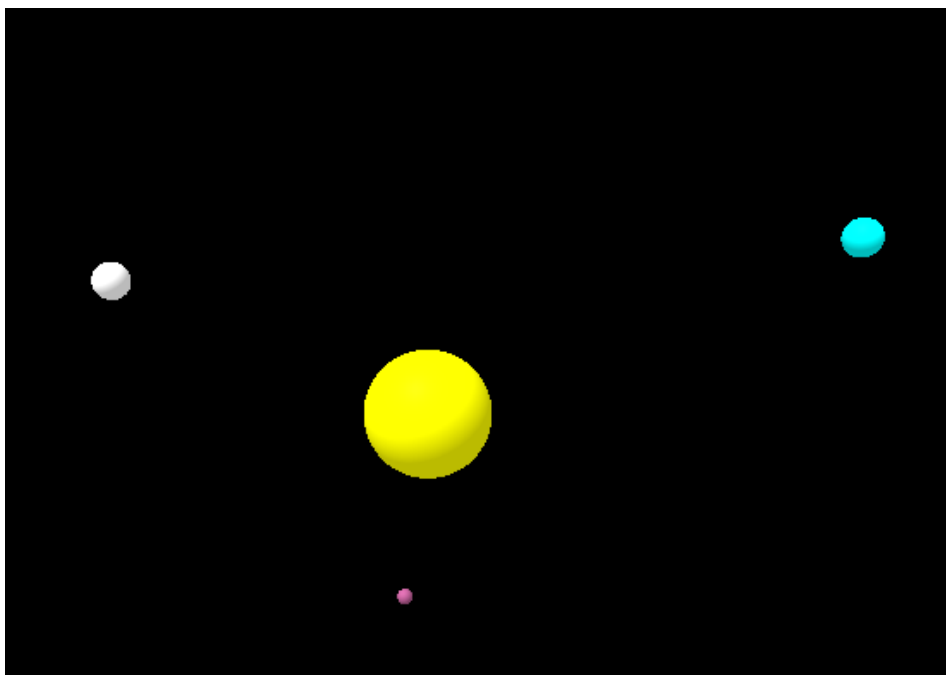


Рис. 2.20: Додавання планет до сцени.

- `url` – посилання на шаблон маркеру, якщо його тип – `'pattern'`;
- `value` – значення коду, якщо тип маркеру – `'barcode'`;
- `preset` – вибір стандартного маркеру (`'hiro'`, `'kanji'`);
- `emitevents` – генерування подій `'markerFound'` та `'markerLost'`, якщо встановлений у `'true'`;
- `smooth` – вмикає/вимикає згладжування зображення з камери (за замовчанням – `'false'`).

Тип `'barcode'` відповідає двовимірному (матричному) коду ARToolkit. У репозитарії поточного розробника AR.js Ніколо Капріньолі за посиланням <https://github.com/nicolocarpignoli/artoolkit-barcode-markers-collection> можна знайти зображення для всіх типів матричних кодів, що задаються атрибутом `matrixCodeType` параметру `arjs` примітиву `a-scene`. Чим простіше матричний код, тим легше його розпізнати, але й тим менше маркерів можна створити за його допомогою: `3x3_HAMMING63` підтримує 8 маркерів (відстань Хеммінга – 3), `3x3_PARITY65` – 32 (1), `4x4_BCH_13_5_5` – 32 (5), `4x4_BCH_13_9_3` – 512 (3), `5x5_BCH_22_7_7` –

128 (7), 5x5_VCH_22_12_5 – 4096 (5). Чим більше відстань Хеммінга, тим краще маркер розпізнаватиметься.

Для опрацювання подій можна використати виклик `addEventListener`. Наприклад, на рівні вікна веб-браузера можна визначити параметри підключеної камери під час її ініціалізації або подію припинення відеопотоку з камери:

```

window.addEventListener('camera-init', (data) => {
  console.log('camera-init', data);
})
window.addEventListener('camera-error', (error) => {
  console.log('camera-error', error);
})

```

Якщо необхідно опрацювати події, пов'язані із певною сутністю A-Frame, доцільно увести до неї новий компонент та зареєструвати його. Наприклад, компонент `registerevents`, доданий до маркера, допоможе розібратись, коли він потрапляє до поля зору камери (розпізнається), а коли – виходить з поля зору (“губиться”):

```

AFRAME.registerComponent('registerevents', {
  init: function () {
    var marker = this.el;
    marker.addEventListener('markerFound', function() {
      console.log('markerFound', marker.id); });
    marker.addEventListener('markerLost', function() {
      console.log('markerLost', marker.id); });
  }
});

```

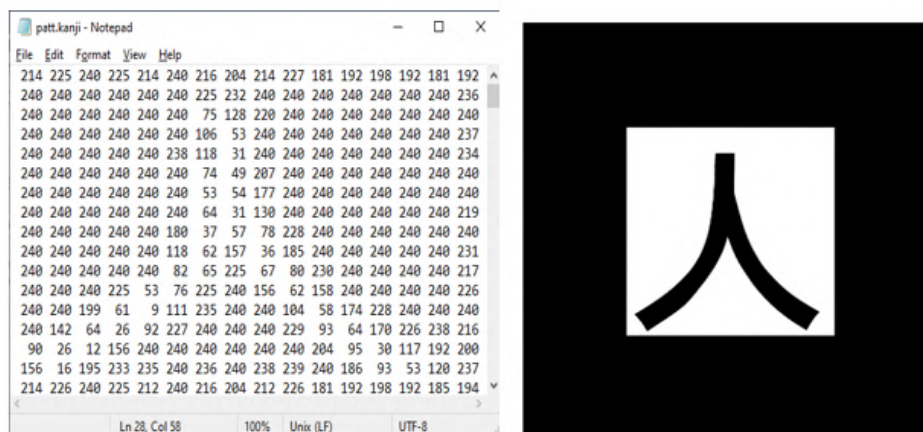



Рис. 2.21: Маркер 'kanji' та його кодування.

AR.js надає можливість використання усіх стандартних маркерів, що підтримує ARToolKit. Крім вже використаних 'hiro' та 'kanji', це 'letterA', 'letterB', 'letterC', 'letterD', 'letterF', 'letterG' та ряд інших. Частина маркеру, що детектується – чорний квадрат зі стороною 1, усередині якого розміщено зображення. Опис розміщується у текстовому файлі (як правило, його ім'я завершується на .patt) – саме він використовується при розпізнаванні, а не звичне зображення (рис. 2.21).

Усього файл шаблону маркера зберігає 12 його зображень у 4 орієнтаціях. Створення маркеру, що гарно розпізнається – непроста задача: яким би не був розмір зображення, для використання ARToolKit воно буде закодоване усього 256 елементами (16 рядків на 16 стовпців), тому надмірно деталізоване зображення буде неминуче спрощене.

Простий спосіб створити власний маркер – скористатись генератором маркерів AR.js (рис. 2.22).

Отриманий текстовий файл із описом маркеру можна завантажити разом із його зображенням та використати для розпізнавання:

```
<a-marker type='pattern' url='pattern-pi.patt'>
```

...

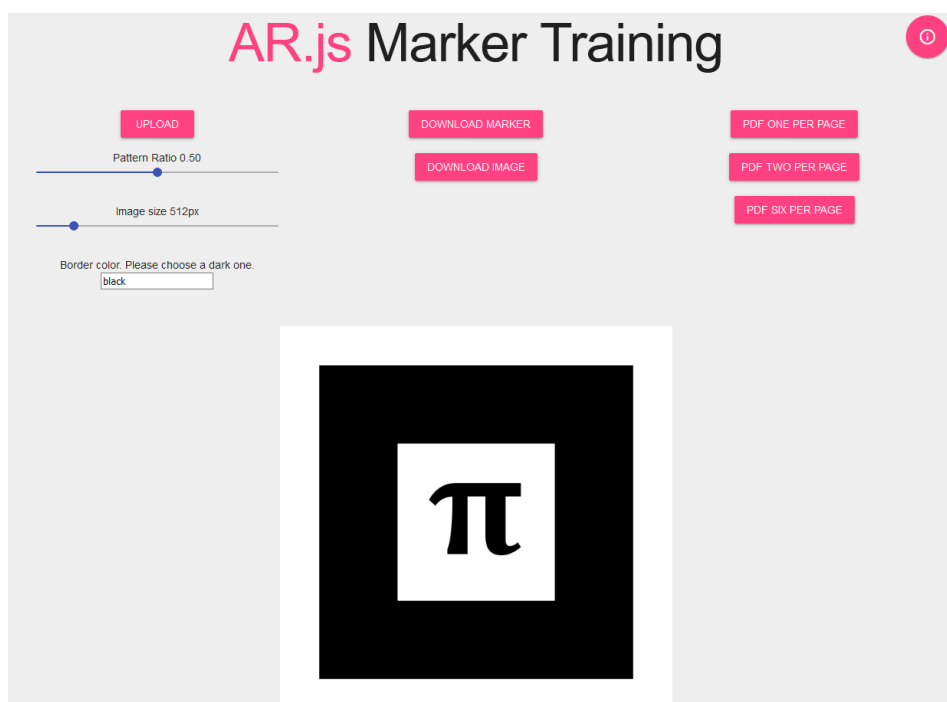


Рис. 2.22: Генератор маркерів AR.js.

</a-marker>

a-marker використовує статичну камеру, що розташована на початку координат та напрямлена у від'ємний бік вісі z. Видимість об'єктів, пов'язаних із маркером, встановлюється залежно від того, чи розпізнаний маркер камерою. Якщо один маркер використовується для того, щоб ініціювати певний процес, доцільно скористатись a-marker-camera. Після виходу маркеру з поля зору камери створені об'єкти прив'язуються до переміщення камери – саме за такого підходу модель Сонячної системи буде виглядати найкраще.

Для покращення розпізнавання доцільно використовувати асиметричні маркери, наприклад:

Д,Б!

Ще один спосіб покращити розпізнавання – використання друкованих маркерів достатнього розміру. Вирізаючи маркер, пропонуємо студентам залишати біле поле шириною принаймні в половину чорної рамки – контраст є сут-

тевим при розпізнаванні. Якщо й це не допомагає, можна збільшити роздільну здатність камери у компоненті `arjs` – за замовчанням вона 640x480. Наприклад, для FullHD камери можна вказати `arjs="sourceType: webcam; sourceWidth:1280; sourceHeight:960; displayWidth: 1280; displayHeight: 960;"`.

Розробники A-Frame рекомендують не використовувати “голий” JavaScript код, а замість цього прив’язувати його до компонентів для дотримання архітектури ECS, що було використано в моделі Сонячної системи. Проте при розробці нових компонентів не обов’язково використовувати виключно A-Frame. Розглянемо це на прикладі створення AR-програми, яка передбачає одночасне використання кількох маркерів для побудови трикутника.

Для цього ми розмістимо на сцені три сфери, які будуть прив’язані до маркерів з зображеннями літер А, В та С – ці шаблони входять до складу AR.js:

```
<a-scene embedded vr-mode-ui="enabled: false;"
  arjs="detectionMode: mono_and_matrix;">
  <a-marker type="pattern" url="https://raw.githubusercontent.com/AR-js-org/
  AR.js/master/data/multimarkers/multi-abcdef/patt.a" id="A" registerevents>
    <a-sphere radius="0.10" color="red"></a-sphere>
    <a-entity id="lineAB"></a-entity>
  </a-marker>
  <a-marker type="pattern" url="https://raw.githubusercontent.com/AR-js-org/
  AR.js/master/data/multimarkers/multi-abcdef/patt.b" id="B" registerevents>
    <a-sphere radius="0.10" color="red"></a-sphere>
    <a-entity id="lineBC"></a-entity>
  </a-marker>
  <a-marker type="pattern" url="https://raw.githubusercontent.com/AR-js-org/
```

```
AR.js/master/data/multimarkers/multi-abcdef/patt.c" id="C" registerevents>
  <a-sphere radius="0.10" color="red"></a-sphere>
  <a-entity id="lineAC"></a-entity>
</a-marker>
<a-entity camera></a-entity>
<a-entity run></a-entity>
</a-scene>
```

Кожна з цих сфер представляє точку – вершину трикутника і має ідентифікатори “А”, “В” та “С”. Крім сфери, до маркера прив’язані сутності без зовнішнього відображення, які резервують місце для циліндрів – сторін трикутника, які з’єднують сфери. Сутність з компонентом “run” відповідає за логіку роботи програми, а компонент “registerevents” містить обробники подій “знаходження” та “втрати” маркера.

```
let markerVisible = { A: false, B: false, C: false };
AFRAME.registerComponent('registerevents', {
  init: function () {
    let marker = this.el;
    marker.addEventListener('markerFound', function() {
      markerVisible[ marker.id ] = true;
    });
    marker.addEventListener('markerLost', function() {
      markerVisible[ marker.id ] = false;
    });
  }
});
```

Об'єкт JavaScript `markerVisible` використовується для зберігання відомостей про те, які маркери в даний момент детектовані. Компонент `run` складається з двох функцій: початкової `init` та періодичної `tick`.

```
AFRAME.registerComponent('run', {
  init: function() {
    this.A = document.querySelector("#A");
    this.B = document.querySelector("#B");
    this.C = document.querySelector("#C");
    this.p0 = new THREE.Vector3();
    this.p1 = new THREE.Vector3();
    this.p2 = new THREE.Vector3();
    let material = new THREE.MeshLambertMaterial( {color:0xFF0000} );
    let geometry=new THREE.CylinderGeometry( 0.05, 0.05, 1, 12);
    geometry.applyMatrix( new THREE.Matrix4().makeTranslation( 0, 0.5, 0 ) );
    geometry.applyMatrix( new THREE.Matrix4().makeRotationX(
      THREE.Math.degToRad( 90 ) ) );
    this.cylinderAB = new THREE.Mesh( geometry, material );
    this.lineAB = document.querySelector('#lineAB').object3D;
    this.lineAB.add( this.cylinderAB );
    this.cylinderAB.visible = false;
    this.cylinderBC = new THREE.Mesh( geometry, material );
    this.lineBC = document.querySelector('#lineBC').object3D;
    this.lineBC.add( this.cylinderBC );
    this.cylinderBC.visible = false;
    this.cylinderAC = new THREE.Mesh( geometry, material );
```

```

this.lineAC = document.querySelector('#lineAC').object3D;
this.lineAC.add( this.cylinderAC );
this.cylinderAC.visible = false;
},

```

```

tick: function (time, deltaTime) {
  if ( markerVisible["A"] && markerVisible["B"] ) {
    this.A.object3D.getWorldPosition(this.p0);
    this.B.object3D.getWorldPosition(this.p1);
    let distance = this.p0.distanceTo( this.p1 );
    this.lineAB.lookAt( this.p1 );
    this.cylinderAB.scale.set(1,1,distance);
    this.cylinderAB.visible = true;
  }
  if ( markerVisible["B"] && markerVisible["C"] ) {
    this.B.object3D.getWorldPosition(this.p1);
    this.C.object3D.getWorldPosition(this.p2);
    let distance = this.p1.distanceTo( this.p2 );
    this.lineBC.lookAt( this.p2 );
    this.cylinderBC.scale.set(1,1,distance);
    this.cylinderBC.visible = true;
  }
  if ( markerVisible["A"] && markerVisible["C"] ) {
    this.A.object3D.getWorldPosition(this.p0);
    this.C.object3D.getWorldPosition(this.p2);

```

```

let distance = this.p2.distanceTo( this.p0 );
this.lineAC.lookAt( this.p0 );
this.cylinderAC.scale.set(1,1,distance);
this.cylinderAC.visible = true;
}
if ( !markerVisible["A"] )
    this.cylinderAB.visible = this.cylinderAC.visible = false;
if ( !markerVisible["B"] )
    this.cylinderAB.visible = this.cylinderBC.visible = false;
if ( !markerVisible["C"] )
    this.cylinderAC.visible = this.cylinderBC.visible = false;
}
});

```

На початку функції `init` у компоненті зберігаються посилання на вершини трикутника – сфери `this.A`, `this.B` та `this.C` – і засобами бібліотеки `Three.js` створюються три точки – координатні вектори `p0`, `p1` та `p2`. Далі засобами тієї ж бібліотеки створюються циліндричні об’єкти, що прикріплюються до раніше створених сутностей `lineAB`, `lineBC` та `lineAC`.

Функція `tick` регулярно аналізує, чи є маркери ідентифіковані попарно та поодиноці. Для того, щоб побудувати трикутник, необхідно побудувати його сторони – відрізки. Відповідно, для побудови відрізка необхідні принаймні дві точки, що задають його початок та кінець: після визначення координат цих точок розраховується відстань між ними, далі циліндричний об’єкт спрямовується з початкової до кінцевої точки і подовжується до неї. Коли маркер точки “зникає”, пов’язані з нею відрізки приховуються встановленням атрибуту `visible` у `false`.

На рис. 2.23 подано результати роботи створеної програми на мобільному пристрої. Після тестування моделі пропонуємо студентам внести до неї наступні зміни: а) обчислити периметр і площу трикутника з візуалізацією у доповненій реальності; б) змінити колір сторін, прилеглих до того кута, який є прямим та ін.

Наведений код використовує ряд об'єктів та методів з бібліотеки, яка була використана при розробці нових компонентів A-Frame – Three.js, та мотивує студентів для її опанування як способу розширення функціональності AR-програм.

Автор AR.js Жером Етьєнн створив розширення для Chrome, що надає можливість налагоджувати програми із використанням Three.js – Three.js Inspector (<https://libraries.io/github/mrdoob/threejs-inspector>). Автор Three.js Рікардо Кабелло надає можливість конструювати сцену за допомогою візуального редактора за посиланням <https://threejs.org/editor/>.

2.2.6. Безмаркерна доповнена реальність

Three.js не є спеціалізованою бібліотекою для доповненої реальності – вона містить суттєво більше функціональності, в тому числі тієї, що є більш придатною для веб-VR (освітлення, камери та інше). Документація Three.js (<https://threejs.org/docs>) містить інтерактивні демонстрації, що надають можливість переглянути різні об'єкти та модифікувати їх параметри.

Створення об'єктів у Three.js відбувається у три кроки:

- 1) визначення геометрії об'єкту – векторів позиції, кольорів та ін.;
- 2) визначення матеріалу – способу рендерингу об'єкту;
- 3) композиція геометрії та матеріалу.

У процесі еволюції курсу змінювався спосіб використання бібліотеки Three.js: у версії курсу 2019 року вона застосовувалась лише для розширення функціональності компонентів A-Frame та створення простих сцен у віртуальній реальності;

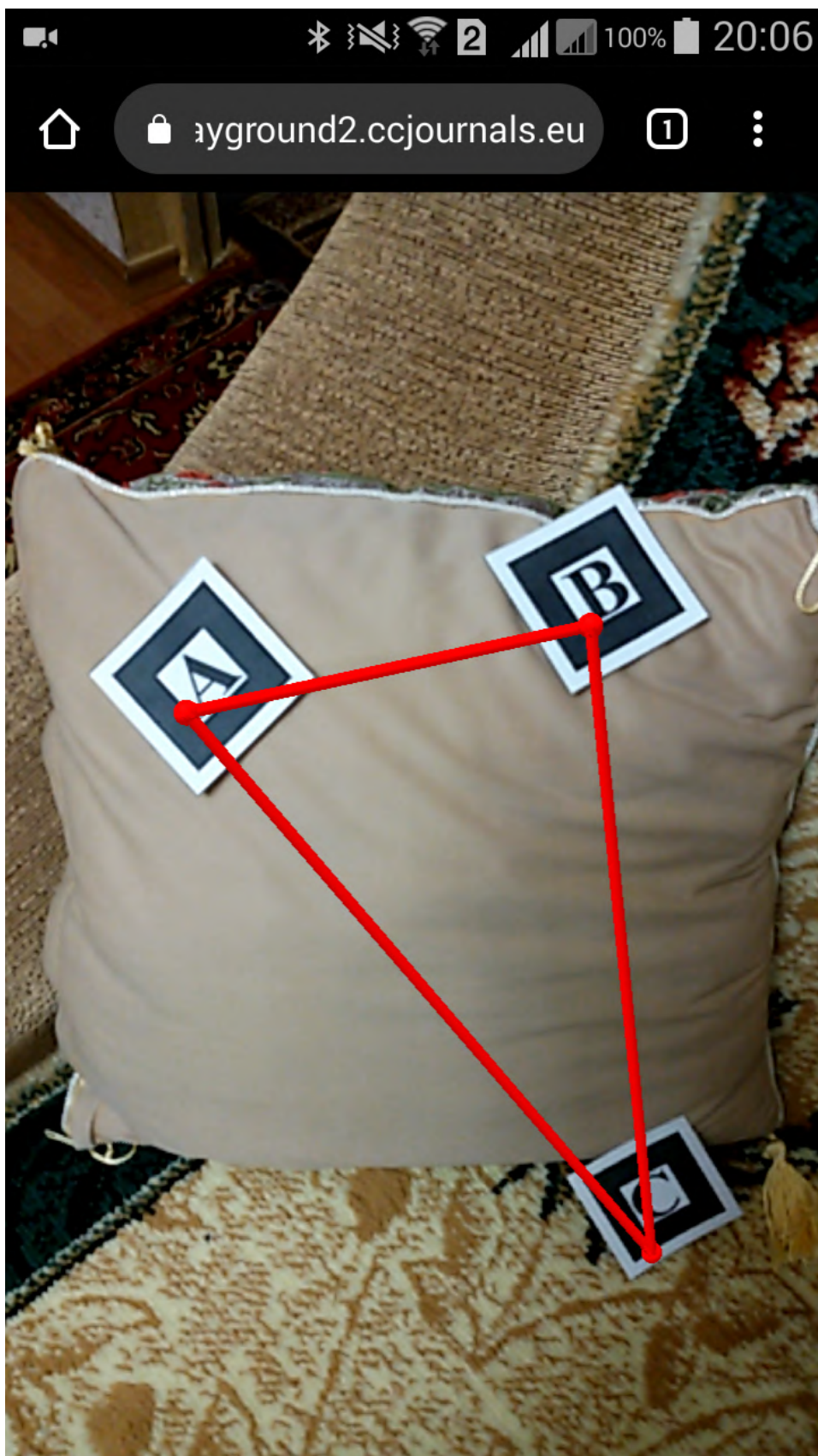


Рис. 2.23: Приклад побудови трикутника.

у версії курсу 2020 року – для спільного використання із AR.js. Починаючи з 2021 року, бібліотека Three.js нами використовується разом із бібліотекою MindAR, що надає можливість використання в якості маркерів довільні зображення фотографічної якості та навіть людське обличчя.

Еволюція курсу також відображає розвиток способів відстеження об'єктів – від відстеження простих зображень (маркерів – 2019/2020 навчальний рік) через відстеження комплексних зображень та геокоординат (2020/2021 та 2021/2022 навчальні роки) до відстеження довкілля (2022/2023 навчальний рік) із використанням WebXR.

WebXR Device API (WebXR) – це інтерфейс програмування веб-додатків, який описує підтримку доступу до пристроїв доповненої реальності та віртуальної реальності, таких як HTC Vive, Oculus Rift, Oculus Quest, Google Cardboard, HoloLens, Magic Leap або Open Source Virtual Reality (OSVR), у веб-браузері (<https://immersiveweb.dev/>). WebXR та пов'язані з ним API є стандартами, тому їх застосування можливе без використання будь-яких додаткових бібліотек у будь-якому браузері.

Наразі достатньо повну підтримку WebXR забезпечує Chrome на пристроях під управлінням Android, а з червня 2022 року експериментальна підтримка доступна у Safari на пристроях під управлінням iOS – на старих пристроях у нагоді стане WebXR Viewer.

Для розробки WebXR додатків доцільним є встановлення розширення Chrome WebXR API Emulator. На рис. 2.24 показано вкладку WebXR, що з'являється після встановлення розширення, з можливістю вибору емульованого пристрою та його параметрів (<https://blog.mozvr.com/webxr-emulator-extension/>).

Для тестування WebXR API пропонуємо студентами створити документ

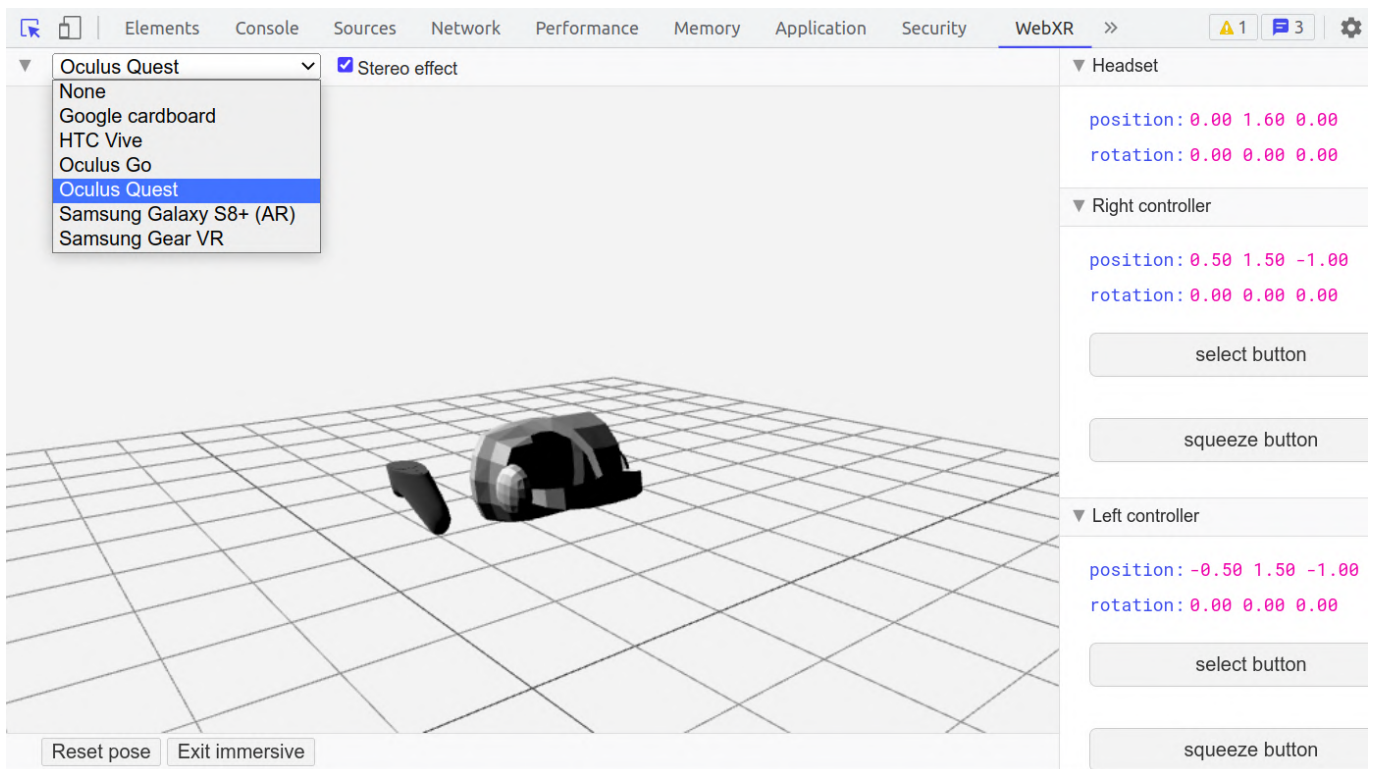


Рис. 2.24: Налаштування WebXR API Emulator.

HTML, у якому відсутнє підключення бібліотек AR.js чи MindAR – потреби у них немає, тому що, по-перше, вони не підтримують відстеження докільця (на відміну, наприклад, від 8th Walls), а, по-друге, усі дії у доповненій реальності можна виконати виключно за допомогою WebXR. Через те, що наразі не всі пристрої підтримують цей стандарт, для початку роботи доцільно створити кнопку із надписом “Увійти до WebXR”, яку розташуємо у центрі нижньої частини документу:

```
<html>
```

```
<head>
```

```
<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
```

```
<script type="module" src="./main.js"></script>
```

```
<style>
```

```
body {margin: 0}
```

```
#ar-button {position: fixed; z-index: 1001; padding: 1vh;
```

```

    bottom: 1vh; left: 50%; transform: translateX(-50%)}
</style>
</head>
<body>
  <button id="ar-button">Увійти до WebXR</button>
</body>
</html>

```

Відповідно, у програмному коді усі дії виконуватимуться після того, як документ завантажений. Підключення бібліотеки Three.js виконується для того, щоб у асинхронній функції initialize створити об'єкт доповненої реальності:

```
import * as THREE from "https://unpkg.com/three/build/three.module.js";
```

```

document.addEventListener("DOMContentLoaded", () => {
  const initialize = async() => {
    // код функції initialize
  }

  initialize();
});

```

arButton є об'єктом DOM класу button з ідентифікатором ar-button – зробимо цю кнопку квазібагатофункціональною шляхом зміни надпису на ній:

```
const arButton = document.querySelector("#ar-button");
```

Доступ до WebXR надається тільки в безпечному контексті (HTTPS). Властивість xr інтерфейсу Navigator, доступна тільки для читання, повертає об'єкт XRSystem, який може бути використаний для доступу до WebXR Device API. Ко-

жне вікно (Window) має власний екземпляр інтерфейсу Navigator, до якого можна отримати доступ як `window.navigator` або як `navigator`. При цьому також створюється новий екземпляр `XRSystem`, який приєднується до екземпляру навігатора як `navigator.xr`. Якщо властивість `xr` існує, то її можна використовувати для доступу до WebXR Device API.

Метод `XRSystem.isSessionSupported` повертає проміс, тому й викликається як асинхронний. Значення промісу перетворюється на `true`, якщо вказаний режим сеансу WebXR підтримується пристроєм користувача. Якщо пристрої відсутні або браузер не має дозволу на використання XR-пристрою, повертається значення `false`.

Параметром `isSessionSupported` є рядок, що визначає режим сеансу WebXR, для якого повинна бути перевірена підтримка: `immersive-ar`, `immersive-vr` або `inline`.

Згідно документації (<https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/>), на 17 серпня 2023 року повна підтримка WebXR реалізована у веб-браузерах Chrome, Edge, Opera, Samsung Internet – на них буде доступна властивість `xr` інтерфейсу Navigator. Проте, чи буде обраний режим WebXR підтримуватись, залежить також від апаратного забезпечення та дозволів, що їх надає користувач. Таким чином, змінна `supported` приймає істинне значення тоді, коли браузер підтримує WebXR та є можливість розпочати сеанс WebXR у доповненій реальності:

```
const supported = navigator.xr &&
  await navigator.xr.isSessionSupported("immersive-ar");
```

Якщо режим WebXR не підтримується, кнопка відключається, а надпис на ній змінюється на відповідний:

```
if (!supported) {
  arButton.textContent = "WebXR не підтримується";
```

```

arButton.disabled = true;
return;
}

```

Наступним кроком є створення тестового об'єкту – кубу зеленого кольору mesh розміром $6 \times 6 \times 6$ см (0.06 м – саме метр у фізичному світі є одиницею вимірювання у WebXR). Властивість position кубу вказує його положення у 30 см перед стартовим положенням, у якому знаходиться камера camera. Попри те, що матеріал кубу MeshBasicMaterial завжди має власний колір і не взаємодіє із напівсферичним освітленням light, для подальшої роботи (наприклад, завантаження моделей) освітлення є необхідним. Куб mesh і джерело світла light розташовуються на сцені scene. Побачити її з позиції камери camera (за замовчанням вона у початку координат) можна за допомогою рендерера renderer, при створенні якого включено згладжування (antialias) та прозорість (alpha). Виклик appendChild додає до тіла документа пов'язане із рендерером полотно, розмір якого викликом setSize встановлений у розмір вікна. Нарешті, для подолання ефекту замилювання полотна розмір пікселя полотна встановлений рівним розміру екранного пікселя:

```

const scene = new THREE.Scene();
const camera = new THREE.PerspectiveCamera();
const renderer = new THREE.WebGLRenderer({antialias: true, alpha: true});
renderer.setSize(window.innerWidth, window.innerHeight);
renderer.setPixelRatio(window.devicePixelRatio);
document.body.appendChild(renderer.domElement);
const geometry = new THREE.BoxGeometry(0.06, 0.06, 0.06);
const material = new THREE.MeshBasicMaterial({color: 0x00ff00});

```

```

const mesh = new THREE.Mesh(geometry, material);
mesh.position.set(0, 0, -0.3);
scene.add(mesh);
const light = new THREE.HemisphereLight(0xfffff, 0xbbbbf, 1);
scene.add(light);

```

Відстежити початок та кінець сесії WebXR можна, опрацювавши події `sessionstart` та `sessionend`:

```

renderer.xr.addEventListener("sessionstart", (e) => {
  console.log("Сесію WebXR розпочато");
});
renderer.xr.addEventListener("sessionend", () => {
  console.log("Сесію WebXR завершено");
});

```

Функція `start` ініціюватиме сеанс (сесію) WebXR:

```

let currentSession = null;
const start = async() => {

```

Інтерфейс `XRSession` WebXR Device API представляє поточний сеанс XR `currentSession`, надаючи методи та властивості, що використовуються для взаємодії з сеансом та керування ним. За допомогою методів `XRSession` можна опитувати положення та орієнтацію глядача (`XRViewerPose`), збирати інформацію про оточення користувача та представляти зображення користувачеві.

Щоб відкрити сеанс WebXR, використовується асинхронний метод інтерфейсу `XRSystem` (повертає проміс) `requestSession`, першим параметром якого є режим WebXR:

- `immersive-ar` – сеансу буде наданий повний доступ до імерсивного пристрою,

але відрендерений вміст буде скомбінований із реальним оточенням;

- `immersive-vr` – результат рендерингу буде відображатися за допомогою імерсивного XR-пристрою в режимі віртуальної реальності;
- `inline` – результат рендерингу буде вбудовано у контекст елемента стандартного документа HTML. Убудовані сеанси можуть бути представлені в моно або стерео режимі, можуть мати або не мати відстеження глядача та не вимагають спеціального апаратного забезпечення.

Другий параметр `requestSession` є об'єктом для налаштування `XRSession`, що може містити поля `requiredFeatures` (масив значень, які сесія має підтримувати), `optionalFeatures` (масив значень, що ідентифікують функції, які сесія може підтримувати), `domOverlay` (об'єкт з обов'язковою кореневою властивістю, яка визначає елемент накладання, що буде відображатися користувачеві як вміст DOM-оверлею), `depthSensing` (об'єкт із двома обов'язковими властивостями `usagePreference` та `dataFormatPreference` для налаштування способу вимірювання глибини зображення).

У прикладі встановлено, що тіло документа HTML є DOM-оверлеєм – це необхідно для того, щоб розмістити кнопку `arButton` поверх вікна:

```
currentSession = await navigator.xr.requestSession(
  "immersive-ar", {
    optionalFeatures: ["dom-overlay"],
    domOverlay: {root: document.body}
  }
);
```

Three.js підтримує WebXR Device API через `WebXRManager` – внутрішній інтерфейс класу `WebGLRenderer`, доступ до якого дається через властивість `xr`

об'єкту `renderer`. Прапорець `enabled` повідомляє рендереру про готовність до рендерингу XR – це дуже схоже на те, як працює `AR.js`, `MindAR` або інші AR-рушії: `WebXRManager` допомагає постійно оновлювати позицію сцени і камери так, щоб об'єкти виглядали прив'язаними до фізичного місця:

```
renderer.xr.enabled = true;
```

Метод `setReferenceSpaceType` визначає тип опорного простору, який потрібно встановити. Це метод може бути використаний для налаштування просторового зв'язку з фізичним оточенням користувача. Залежно від того, як користувач рухається в 3D просторі, встановлення відповідного опорного простору може покращити відстеження (за замовчуванням – `local-floor`):

- `local` – простір відстеження, розташований поблизу позиції глядача під час створення сеансу: очікується, що користувач не буде сильно переміщатися, якщо взагалі буде, за межі своєї початкової позиції, і відстеження оптимізовано для цього випадку використання;
- `bounded-floor` – простір відстеження, подібний до типу `local`, за винятком того, що користувач не повинен виходити за межі заздалегідь визначеної межі, заданої властивістю `boundsGeometry`;
- `local-floor` – простір відстеження подібний до `local`, за винятком того, що початкова позиція розміщується в безпечному для глядача місці, де значення осі у дорівнює 0 на рівні підлоги;
- `unbounded` – простір відстеження, який дозволяє користувачеві повну свободу пересування, можливо, на надзвичайно великі відстані від початкової точки: відстеження оптимізовано для стабільності навколо поточного положення користувача, тому початкова точка може зміщуватись в міру необхідності, щоб задовольнити цю потребу;

- viewer – простір відстеження положення та орієнтації глядача: це особливо корисно при визначенні відстані між глядачем та об'єктом.

Для доповненої реальності вибір простору не дуже суттєвий, тому вибір `local` є чи не єдиним, що має сенс:

```
renderer.xr.setReferenceSpaceType("local");
```

Three.js не має можливості відстеження об'єктів, тому застосовується метод `setSession`, який передає Three.js інформацію про сесію WebXR:

```
await renderer.xr.setSession(currentSession);
```

Останні дії, що виконуються у функції `start` – зміна надпису на кнопці та запуск циклу анімації:

```
arButton.textContent = "Завершити сесію WebXR";
renderer.setAnimationLoop(() => {
  renderer.render(scene, camera);
});
}
```

Функція `end` завершує сесію WebXR викликом методу `end` інтерфейсу `XRSession`. Цикл анімації, в якому викликався метод `render`, зупиняється його заміною на порожній (`null`), полотно очищується викликом `clear`, а кнопка приховується:

```
const end = async() => {
  currentSession.end();
  renderer.setAnimationLoop(null);
  renderer.clear();
  arButton.style.display = "none";
}
```

Обробник події `click` натискання на кнопку запускає сесію WebXR, якщо вона не була запущена раніше, та припиняє у протилежному випадку – це надає можливість входити до режиму WebXR не автоматично, а за запитом користувача:

```
arButton.addEventListener("click", () => {
  if (currentSession) {
    end();
  } else {
    start();
  }
});
```

На рис. 2.25 та 2.26 показано роботу програмного забезпечення у режимі емулятора WebXR та на пристрої з підтримкою WebXR.

Наведений приклад є досить довгим, і найбільша його частина була присвячена управлінню життєвим циклом імерсивної AR-сесії. Зокрема, була створена кнопка для запуску та завершення сесії, перевірено, чи підтримує браузер WebXR тощо. Це сприяє розумінню студентами специфіки доповненої реальності у WebXR, проте детальний його розгляд є більш доцільним для студентів інформатичних спеціальностей, адже це – достатньо стандартні речі, які реалізовані у додатковому компоненті Three.js – модулі ARButton. Якщо змиритись із тим, що написи на кнопках є фіксованими, а зображення куба на полотні з'являється до початку сесії WebXR (рис. 2.27), можна суттєво спростити код як документу HTML (в якому вже немає потреби створювати кнопку та визначати її стиль), так й основної програми:

```
import * as THREE from "https://unpkg.com/three/build/three.module.js";
```

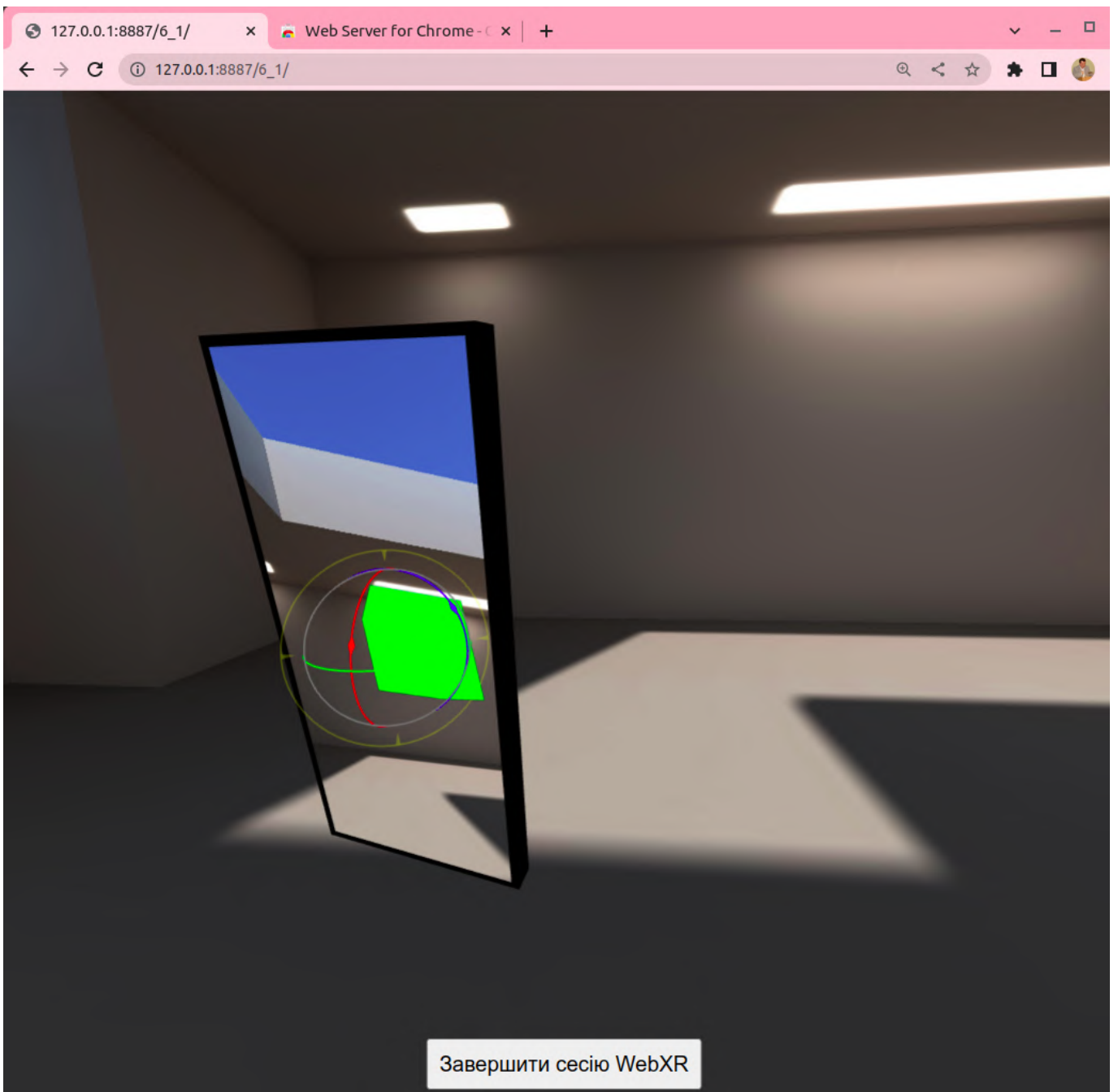


Рис. 2.25: Тестування програмного забезпечення у режимі емулятора WebXR.

```
import {ARButton} from
  "https://unpkg.com/three/examples/jsm/webxr/ARButton.js";
document.addEventListener("DOMContentLoaded", () => {
  const initialize = async() => {
    const scene = new THREE.Scene();
    const camera = new THREE.PerspectiveCamera();
```

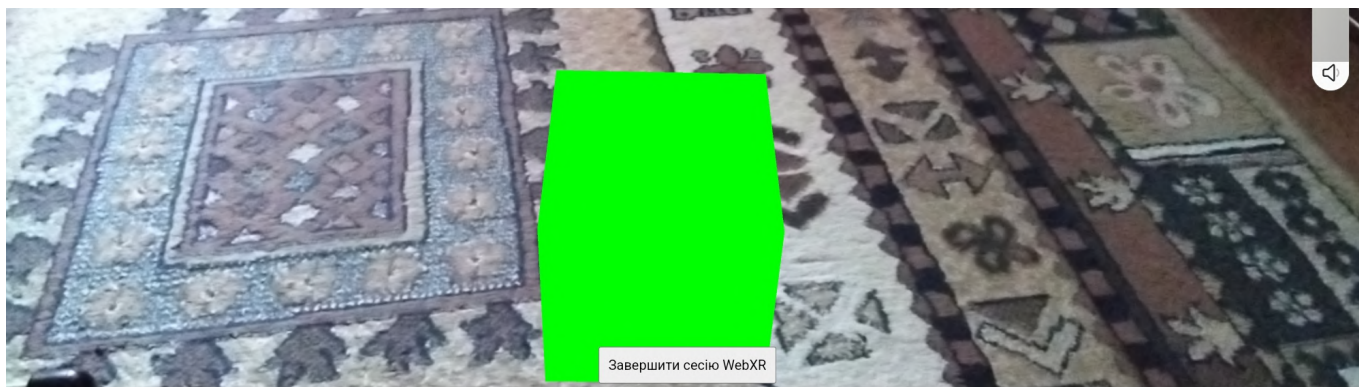


Рис. 2.26: Тестування програмного забезпечення на пристрої з підтримкою WebXR.

```

const renderer = new THREE.WebGLRenderer({antialias: true, alpha: true});
renderer.setSize(window.innerWidth, window.innerHeight);
renderer.setPixelRatio(window.devicePixelRatio);
document.body.appendChild(renderer.domElement);
const geometry = new THREE.BoxGeometry(0.06, 0.06, 0.06);
const material = new THREE.MeshBasicMaterial({color: 0x00ff00});
const mesh = new THREE.Mesh(geometry, material);
mesh.position.set(0, 0, -0.3);
scene.add(mesh);
const light = new THREE.HemisphereLight(0xffffff, 0xbbbbff, 1);
scene.add(light);
renderer.xr.enabled = true;
renderer.setAnimationLoop(() => {
  renderer.render(scene, camera);
});
const arButton = ARButton.createButton(renderer, {
  optionalFeatures: ["dom-overlay"],
  domOverlay: {root: document.body}

```



Рис. 2.27: Тестування кнопки з компоненту ARButton.

```
});  
document.body.appendChild(arButton);  
}  
initialize();  
});
```

Підключення модуля ARButton виконується окремою командою import,

адже він не є стандартною складовою бібліотеки Three.js. Єдині подальші нагадування про те, що це не лише код для створення куба – рядки із вказівкою рендереру застосовувати WebXR (встановленням `renderer.xr.enabled`) та виклик методу `createButton` з підключеного модуля. Параметрами `createButton` є рендерер та додаткові параметри, що передавались у попередньому прикладі до `navigator.xr.requestSession`. Створена кнопка додається до тіла документу традиційним викликом `appendChild`.

2.2.7. Управління контролерами, розміщення об'єктів та перевірка дотику

Повноцінний досвід імерсії – це не просто показ користувачеві сцени: користувач повинен мати можливість взаємодіяти з нею. З цією метою WebXR забезпечує підтримку різних типів пристроїв введення.

Вхідні дані у WebXR діляться на дві основні категорії: наведення та дії. *Наведення* (націлювання) – це визначення точки в просторі: натискання користувачем на точку на екрані, відстеження його очей або використання джойстика чи контролера, що реагує на рух, для переміщення курсору. *Дії* включають як дії вибору, такі як натискання на кнопку, так й дії натискання, такі як натискання на спусковий гачок або захоплення об'єкту при використанні тактильних рукавичок.

WebXR підтримує такі основні типи пристроїв для опрацювання подій наведення та дій:

- *дотики до екрану* (зокрема, на телефонах або планшетах) можуть використовуватися для одночасного наведення на ціль і вибору;
- *контролери із датчиками руху*, які використовують акселерометри, магнітометри та інші датчики для відстеження руху та наведення на ціль та можуть додатково включати будь-яку кількість кнопок, джойстиків, накладок для великих пальців, сенсорних панелей, датчиків сили тощо для забезпечення

додаткових джерел введення як для наведення на ціль, так і для вибору;

- *тригери, що стискаються* (зокрема, рукавички), для забезпечення дії стикування;
- *голосові команди* з використанням розпізнавання мови;
- *відстеження погляду* (слідування за рухами очей для вибору цілей) тощо.

Дії користувача у WebXR фіксуються та опрацьовуються за допомогою контролерів. У Three.js метод `getController` класу `WebXRManager` повертає групу так званого цільового променевого простору контролера XR (`XRSpace`), який можна використовувати для візуалізації 3D об'єктів, що підтримують просторовий користувацький інтерфейс. Початок цього простору знаходиться в точці, з якої випромінюється промінь цілі (наприклад, передній кінець контролера або кінець ствола гармати, якщо контролер візуалізується як гармата), а вектор орієнтації простору простягається назовні вздовж траєкторії променя цілі.

контролери наразі більше застосовуються у пристроях та додатках віртуальної реальності – для доповненої реальності основним контролером є сенсорний екран мобільного пристрою, доступ до якого можна отримати у такий спосіб:

```
const controller = renderer.xr.getController(0);
```

контролер з індексом 0 як раз й відповідає першому сенсорному екрану мобільного пристрою. Це пов'язано з тим, що в імерсивному досвіді навігація у віртуальному середовищі відбувається за допомогою мобільного пристрою, тому мобільний пристрій виконує роль контролера.

Кожне джерело вхідних даних повинно визначати первинну дію. Первинна дія, або дія вибору – це специфічна для платформи дія, яка реагує на маніпуляції користувача, доставляючи, по порядку, такі події:

1. Подія `selectstart` вказує на те, що користувач виконав дію, яка запускає пер-

винну дію. Це може бути жест, натискання кнопки тощо.

2. Якщо первинна дія завершується успішно (наприклад, через те, що користувач відпустив кнопку або тригер), а не через помилку, то відправляється подія `select`.
3. Після відправлення події `select` або якщо контролер, на якому виконується дія, відключається чи іншим чином стає недоступним, відправляється подія `selectend`.

Відповідні події стискання (`squeezestart`, `squeezeend` та `squeeze`) на такому контролері, як сенсорний екран, реалізовувати недоцільно.

Опрацювання подій `selectstart`, `select` та `selectend` є подібним до класичних сенсорних подій `touchstart`, `touchmove`, `touchcancel` та `touchend`, проте події контролера та сенсорні події не є ідентичними: події контролера оперують 3D координатами імерсивного простору, а сенсорні події – 2D координатами на сенсорному екрані.

Застосуємо подію від контролера `select` для розміщення об'єктів у довкіллі (рис. 2.28). Програмний код розпочинається із підключення бібліотеки `Three.js` та модуля `ARButton`:

```
import * as THREE from "https://unpkg.com/three/build/three.module.js";
import {ARButton}
  from "https://unpkg.com/three/examples/jsm/webxr/ARButton.js";
```

Після завантаження документа створюємо та викликаємо функцію `initialize`:

```
document.addEventListener("DOMContentLoaded", () => {
  const initialize = async() => {
    //вміст функції
  }
})
```

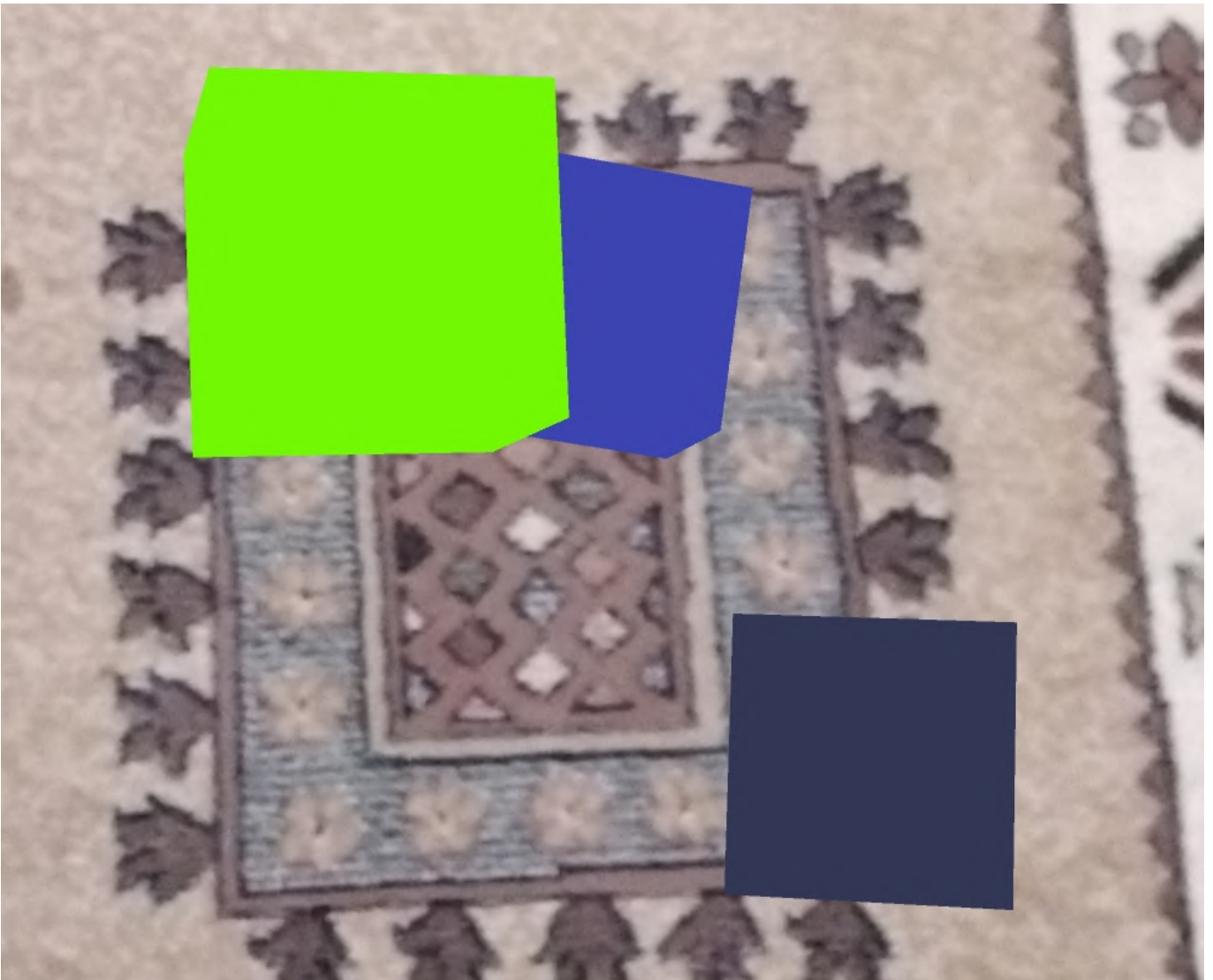


Рис. 2.28: Демонстрація динамічного розміщення об'єктів у довкіллі.

```
initialize();
});
```

Усі об'єкти розміщуватимуться на сцені:

```
const scene = new THREE.Scene();
```

Видимий розмір об'єктів визначається камерою – вона налаштована так, щоб співвідношення сторін її об'єктиву було таким самим, як у вікна браузера, розтруб камери встановлений у 70° , а видимими будуть лише об'єкти, що знаходяться на відстані від нього не ближче 1 см та не далі 20 м:

```
const camera = new THREE.PerspectiveCamera(70,
```

```
window.innerWidth / window.innerHeight, 0.01, 20);
```

Об'єкти на сцені будуть освітлюватись напівсферичним освітленням:

```
const light = new THREE.HemisphereLight(0xfffff, 0xbbbbff, 1);
scene.add(light);
```

Для їх кращого відображення рендерером включено згладжування та прозорість, а форма пікселя полотна встановлена у відповідну форму пікселя пристрою:

```
const renderer = new THREE.WebGLRenderer({antialias: true, alpha: true});
renderer.setPixelRatio(window.devicePixelRatio);
```

Розмір полотна відповідає розміру вікна браузера:

```
renderer.setSize(window.innerWidth, window.innerHeight);
```

Далі повідомляємо рендереру про готовність до рендерингу у WebXR:

```
renderer.xr.enabled = true;
```

Налаштовуємо цикл анімації:

```
renderer.setAnimationLoop(() => {
  renderer.render(scene, camera);
});
```

Застосовуємо модуль ARButton для ініціалізації WebXR за натисканням на кнопку:

```
const arButton = ARButton.createButton(renderer, {
  optionalFeatures: ["dom-overlay"],
  domOverlay: {root: document.body}
});
document.body.appendChild(renderer.domElement);
document.body.appendChild(arButton);
```

Створюємо об'єкт для управління контролером (у даному випадку – сенсорним екраном) та додаємо його до сцени – це надасть можливість визначати його координати на сцені:

```
const controller = renderer.xr.getController(0);
scene.add(controller);
```

Найважливішою частиною є обробник події select – натискання на сенсорний екран:

```
controller.addEventListener("select", () => {
  const geometry = new THREE.BoxGeometry(0.06, 0.06, 0.06);
  const material = new
    THREE.MeshBasicMaterial({color: 0xffffff * Math.random()});
  const mesh = new THREE.Mesh(geometry, material);
  mesh.position.applyMatrix4(controller.matrixWorld);
  mesh.quaternion.setFromRotationMatrix(controller.matrixWorld);
  scene.add(mesh);
});
```

Щойно від контролера надходить ця подія, на сцену додається новий об'єкт – куб довільного кольору. На жаль, просто скопіювати вектори координат та кутів нахилу контролеру до відповідних складових кубічного об'єкту недостатньо.

Найпоширенішим використанням кватерніонів та матриць у тривимірній комп'ютерній графіці є *кватерніони обертання* та *матриця перетворення 4×4* . За допомогою перемноження з матрицею переходу стають можливими перетворення тривимірного вектора, що являє точку в тривимірному просторі, як-от перенесення, обертання, зсув, масштабування, відображення, ортогональне або перспективне проектування тощо. Це називається застосуванням матриці до вектора.

Кожен тривимірний об'єкт Three.js (Object3D та його нащадки) містить три взаємопов'язані матриці:

- `matrix` – матриця локального перетворення об'єкта;
- `matrixWorld` – матриця глобального (“світового”) перетворення об'єкта щодо його батька (якщо в об'єкта немає батьківського, вона ідентична матриці локального перетворення);
- `modelViewMatrix` – матриця перетворення об'єкта щодо системи координат камери (матриця `matrixWorld`, помножена на матрицю `matrixWorldInverse` камери).

Метод `applyMatrix4` застосовує до вектора `position` кубу `mesh` матрицю глобального перетворення `matrixWorld` контролера `controller`, у результаті чого оновлюється положення, кут повороту та масштаб кубу.

Метод `setFromRotationMatrix` виконує поворот кватерніону `quaternion` кубу `mesh` (локальний кут повороту об'єкта) за компонентом матриці обертання `matrixWorld` контролера `controller`.

Перевірка дотику (*hit testing*, жарг. *реальний хіт-тестинг*), як це розуміється у <https://www.w3.org/TR/webxr-hit-test-1/>, є актом перевірки того, чи перетинається ідеалізований математичний промінь (напівлінія) з *реальним світом*, як це розуміється базовим апаратним та програмним забезпеченням доповненої реальності. Перетин променів з *віртуальними об'єктами* не входить в сферу застосування WebXR Hit Test API та відноситься до рейкастингу (віртуального хіт-тестингу).

Найчастіше у WebXR розробники проводять перевірку дотику, використовуючи `XRInputSources` або `XRReferenceSpace` типу `viewer`, щоб відстежити, куди слід виконати наведення на мобільних пристроях, або для того, щоб розташувати віртуальний об'єкт у геометрії реального світу. У сесіях WebXR типу `inline`

та immersive-vr обмежуються виконанням віртуальних хіт-тестів, тоді як у сесіях immersive-ar можуть виконувати як віртуальні, так і реальні хіт-тести.

WebXR Hit Test API використовується насамперед для:

- відображення об'єкта, що відстежує реальні поверхні, на які спрямований пристрій або контролер (наприклад, його “прилипання” до реальних поверхонь, коли користувач переміщує контролер);
- розміщення віртуальних об'єктів у реальному світі так, щоб вони виглядали закріпленими у реальному світі – для цього вони повинні бути розміщені на тій самій висоті, що й об'єкти реального світу (підлога, стіл, стіна тощо).

Хіт-тестинг є дуже потужною концепцією, але його реалізація на різних пристроях поки що не є повною, тому наразі він переважно використовується для виявлення поверхонь – поверхні столу, поверхні підлоги, поверхні стіни тощо. Та навіть це надає можливість суттєво підвищити реалістичність розміщення віртуальних об'єктів у довкіллі.

Через значні обчислювальні витрати перевірка дотику за замовчанням не виконується – її потрібно запросити явно у `navigator.xr.requestSession`, вказавши `hit-test` у параметрі `requiredFeatures`:

```
currentSession = await navigator.xr.requestSession("immersive-ar", {
  requiredFeatures: ["hit-test"],
  optionalFeatures: ["dom-overlay"],
  domOverlay: {root: document.body}
});
```

При використанні `ARButton` передавання параметрів виконується аналогічно:

```
import * as THREE from "https://unpkg.com/three/build/three.module.js";
```

```
import {ARButton} from
  "https://unpkg.com/three/examples/jsm/webxr/ARButton.js";
document.addEventListener('DOMContentLoaded', () => {
  const initialize = async() => {
    const scene = new THREE.Scene();
    const camera = new THREE.PerspectiveCamera();
    const light = new THREE.HemisphereLight(0xfffff, 0xbbbbff, 1);
    scene.add(light);
    const reticleGeometry = new THREE.RingGeometry(0.15, 0.2, 32);
    reticleGeometry.rotateX(- Math.PI / 2);
    const reticleMaterial = new THREE.MeshBasicMaterial();
    const reticle = new THREE.Mesh(reticleGeometry, reticleMaterial);
    reticle.matrixAutoUpdate = false;
    reticle.visible = false;
    scene.add(reticle);
    const renderer = new THREE.WebGLRenderer({antialias: true, alpha: true});
    renderer.setPixelRatio(window.devicePixelRatio);
    renderer.setSize(window.innerWidth, window.innerHeight);
    renderer.xr.enabled = true;
    const arButton = ARButton.createButton(renderer, {
      requiredFeatures: ['hit-test'],
      optionalFeatures: ['dom-overlay'],
      domOverlay: {root: document.body}
    });
    document.body.appendChild(renderer.domElement);
```

```
document.body.appendChild(arButton);
const controller = renderer.xr.getController(0);
scene.add(controller);
```

До попереднього прикладу внесені також такі зміни:

- створення камери виконано викликом `PerspectiveCamera` із параметрами за замовчаннями: вона налаштована так, щоб співвідношення сторін її об'єктиву було 1:1 (квадратне полотно), розтруб камери встановлений у 50° , а видимими будуть лише об'єкти, що знаходяться на відстані від нього не ближче 10 см та не далі 2 км;
- до сцени додано правильний тридцятидвогранник `reticle` білого кольору зовнішнім радіусом 20 см, а внутрішнім – 15 см, тобто кільце: через те, що цей об'єкт спочатку приховується, для того, щоб кожного кадру не виконувати обчислення зміни його геометрії залежно від зміни світових координат (`matrixWorld`), параметр `matrixAutoUpdate` вимкнено.

Кільце `reticle` буде індикаторним об'єктом – своєрідним прицілом, який відображається та оновлює координати у місці дотику: для того, щоб він завжди лежав на поверхні дотику, й виконується поворот кільця на 90° .

У обробнику події `select` куб `mesh` розташовується тепер не у позиції контролера (`controller.matrixWorld`), а у позиції кільця `reticle`. Прибирання виклику методу `setFromRotationMatrix` призводить до того, що куб `mesh` не повертається згідно орієнтації пристрою – тепер його орієнтація збігається з орієнтацією кільця. Певне розмаїття вносить випадкова зміна висоти кубу від 1 до 3 разів, тобто перетворення його на прямокутний паралелепіпед:

```
controller.addEventListener('select', () => {
  const geometry = new THREE.BoxGeometry(0.06, 0.06, 0.06);
```



```

const material = new THREE.MeshBasicMaterial({
  color: 0xffffff * Math.random()
});
const mesh = new THREE.Mesh(geometry, material);
mesh.position.setFromMatrixPosition(reticle.matrix);
mesh.scale.y = Math.random() * 2 + 1;
scene.add(mesh);
});

```

Кільце `reticle` виконуватиме роль мітки на поверхні (рис. 2.29), дотик до якої перевірятиметься за допомогою WebXR Hit Test API – це можна налаштувати після початку сесії (сеансу) WebXR у обробнику події `sessionstart`:

```

renderer.xr.addEventListener("sessionstart", async (e) => {
  // зміст обробника події початку сесії WebXR
});

```

Для того, щоб опрацювати подію `sessionstart`, спочатку необхідно отримати відомості про поточну сесію WebXR, приховані у модулі `ARButton`. У `Three.js` властивість `xr` об'єкту `renderer` є об'єктом класу `WebXRManager` – абстракції WebXR Device API. Метод `getSession` цього класу повертає об'єкт `session` класу `XRSession`, необхідний для управління активними сесіями WebXR:

```

const session = renderer.xr.getSession();

```

Модуль `ARButton` встановлює тип опорного простору у `local`, що відповідає довкіллю користувача, який мало рухається – координатна система розташовується навколо нього та не зміщується. Для нашого випадку більш доцільним буде вибір опорного простору `viewer`, в якому відстежується положення та орієнтація глядача, що змінюються. Зазвичай, глядач – `viewer` – є особою або пристроєм. На

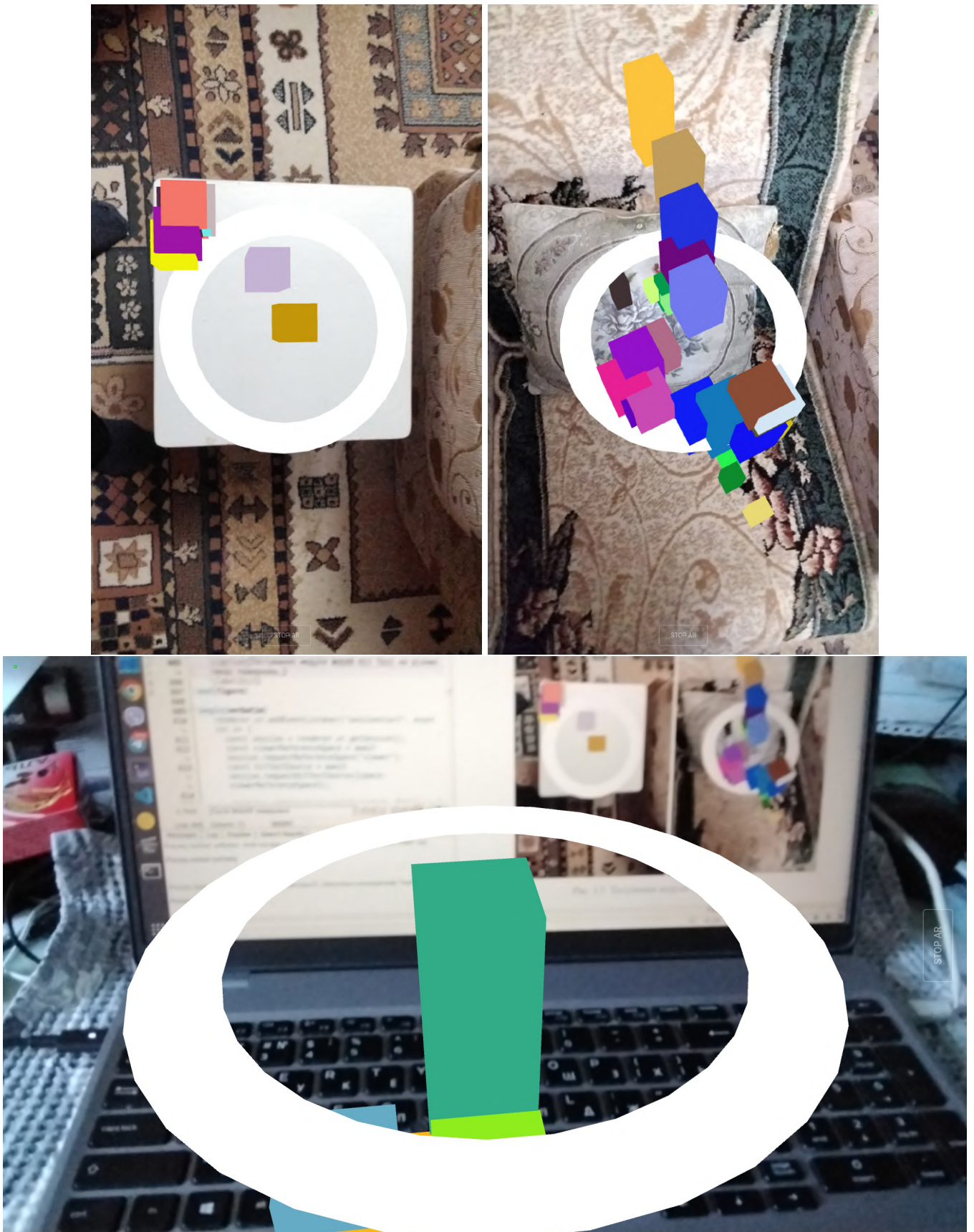


Рис. 2.29: Тестування модуля WebXR Hit Test на різних типах поверхонь.

початку програми локальний опорний простір та опорний простір глядача співпадають, та у процесі руху вони починають різнитись.

Метод `requestReferenceSpace` інтерфейсу `XRSession` повертає проміс, який стає екземпляром або `XRReferenceSpace`, або `XRBoundedReferenceSpace` відповідно до типу запитуваного опорного простору. Простір глядача запитується для того, щоб визначити відстані до об'єктів під час хіт-тесту від поточного положення глядача:

```
const viewerReferenceSpace = await session.requestReferenceSpace("viewer");
```

Таким чином, одночасно маємо два опорних простори – `local` та `viewer`.

Для запиту джерела хіт-тесту (`XRHitTestSource`) викликається асинхронна (через те, що повертає проміс) функція `requestHitTestSource`. Ця функція приймає словник `XRHitTestOptionsInit` з наступними парами ключ-значення:

- `space` (обов'язковий параметр) – опорний простір, який буде відстежуватися джерелом перевірки дотику: оскільки цей опорний простір оновлює своє місцезнаходження для кожного кадру, `XRHitTestSource` буде рухатися разом з ним;
- `entityTypes` (необов'язковий параметр) – масив, що визначає типи сутностей, які будуть використані для створення джерела хіт-тесту. Якщо тип сутності не вказано, то за замовчуванням масив містить один елемент типу `plane`. Можливі типи:
 - `point` – результати хіт-тесту обчислюються на основі виявлених характерних точок;
 - `plane` – результати хіт-тесту обчислюються на основі виявлених реальних площин;
 - `mesh` – результати хіт-тесту обчислюються на основі виявлених об'є-

ктних сіток (віртуальних об'єктів).

- `offsetRay` (необов'язковий параметр) – об'єкт `XRRay` (промінь), який буде використано для виконання хіт-тесту: за замовчанням, промінь спрямований уперед, а координати його початку визначаються початком координат опорного простору.

Таким чином, `hitTestSource` є джерелом хіт-тесту для опорного простору `viewerReferenceSpace`:

```
const hitTestSource = await
  session.requestHitTestSource({space: viewerReferenceSpace});
```

Завершує обробник події `sessionstart` налаштування циклу анімації викликом `setAnimationLoop` – у WebXR вона має застосовуватись замість традиційної `requestAnimationFrame`. Безіменна функція, що встановлюється викликом `setAnimationLoop`, приймає два параметри – `timestamp` (поточний час) та `frame` (поточний кадр – інформація про фізичне середовище у момент часу `timestamp`):

```
renderer.setAnimationLoop((timestamp, frame) => {
```

Змінна `frame` є представником інтерфейсу `XRRFrame` – якщо вона встановлена у `null`, інформація про фізичне середовище відсутня, тому подальша робота не є можливою:

```
  if (!frame) return;
```

Метод `getHitTestResults` інтерфейсу `XRRFrame` повертає масив `hitTestResults` об'єктів класу `XRRHitTestResult`, що містить результати хіт-тесту для заданого джерела `hitTestSource`:

```
  const hitTestResults = frame.getHitTestResults(hitTestSource);
```

Документація (<https://www.w3.org/TR/webxr-hit-test-1/>) не визначає, чи впорядковані результати хіт-тесту за відстанню так само, як результати рейкастингу,

проте, згідно опису у <https://immersive-web.github.io/hit-test/hit-testing-explainer.html>, наразі це так, тому, якщо масив `hitTestResults` не порожній, його елемент з індексом 0 відповідає найближчому реальному об'єкту, до якого можна доторкнутись:

```
if (hitTestResults.length > 0) {
  const hit = hitTestResults[0];
```

Метод `getReferenceSpace` повертає посилання на локальний опорний простір, встановлений для поточної сесії у модулі `ARButton`:

```
const referenceSpace = renderer.xr.getReferenceSpace();
```

Метод `getPose` інтерфейсу `XRFrame` повертає відносне положення та орієнтацію – позицію – одного простору `XRSpace` відносно іншого простору. За допомогою цього можна спостерігати за рухом об'єктів відносно один одного та фіксованих локацій по всій сцені.

Таким чином, виклик `getPose` із параметром `referenceSpace` надає можливість визначити положення локального простору по відношенню до простору глядача:

```
const hitPose = hit.getPose(referenceSpace);
```

Наступний крок – зробити кільце видимим та розмістити його на поверхні, до якої виконано дотик:

```
reticle.visible = true;
reticle.matrix.fromArray(hitPose.transform.matrix);
```

Якщо немає жодного реального об'єкту, до якого можна доторкнутись, кільце приховується:

```
} else {
  reticle.visible = false;
```

```
}
```

Завершується функція анімації викликом функції `render`:

```
renderer.render(scene, camera);
```

```
});
```

```
}
```

```
initialize();
```

```
});
```

Розглянутий приклад є основою для побудови імерсивних освітніх ресурсів довільної складності – так, невелика зміна коду перетворює його на гру (рис. 2.30).



Рис. 2.30: “Посадка городу” у доповненій реальності.

2.3. Застосування дослідницького підходу та інтерактивних технологій у процесі підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін

Реалізація дослідницького підходу у навчанні розробленого курсу відбувалась за двома основними напрямками.

Перший – розробка студентами завершених STEM-проектів із доповненою реальністю у межах конкурсних, курсових та кваліфікаційних робіт. Прикладом такої розробки є кваліфікаційна робота О. Ю. Похлестової “Технології доповненої реальності як засіб підтримки навчально-дослідницької діяльності учнів з хімії в 11-х класах” [195].

У процесі навчання за курсом студент звернувся за консультацією щодо ідеї створення віртуальної хімічної лабораторії, яка використовує доповнену реальність. Головною метою свого проекту він уважав можливість віртуальної взаємодії з хімічними реакціями, в яких задіяні віртуальні об’єкти, репрезентовані зображеннями або моделями реальних об’єктів. Зокрема, розглядалась можливість вивчення якісних реакцій хлоридів, бромидів і йодидів.

Для реалізації ідеї було запропоновано використати створені студентом маркери доповненої реальності. Кожен із хімічних реактивів був асоційований із певним маркером. Для початку реакції маркери реактивів, які повинні реагувати, підносяться один до одного, і коли вони досягають певної відстані, система відтворює відеозапис реального хімічного експерименту.

Згенеровані маркери були пронумеровані і пов’язані з назвами та зображеннями реактивів. Далі було розглянуто всі можливі комбінації поєднання реактивів, і для тих, де можлива хімічна реакція, студентом були створені відеозаписи

(також були записані файли для випадків, коли реакція не відбувається). Всі ці файли були завантажені на GitHub для подальшого використання.

Для реалізації проєкту віртуальної хімічної лабораторії у доповненій реальності (рис. 2.31) використовувались бібліотеки A-Frame для створення віртуальних об'єктів та AR.js для зв'язування цих об'єктів із маркерами. Головна сторінка проєкту включала чотири блоки:

1. Блок визначення відеотекстур, який містить записи для кожного відео, що включають ідентифікатор відео, параметри завантаження, вимкнення звуку, зображення-постер та посилання на відеофайл.
2. Блок визначення маркерів: маркери визначаються номерами від 0 до 9, з

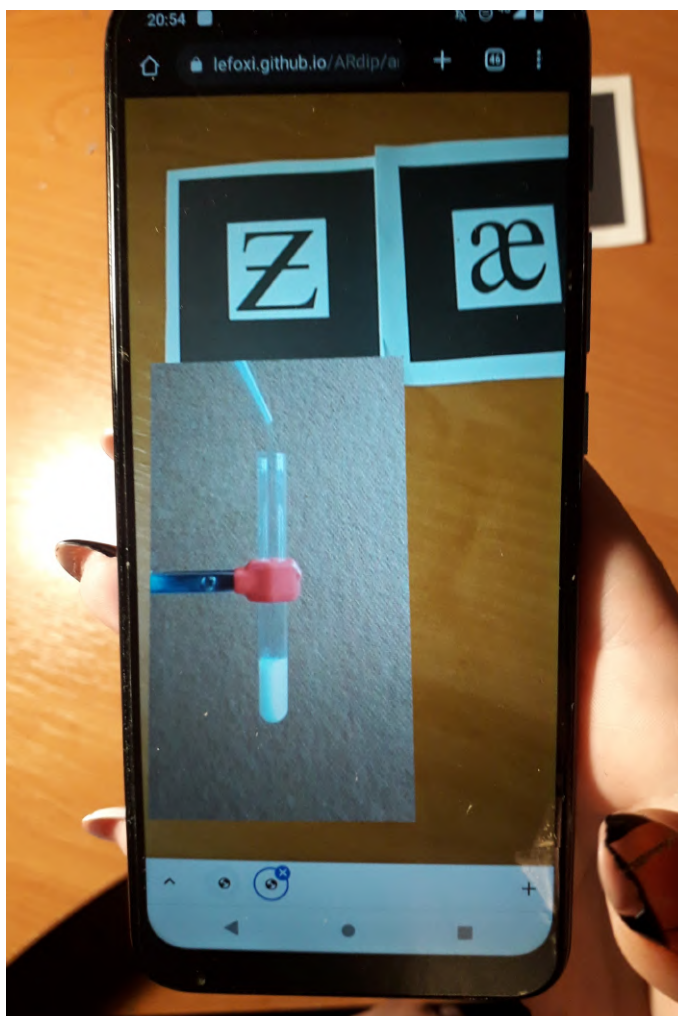


Рис. 2.31: Віртуальна хімічна лабораторія у доповненій реальності [103].

кожним маркером пов'язані зображення та відео, які відображаються після виявлення маркера. Зображення, які накладаються на маркери після їх виявлення, визначаються як текстуровані площини з відповідними зображеннями. Для кожного маркера створюються площини з відео відповідно до визначеної схеми комбінацій маркерів. Кожна площина має параметри текстури, розмірів, позиції, масштабу та повороту, а також ідентифікатор для ідентифікації об'єкту.

3. Розміщення камери на сцені.
4. Звернення до компоненту `gui`, визначеному в основній програмі.

Програмний код віртуальної лабораторії, яка взаємодіє з фізичними маркерами, відтворюючи відео та показуючи зображення в реальному часі, містив три основні блоки:

1. Визначення змінних: гранична відстань для початку реакції; прапорець, що показує, чи розпочалась реакція; поточна відстань між маркерами; масив станів видимості маркерів; масив для збереження маркерів; масив для збереження зображень, які накладаються на маркери; масив для збереження відео, які накладаються на маркери; масив координат центрів маркерів та прапорець, що вказує, чи відтворюється відеозапис реакції.
2. Реєстрація компоненту `registerevents` для відстеження подій, таких як виявлення та втрата маркера: при виявленні маркера відповідне зображення стає видимим, а при втраті – невидимим.
3. Реєстрація компоненту `gui`, що відповідає за управління сценою. В методі `init` визначаються масиви, які містять інформацію про маркери, зображення та відео. Метод `tick` постійно відстежує видимість та розташування маркерів. Він визначає, які маркери видимі, визначає їх відстань один від одного

та реагує на їх взаємодію. Якщо маркери дуже близько один до одного, відтворюється відеозапис реакції. Якщо маркери віддаляються, реакція завершується.

Створене у процесі виконання кваліфікаційної роботи програмне забезпечення розгорнуто на GitHub Pages за посиланням <https://lefoxi.github.io/ARdip>.

Другий напрям реалізації дослідницького підходу у навчанні розробленого курсу передбачав створення системи завдань, що спонукають студентів до пошукової та творчої активності:

1. Використовуючи face-арі в реалізації Владіміра Мандіча (<https://github.com/vladmandic/face-api>), створіть програму для розпізнавання віку та статі її користувача (рис. 2.32).

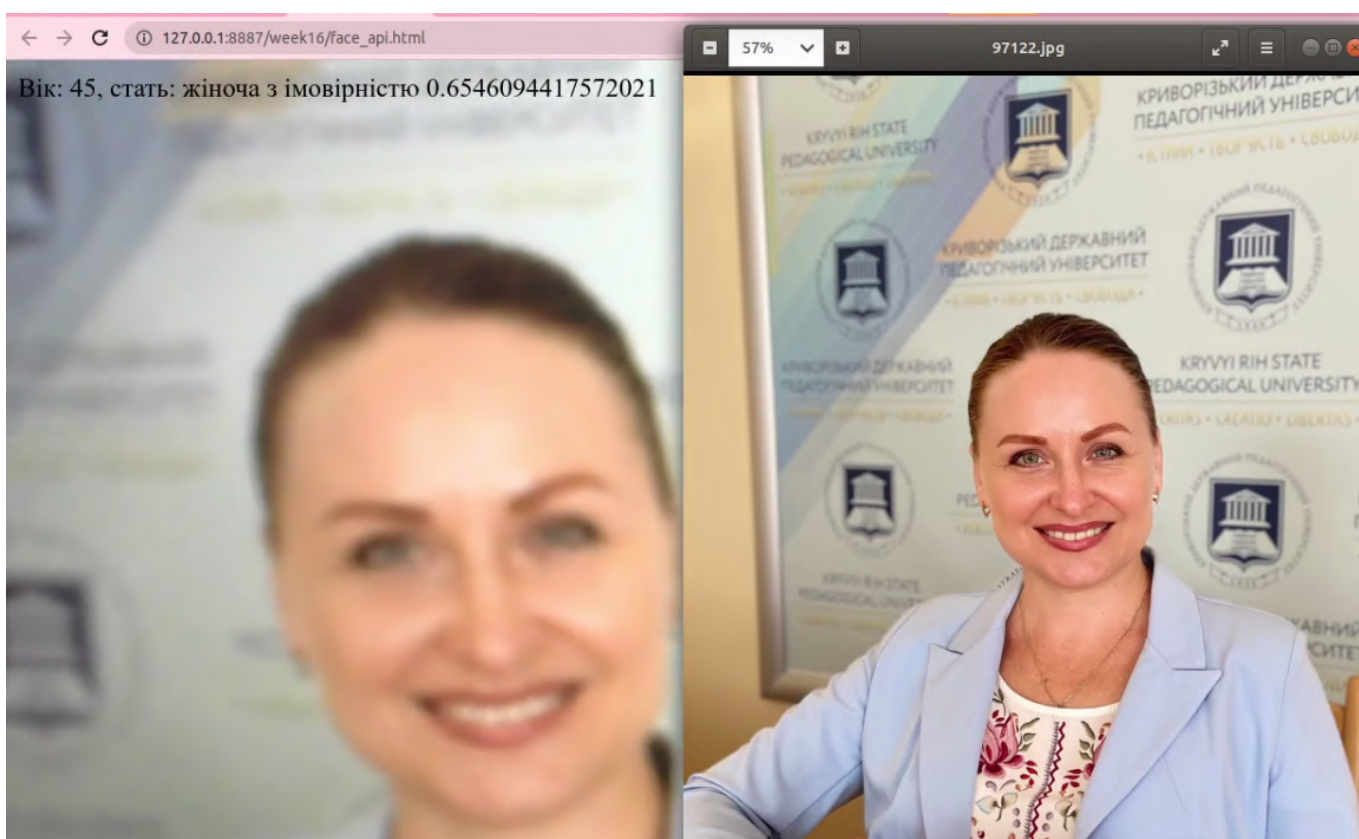


Рис. 2.32: Розпізнавання віку та статі.

2. Віртуальна примірка є одним із доцільних застосувань доповненої реальності, пов'язаної з відстеженням обличчя. У віртуальній примірочній користу-

вачі можуть вибирати і приміряти різні віртуальні аксесуари. Для створення власної приміркової необхідно, по-перше, завантажити різні аксесуари (знайдіть у Інтернет їх безкоштовні моделі або створіть власні), в ідеалі – однотипні, але можуть бути й різних типів, кожен із яких потребує власну точку для прикріплення на обличчі. Налаштування їх розмірів та позицій виконайте під власне обличчя. По-друге, необхідно створити певний інтерфейс для управління вибором. Так, можна просто показати всі аксесуари, якщо їх небагато, але за великої кількості доцільно надати можливість вибору спочатку типу аксесуару, а потім вже конкретного екземпляру. По-третє, необхідно надати можливість ділитись результатами примірки через Web Share API (рис. 2.33).



Рис. 2.33: Примірка аксесуарів.

3. Створіть візитівку, доповнену 3D-моделями, відео, аудіо, зображеннями та текстом, анімацією тощо. Головне – не показувати весь вміст відразу і робити його динамічним: необхідно також налаштувати взаємодію з елементами візитівки, передбачивши різну реакцію на подію натискання миші – запуск відео, відображення додаткової інформації, відкриття зовнішньої веб-сторінки тощо (рис. 2.34).

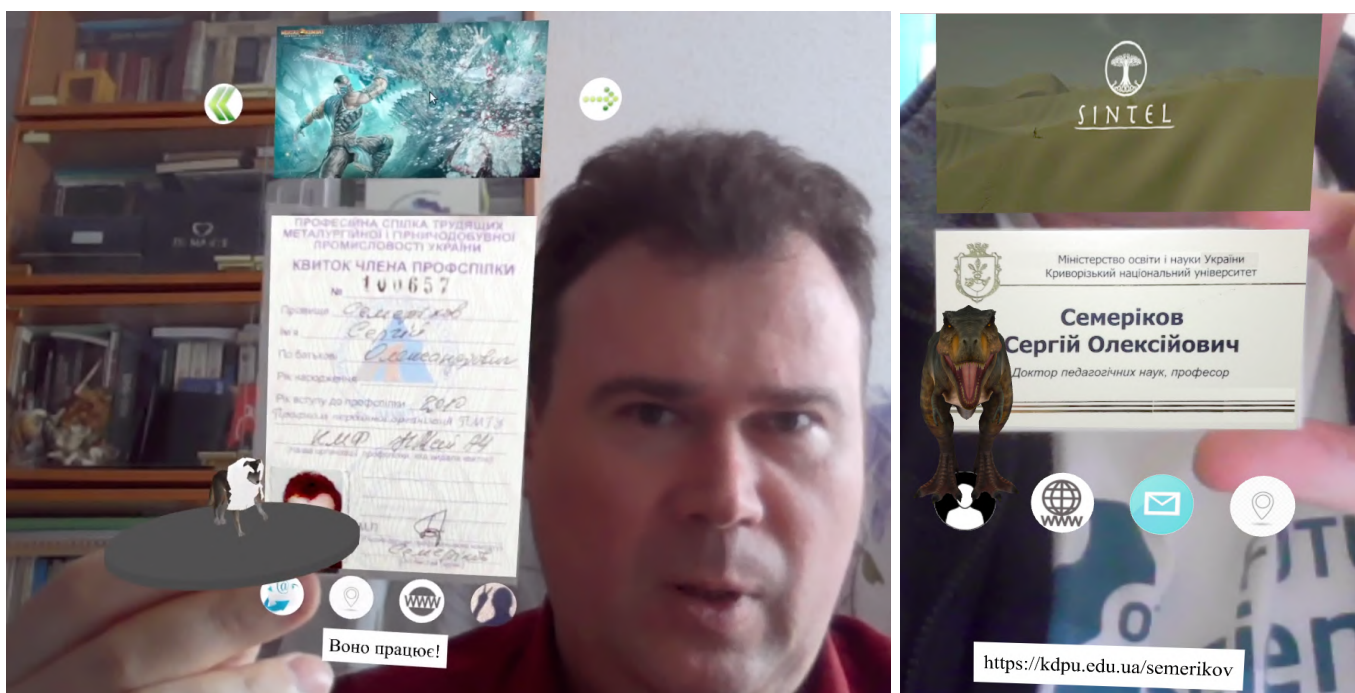


Рис. 2.34: Візитівки у доповненій реальності.

Наведені приклади також ілюструють ефективне використання інтерактивних технологій у підготовці майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності:

- використання віртуальної реальності для моделювання наукових експериментів застосовується у курсі з найпершого прикладу – побудови моделі Сонячної системи у віртуальній реальності, до якої студенти можуть додати нові об'єкти, такі як коричневий карлик, та побачити кінець світу на власні очі: тут використання імерсивних технологій для проведення потенційно небезпечних або неможливих на поточному етапі розвитку технологій екс-

- периментів є доцільним та ефективним;
- використання доповненої реальності для візуалізації складних наукових концепцій, таких як молекулярна біологія або квантова фізика, допомагає студентам краще їх зрозуміти;
 - використання віртуальних онлайн-лабораторій для проведення експериментальних досліджень та збору даних надає студентам можливість проводити дослідження без необхідності доступу до лабораторного обладнання;
 - використання гейміфікації у навчальних проєктах із доповненою реальністю може зробити навчання складних тем STEM-дисциплін більш захоплюючим та інтерактивним.

Так, розроблена у кваліфікаційній роботі М. В. Фокі “Методика навчання розробки доповненої реальності для Web із інтегрованими моделями машинного навчання” [199] методика інтеграції моделей машинного навчання у WebAR додатки передбачає опанування трьох основних кроків [199, с. 755]:

- 1) перший крок – *інтеграція стандартних моделей* – передбачає ознайомлення із попередньо навченими моделями TensorFlow.js, що можуть бути застосовані у WebAR додатках. У кваліфікаційній роботі показано доцільність розгляду моделі handpose.js, що використовується для визначення кисті руки та її складових, продемонстровано основну проблему WebAR – суттєве падіння продуктивності при застосуванні моделі до кожного кадру, та запропоновано спосіб її розв’язання. У результаті першого кроку створюється WebAR додаток для жестового управління розміром та положенням віртуального об’єкта;
- 2) другий крок – *розробка користувацьких моделей* – передбачає створення та навчання власних моделей TensorFlow з використанням Teachable Machine,

яка надає можливість будувати моделі для розв'язання задач класифікації зображень, звуків та поз. Студентом адаптовано план-конспект уроку інформатики для учнів 6–8 класів, у ході якого формуються навички, необхідні для побудови власних моделей;

- 3) третій крок – *інтеграція користувацьких моделей* – виконується шляхом експорту побудованої за допомогою Teachable Machine моделі класифікації риб та модифікації WebAR додатку, розробленого на першому кроці: завантажується власна модель, визначається кількість категорій, що вона класифікуватиме, а об'єктом доповненої реальності стають відомості про кожну із категорій та ймовірності того, що зображення з веб-камери відноситься до них. Останнє надає можливість для обговорення питань помилок класифікації та їх залежності як від налаштування параметрів навчання моделі, так і способу подання тестових зображень WebAR додатку.

Робота М. В. Фокі [199] виросла із гейміфікованого практичного заняття з курсу, на якому вводиться та випробовується розв'язання однієї із задач машинного навчання – задачі класифікації на прикладі розпізнавання образів.

Існують набори інструментів (насамперед від Microsoft та Google), які значно полегшують її розв'язання. Так, окремим підрозділом Google – Google AI (<https://ai.google/>) – підтримується TensorFlow: відкрита програмна бібліотека для машинного навчання, призначена для розробки, навчання та використання нейронних мереж. TensorFlow підтримує різноманітні задачі машинного навчання, такі як розпізнавання образів, розпізнавання мови, рекомендаційні системи і машинний переклад. Бібліотека була створена командою Google Brain, засновниками якої були Джоффри Хінтон (Geoffrey Hinton), Йошуа Бенджо (Yoshua Bengio) та Янн ЛеКун (Yann LeCun) – три стовпи сучасного штучного інтелекту. Окремої

уваги заслуговує розробник Coursera – Ендрю Ин (Andrew Ng), яким розроблено найперший та найвідоміший курс з машинного навчання. Саме у процесі розробки свого курсу Ендрю Ин створив класи, покладені в основу TensorFlow.

У TensorFlow використовується концепція тензорів для подання даних, де під тензором розуміється n -вимірний масив, придатний для подання різних типів даних, включаючи зображення, текст і числа. TensorFlow підтримує різні мови програмування, такі як Python, C++ та JavaScript і є сумісною з різними операційними системами, такими як Linux, Windows і macOS.

Сам Google використовує TensorFlow для розпізнавання мови в своєму пошуковому русії Google Search, Facebook використовує TensorFlow для створення рекомендаційних систем, а NVIDIA – для розробки систем машинного перекладу.

Серед широкого спектру можливостей, які надає Google AI, розглянемо Google AI Experiments (<https://labs.google/> та <https://experiments.withgoogle.com/>) – набір найрізноманітнішого програмного забезпечення, що демонструє переваги використання TensorFlow.

Заняття розпочинається із знайомства із **Teachable Machine** – веб-засобом (<https://teachablemachine.withgoogle.com/>, рис. 2.35), який робить створення моделей машинного навчання швидким, простим і доступним навіть для тих, хто не має досвіду в програмуванні. Цей засіб дозволяє навчати моделі розпізнавати зображення, звуки та пози.

Для використання Teachable Machine студентам пропонується створити новий або застосувати існуючий обліковий запис Google, після чого вони можуть обрати тип моделі, яку вони бажають створити. Доступні три типи моделей:

- модель розпізнавання зображень дозволяє ідентифікувати об'єкти на фотографіях;

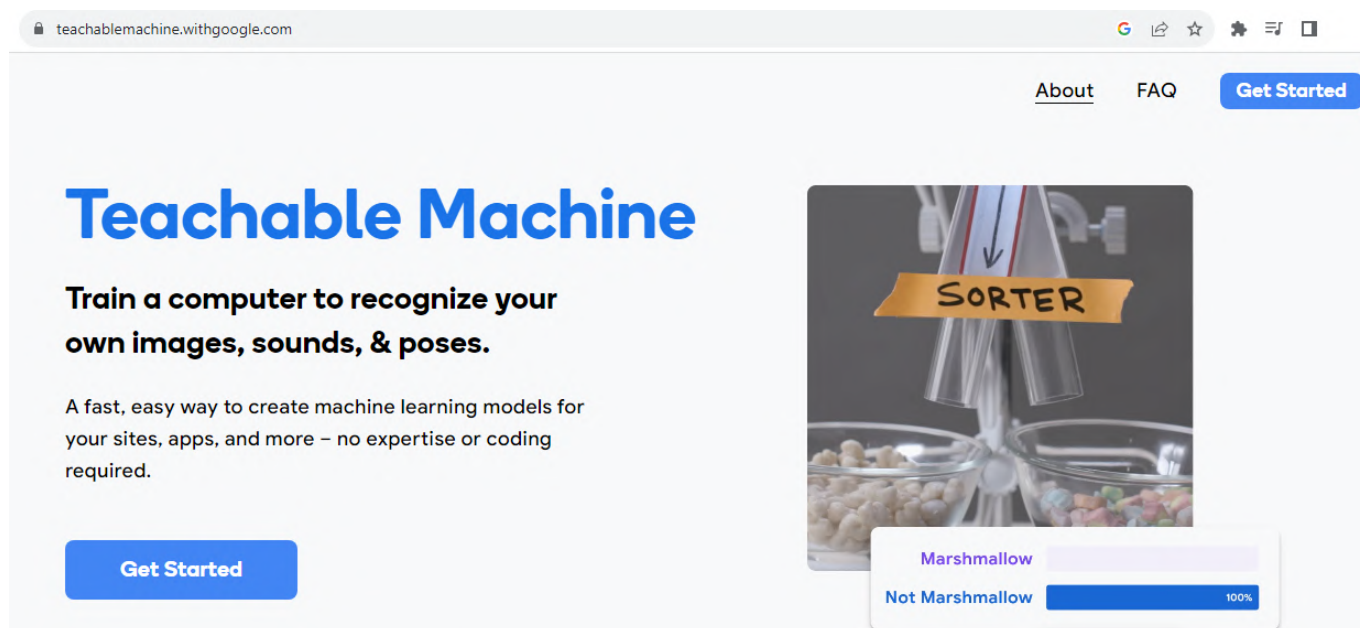


Рис. 2.35: Teachable Machine.

- модель розпізнавання звуків дозволяє розпізнавати аудіозаписи;
- модель розпізнавання поз дозволяє розпізнавати рухи тіла.

Після вибору типу моделі необхідно надати дані для її навчання у формі фотографій, аудіозаписів або відео. Після надання даних, Teachable Machine розпочне навчання моделі, що може зайняти певний час, залежно від обсягу та складності навчання. Після навчання моделі її доцільно перевірити на правильність розпізнавання даних. Якщо модель виявиться недостатньо точною, можна надати додаткові дані для її покращення. Після успішного навчання та перевірки моделі її можна експортувати для використання в інших проектах.

Завдяки широкому функціоналу Teachable Machine ми можемо розпізнавати звуки, пози, обличчя чи будь-які зображення. Але для початку її застосування необхідно зробити заготовку фотографій та аудіозаписів для подальших експериментів, потім виконати навчання обраної моделі та застосувати її безпосередньо у веб-середовищі.

Натискаючи кнопку Get Started на головній сторінці, переходимо в нове

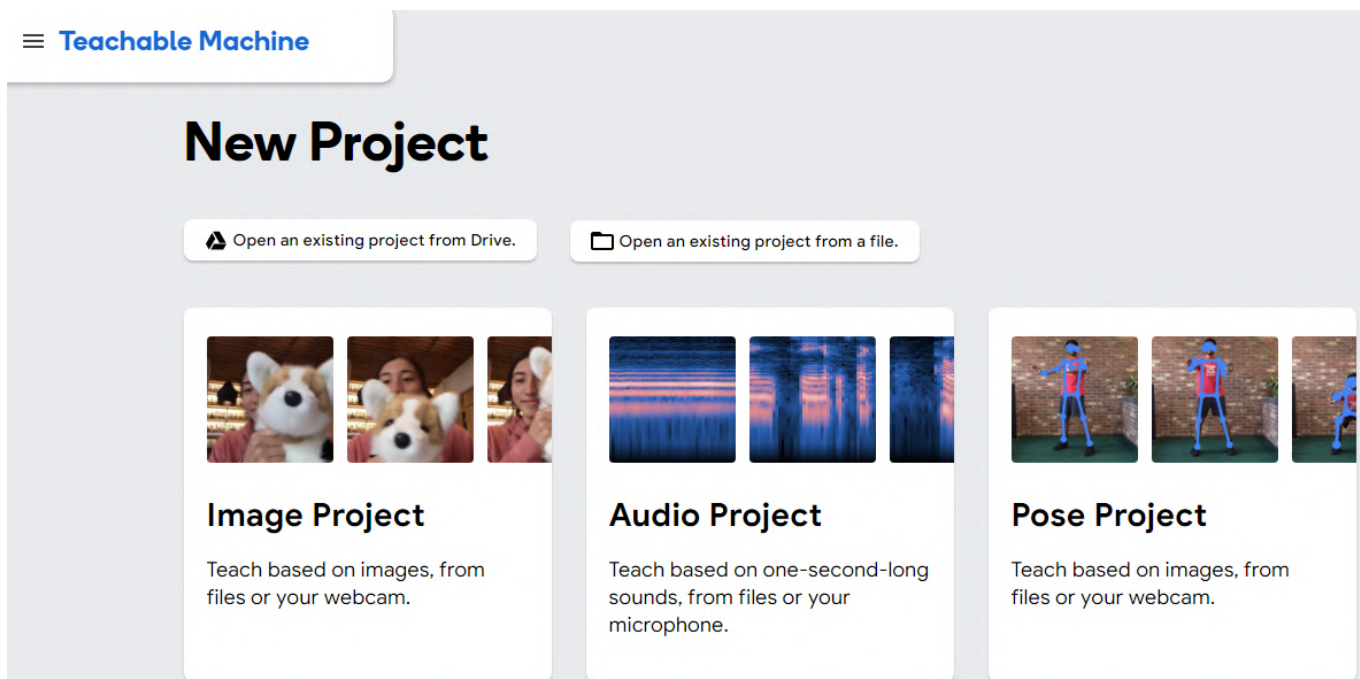


Рис. 2.36: Вибір типу проєкту.

вікно, в якому пропонується скористатись шаблоном проєкту або створити власний (рис. 2.36).

Створюючи власний проєкт, маємо обрати, яку модель будемо використовувати. Зупиняємо свій вибір на Image Project та натискаємо Standard image model (рис. 2.37). В якості джерела зображень пропонуємо студентам застосувати власні веб-камери та виконати серію знімків голови з різними ракурсами (кутами нахи-

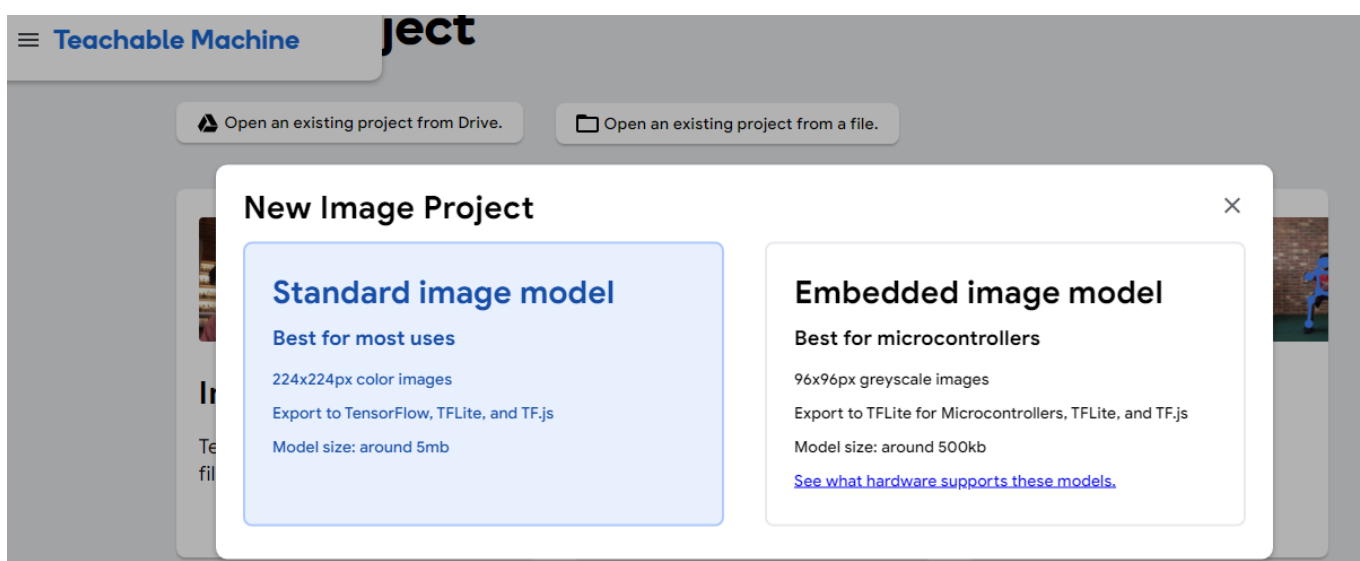


Рис. 2.37: Вибір типу моделі.

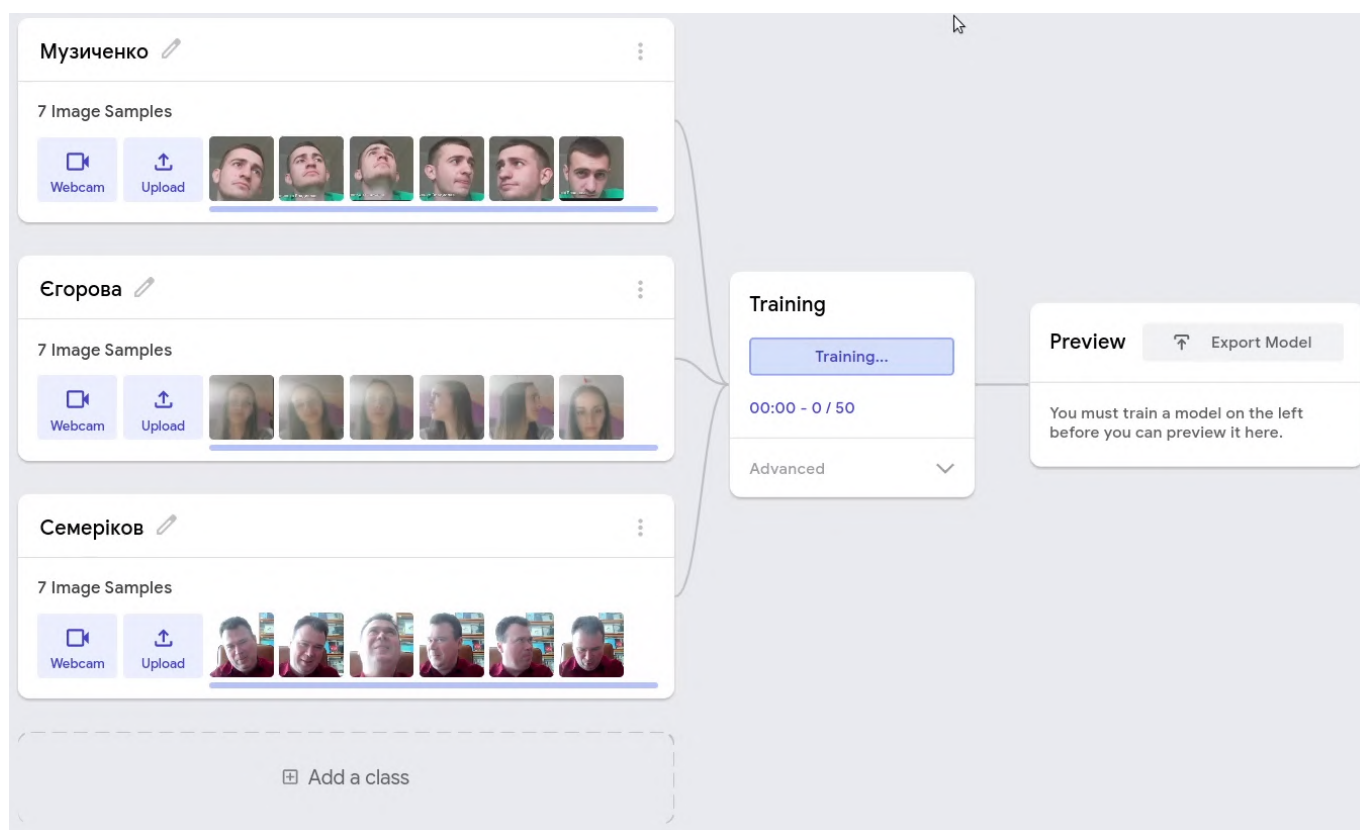


Рис. 2.38: Розподіл зображень по класах.

лу та повороту), які збережемо у заздалегідь заготовлений каталог. Візьмемо кілька різних зображень від кожного учасника експерименту та розділимо на класи, зазначивши відповідні прізвища (рис. 2.38).

Для кожного класу зображень є ймовірність того, що певне зображення належить саме до цього класу. Пропонуємо студентам налаштувати додаткові параметри навчання, такі як кількість ітерацій та швидкість навчання моделі.

Далі переходимо власне до навчання моделі – на цьому етапі усі зображення переводяться у відповідні числові тензори. Останній крок – експериментуємо, обираючи зображення різних людей (не лише учасників експерименту) та обговорюючи результати розпізнавання.

При завершенні заняття підкреслюємо важливий вплив компанії Google на галузь штучного інтелекту та машинного навчання на сучасний технологічний ландшафт.

The image displays two identical screenshots of a machine learning application interface, illustrating the results of a training process. The interface is organized into several key sections:

- Class Galleries:** Three horizontal panels, each representing a class:
 - Музиченко:** Contains 7 image samples of a man's face.
 - Єгорова:** Contains 7 image samples of a woman's face.
 - Семеріков:** Contains 7 image samples of a man's face.
- Training Panel:** A central panel labeled "Training" with a "Model Trained" button and an "Advanced" dropdown menu.
- Input Section:** Located on the right, it includes an "Input" toggle (ON), a "File" dropdown, and two buttons: "Choose images from your files, or drag & drop here" and "Import images from Google Drive".
- Output Section:** Located on the right, it shows a large image of the selected class (Dwayne "The Rock" Johnson in the top screenshot and Harley Quinn in the bottom screenshot) and a progress bar for each class:
 - Музи...:** 90% (orange bar)
 - Єгор...:** (pink bar)
 - Семе...:** (purple bar)
- Bottom Panel:** A dashed box containing the text "Add a class".

Рис. 2.39: Результати роботи моделі розпізнавання зображень.

2.4. Набуття практичного досвіду застосування технологій доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін

Технологія доповненої реальності, що стала відомою широким колам населення не так давно, вже багато років знаходиться під пильною увагою аналітиків компанії Gartner. Станом на липень 2019 року у Gartner Hype Cycle for Customer Service and Support Technologies доповнена реальність знаходилась на піку надочікувань, проте вже 2020 року вона зникає з Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies через досягнення високого рівня зрілості [57]. Станом на липень 2023 року доповнена реальність (під більш загальною назвою “імерсивні технології” – Immersive Technology) є складовою Hype Cycle for Higher Education. За оцінками аналітиків Гартнер, їй знадобиться від 5 до 10 років для виходу на плато продуктивності, коли *нова технологія в освіті* стає усталеною (рис. 2.40).

Виходячи з наявного досвіду використання імерсивних технологій – віртуальної та доповненої реальності – в освіті та перспектив їх масового використання у найближчі 5-10 років, нами було вирішено дослідити проблему підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до використання цих інноваційних технологій у професійній діяльності – адже вже через кілька років сьгоднішні студенти повинні будуть спрямовувати цей процес. Розробка навчального курсу із проектування систем віртуальної та доповненої реальності для майбутніх викладачів STEM-дисциплін, адаптованого до вітчизняних користувачів та поточного рівня розвитку технологій, стала необхідним кроком для набуття ними практичного досвіду застосування технологій доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін.

У контексті дослідження доповнена реальність розуміється насамперед як

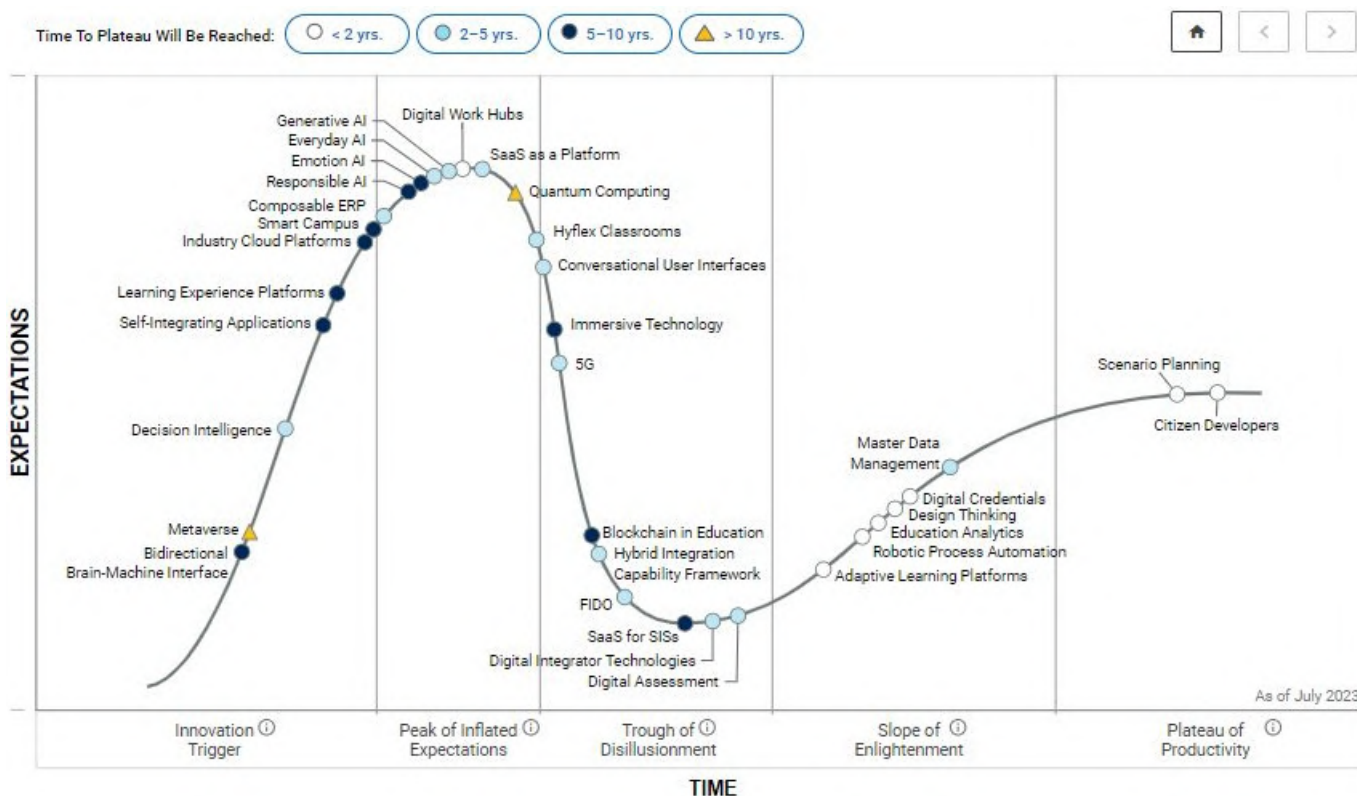


Рис. 2.40: Цикл надчкіувань Gartner для вищої освіти (https://www.linkedin.com/posts/gracefarrell_the-hype-cycle-for-higher-education-2023-activity-7090381657559433216-NMAs).

синтетичне середовище – різновид віртуального середовища, у якому реальні об’єкти доповнюються їх комп’ютерними моделями. Це визначає такі професійні вимоги до розробників засобів доповненої реальності, як володіння технологіями: комп’ютерного моделювання, комп’ютерного програмування, комп’ютерної графіки та комп’ютерної ергономіки.

У процесі дослідження було з’ясовано, що на сучасному етапі розвитку інформаційних технологій провідними засобами реалізації доповненої реальності є мобільні Інтернет-пристрої – мультимедійні мобільні пристрої, що надають бездротовий доступ до інформаційно-комунікаційних Інтернет-послуг зі збирання, систематизації, зберігання, опрацювання, передавання, подання всеможливих повідомлень і даних.

Використання імерсивних технологій у навчанні STEM-дисциплін:

- розширює можливості лабораторних установок, що використовуються для підготовки студентів до роботи із реальними системами;
- робить доступними системи високої складності та вартості, які традиційно були доступні лише фахівцям;
- надає лабораторним тренажерам інтерфейси із доповненою реальністю, що сприяє покращенню професійної підготовки;
- мотивує студентів до експериментальної та навчально-дослідницької роботи.

Набуття практичного досвіду застосування технологій доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін можливе за трьома основними напрямками:

- 1) використання готових програмних засобів;
- 2) використання програм-оболонок для зв'язування маркерів із розробленими користувачем моделями;
- 3) розробка імерсивних цифрових освітніх ресурсів – програмних засобів віртуальної та доповненої реальності навчального призначення.

За першого та другого напрямів не вимагаються навички програмування, проте при цьому суттєво обмежується функціональність засобів із одночасним прив'язуванням до окремих фірмових рішень, що можуть стати недоступними для освітніх застосувань через комерціалізацію або виведення з експлуатації, як це сталося із Augasma. За третього вимагається попереднє опанування засобів обраної платформи, проте при цьому суттєво підвищується функціональність та адаптивність розроблених засобів.

Перший етап дослідно-експериментальної роботи (2019 р. – початок 2020 р.) передбачав створення та апробацію змісту навчання курсу “Інноваційні цифрові технології в освіті” для майбутніх викладачів STEM-дисциплін, спрямованого на

набуття ними здатності розробляти і використовувати імерсивні освітні ресурси за допомогою стаціонарних комп'ютерів та переносних веб-камер (надалі – перша версія курсу). Метою цього етапу було створення педагогічної реальності, що відповідає меті дослідження, та аналіз якої надав би можливість визначити програму дослідження.

До експериментального навчання за першою версією курсу, що тривало з 20.02.2019 по 20.01.2020, було залучено 80 студентів: групи ПОКТ-18м і ПО-16 факультету інформаційних технологій Криворізького національного університету та групи МІм-14 та ФІм-14 фізико-математичного факультету Криворізького державного педагогічного університету.

Серед учасників експерименту було проведено опитування (на початку курсу та після його закінчення) щодо їх готовності та здатності розробляти і використовувати імерсивні освітні ресурси (рис. 2.41, 2.42).

Рівні готовності та здатності розробляти та використовувати імерсивні освітні ресурси (ІОР), подані у табл. 2.1, були визначені на основі розробленої О. М. Спіріними [152] системи індикаторів. На рівні *несформованості* студент не має базових знань про ІОР і не здатен їх використовувати – він може навіть не знати про існування ІОР або вважати, що вони не є ефективними для навчання. На *початковому* рівні студент має базові знання про ІОР і може використовувати їх для розв'язання простих задач – наприклад, для демонстрації тривимірних об'єктів. На *мінімально-базовому* рівні студент має глибші знання про ІОР і може самостійно використовувати їх для розв'язання типових задач – наприклад, для проведення симуляцій. На *підвищеному* рівні студент має знання про сучасні тенденції розвитку імерсивних технологій і може самостійно розробляти ІОР. На *дослідницькому* рівні студент має знання про передові технології розробки ІОР і може са-

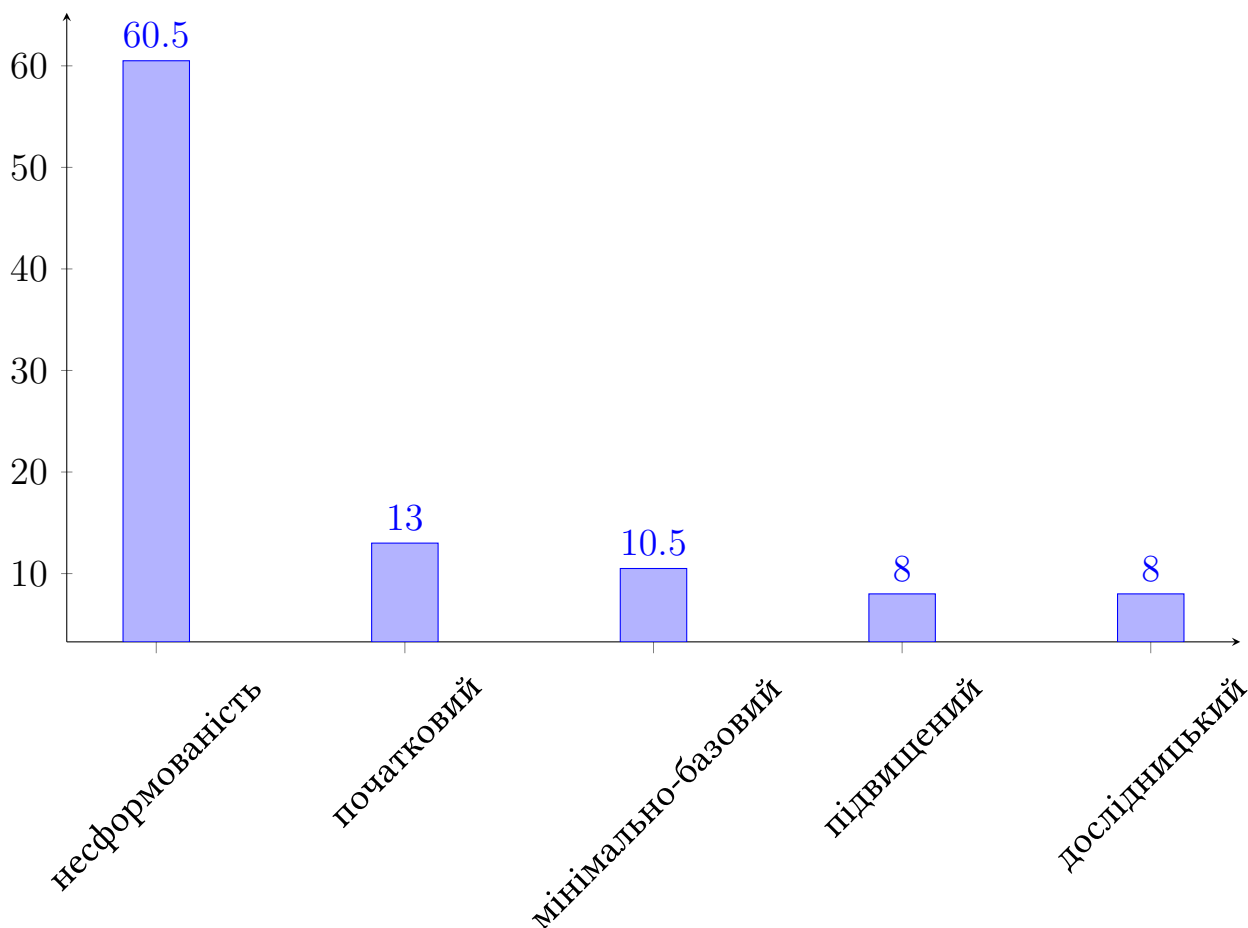


Рис. 2.41: Рівні готовності та здатності розробляти і використовувати імерсивні освітні ресурси (початковий етап, %).

можливо проводити дослідження в галузі ІОР – наприклад, розробляти нові методи створення ІОР або вивчати вплив ІОР на навчання.

Другий етап дослідно-експериментальної роботи (початок 2020 р. – початок 2022 р.) був присвячений опрацюванню результатів експерименту, проведеного на першому етапі, та створенню другої версії курсу.

Через рік після завершення експериментального навчання студентів Криворізького державного педагогічного університету (травень 2020 р.) було проведено телефонне опитування для отримання зворотного зв'язку щодо вражень учасників. Дані дослідження були зібрані за допомогою техніки інтерв'ю в рамках якісного методу збору даних. У опитуванні взяли участь 23 учасники. Варто зазначити, що на момент проведення інтерв'ю всі вони були вже не студентами, а

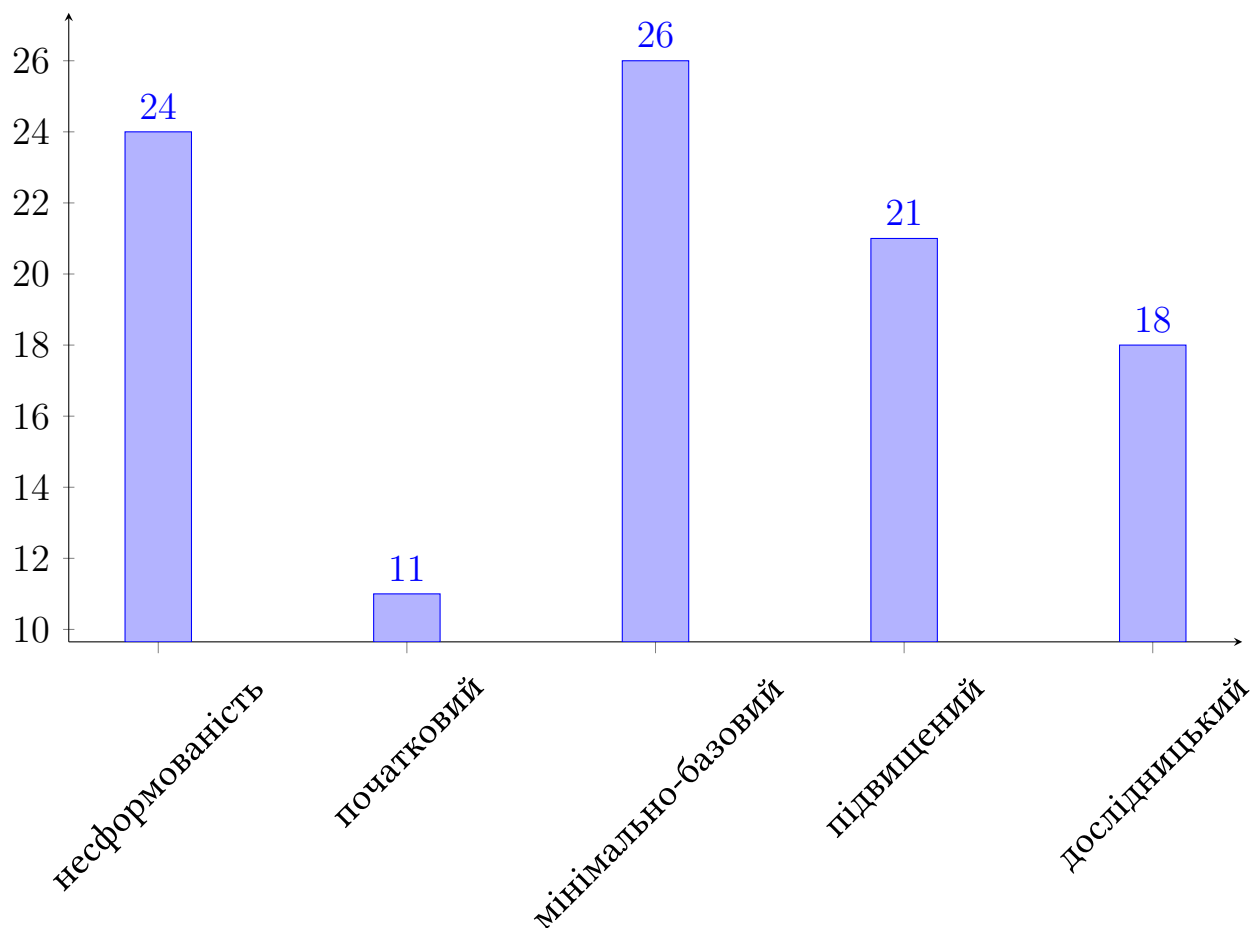


Рис. 2.42: Рівні готовності та здатності розробляти та використовувати імерсивні освітні ресурси (завершальний етап, %).

викладачами STEM-дисциплін, що дозволяє зробити висновок про незалежність отриманих відповідей. Гендерний розподіл респондентів: троє чоловіків та двадцять жінок.

Питання інтерв'ю:

1. Чи мали Ви досвід роботи з доповненою реальністю до вивчення курсу?
2. Що було найцікавіше дізнатися на курсі?
3. Чи хотіли б Ви покращити свої знання з доповненої реальності?
4. Чи використовуєте Ви доповнену реальність у своїй професійній діяльності?
5. Що б Ви запропонували змінити, щоб зробити курс більш ефективним?

Для аналізу даних інтерв'ю було використано метод контент-аналізу, який

Табл. 2.1: Критерії, рівні та показники готовності та здатності розробляти та використовувати імерсивні освітні ресурси.

Рівні	Критерії		
	Знання	Уміння	Ставлення
несформованість	не має базових знань про ІОР	не здатний використовувати ІОР	не проявляє ініціативи щодо використання ІОР
початковий	знає основні поняття та терміни, пов'язані з ІОР	може використовувати ІОР для розв'язання простих задач	використовує ІОР за інструкціями
мінімально-базовий	знає основи теорії ІОР	може самостійно використовувати ІОР для розв'язання типових задач	використовує ІОР для реалізації навчальних завдань
підвищений	знає про сучасні тенденції розвитку ІОР	може самостійно розробляти ІОР	використовує ІОР для інноваційної освітньої діяльності
дослідницький	знає про передові технології розробки ІОР	може самостійно проводити дослідження в галузі ІОР	використовує ІОР для навчально-дослідницької діяльності

включав в себе редагування, структурування та інтерпретацію зібраних даних.

1. Чи мали ви досвід роботи з доповненою реальністю до вивчення курсу?

Для відповіді на поставлене питання були запропоновані такі варіанти:

- Так, сам розробляв додатки.
- Так, використовував навчальні додатки.
- Так, використовував у повсякденному житті (реклама, розваги тощо).
- Ні, не використовував.

У результаті лише 4 респонденти використовували раніше доповнену реальність і лише в повсякденному житті, решта 19 до курсу не мали жодного уявлення про неї (рис. 2.43).

2. Що було найцікавіше дізнатися?

Зміст 100 відсотків відповідей респондентів стосувався або процесу розроб-

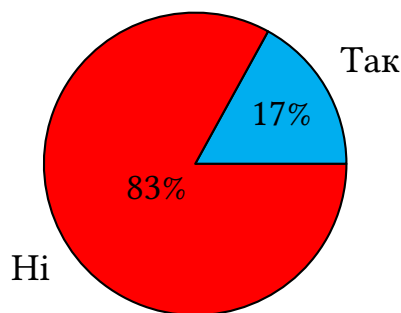


Рис. 2.43: Відповіді на запитання “Чи мали Ви досвід роботи з доповненою реальністю до вивчення курсу?”.

ки, або результату розробки додатків, або практичного застосування цих додатків. Всі отримані відповіді: розробка додатків; процес оживлення зображень; перетворення 2D зображень у 3D; 3D моделювання; практичне застосування; візуалізація. Найбільш вражаючою відповіддю була “Результати перевершують всі очікування”.

3. Чи хотіли б Ви покращити свої знання з доповненої реальності?

На це питання 2 респонденти дали негативну відповідь, 1 було важко відповісти, 15 відповіли ствердно, а 5 сказали, що вже покращили свої знання. На рис. 2.44 показано розподіл відповідей у відсотках.

4. Чи використовуєте Ви доповнену реальність у своїй професійній діяльності?

Отримані відповіді (рис. 2.45):

- Вже використовую.
- Збираюся використовувати.
- Думаю, що буду використовувати.
- Ні, не використовую.

Респонденти визначили сфери використання доповненої реальності, такі як майстер-клас з використання доповненої реальності для шкільних вчителів, при вивченні програмування зі старшокласниками, при вивченні математики або фі-

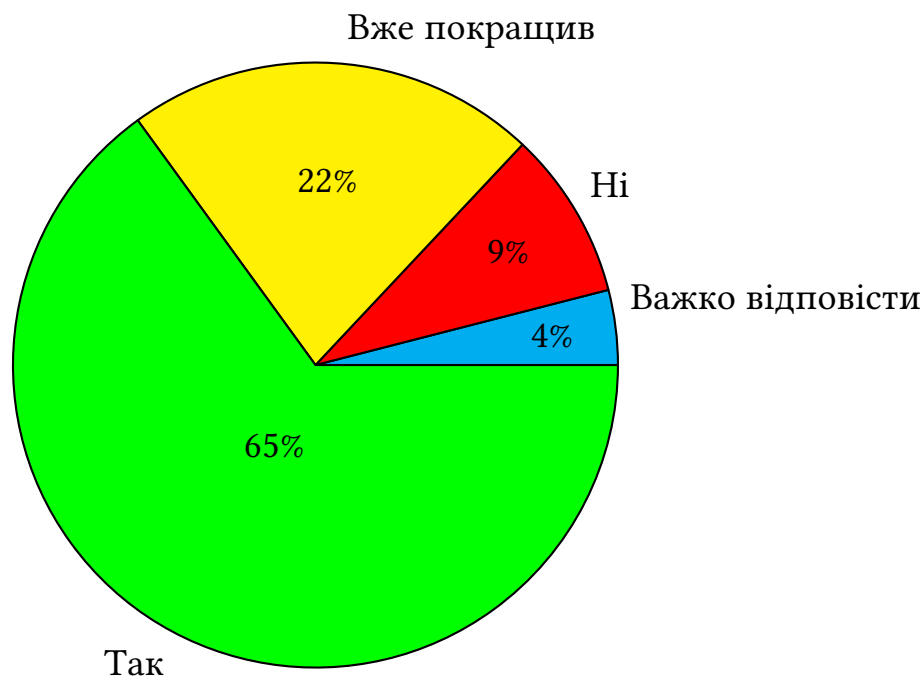


Рис. 2.44: Відповіді на запитання “Чи хотіли б Ви покращити свої знання?”.

зики в спеціалізованих класах.

Один респондент одразу після завершення курсу використав набуті знання та уміння під час підготовки до державного іспиту. Одним із питань на іспиті було “Демонстрація фрагмента нестандартного уроку”. Тема уроку була “Створення логотипів. Бренд-гайд. Брендбук”. Студент за допомогою самостійно розроблених маркерів у середовищі VliprAR з’єднав логотип пошуку Google (рис. 2.46) з URL-посиланням на форму Google.

Далі учні мали об’єднатися в групи, обравши один із запропонованих логотипів. Групи отримали назви “Історики”, “Юристи”, “Дизайнери” та “Психологи”. Коди доступу до маркерів AR були 1150544, 1150549, 1150567 та 1150546 відповідно (рис. 2.47, 2.48).

5. Що б Ви запропонували змінити, щоб зробити курс більш ефективним?

Відповіді, які ми отримали:

- зменшити обсяг самостійної роботи.

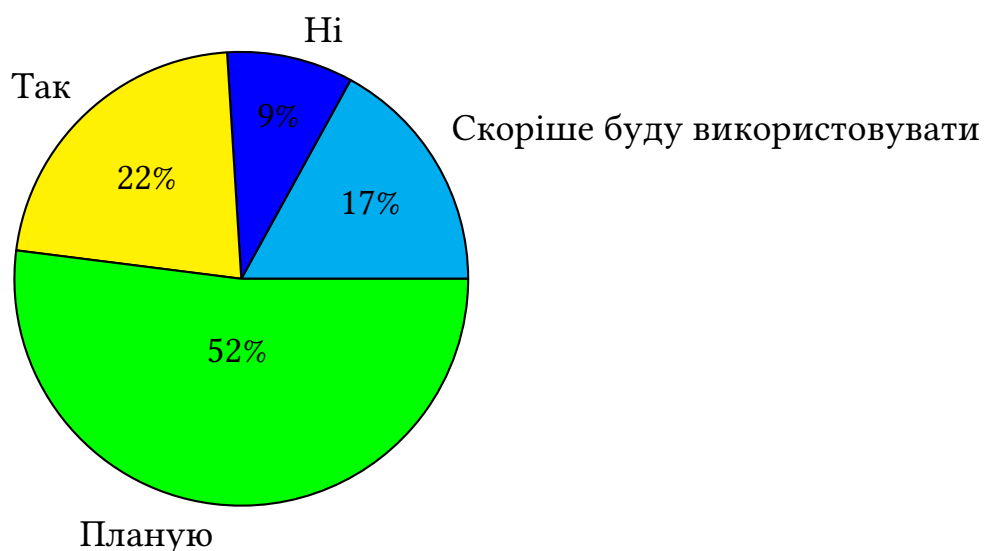


Рис. 2.45: Відповіді на запитання “Чи використовуєте Ви доповнену реальність у своїй професійній діяльності?”.



Рис. 2.46: Логотип Google як маркер доповненої реальності.

- збільшити обсяг аудиторних годин (лекції, лабораторні, консультації).
- продовжити курс на 2 семестри.
- деталізувати методичні рекомендації.
- збільшити кількість практичних завдань, пов'язаних зі STEM-дисциплінами.

Щоб отримати повне уявлення про враження студентів від курсу, необхідно точно відтворити відповіді деяких студентів:

“До курсу я поняття не мав, що таке доповнена реальність. Нам сподобався і процес, і результат. А результат перевершив усі очікування. Організація курсу була чудовою. Подання матеріалу на лекціях було доступним і дозованим, завдання на лабораторних заняттях зрозумілими і мали практичне значення.”



Рис. 2.47: Маркери доповненої реальності груп “Історики” та “Юристи”.



Рис. 2.48: Маркери доповненої реальності груп “Дизайнери” та “Психологи”.

“Використовую і планую використовувати отримані знання в майбутньому, адже доповнена реальність не тільки популярна, але й підвищує рівень розуміння матеріалу, а головне – допомагає зацікавити студента!”

Результати експерименту надали можливість зробити висновок про ефективність розроблених педагогічних умов, а відгуки студентів – покращити зміст курсу (додаток Б). Проте необхідність створення другої версії курсу була пов’язана не лише з цим: головним рушієм змін стала пандемія COVID-19 (березень 2020 р.), через яку студенти втратили доступ до обладнання в університеті, тому основну увагу було приділено переходу від стаціонарних засобів доповненої реальності до мобільних, доступних студентам у віддаленому режимі.

Для забезпечення потреб студентів, що навчались у дистанційному режимі, в розміщенні створених ними ІОР, були налаштовані 2 сервери типу “ігрова

площадка”. За посиланнями у Internet Archive доступні їх образи:

- <http://web.archive.org/web/20201230060749/http://playground.ccjournals.eu/> – 14 знеособлених студентів факультету інформаційних технологій Криворізького національного університету;
- <http://web.archive.org/web/20201230014110/https://playground2.ccjournals.eu/> – 19 студентів груп ПОКТ-18 та ПОЦТ-20м-прх факультету інформаційних технологій Криворізького національного університету;
- <http://web.archive.org/web/20220120155852/https://playground2.ccjournals.eu/> – 68 студентів груп Ім-16, МІм-16, ФІм-16 фізико-математичного факультету, ХІм-16 природничого факультету, ТОАм-16 факультету дошкільної та технологічної освіти Криворізького державного педагогічного університету.

Третій етап дослідно-експериментальної роботи (початок 2022 р. – червень 2023 р.) був присвячений досягненню мети дослідження – виокремленню та експериментальній перевірці педагогічних умов підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності.

Набутий на перших двох етапах дослідно-експериментальної роботи досвід створення, розвитку та реалізації двох версій курсу (допандемійної, що була зорієнтована на використання стаціонарних пристроїв, та пандемійної, що була зорієнтована на використання мобільних Інтернет-пристроїв) надав можливість провести ретроспективний аналіз суттєвих обставин реалізації освітнього процесу (матеріальних умов, методів, форм, реальних ситуацій тощо), які об’єктивно склалися та були спеціально створені для досягнення мети навчання – педагогічних умов (липень-серпень 2022 р.).

Виокремлення педагогічних умов надало можливість внести акцентовані

зміни до змісту та засобів навчання курсу “Інноваційній цифрові технології в освіті” (третя версія курсу, реалізована протягом 2022-2023 навчального року). Найбільш суттєві зміни, пов’язані із переходом до ситуативного навчання в умовах воєнного стану, були у підвищенні рівня автономії студентів у частині розміщення створених ними ІОР на хмарному сервісі GitHub замість університетського серверу. Останнє виявилось новою суттєвою обставиною, що надала можливість запобігти перервам у освітньому процесі через недоступність серверів університету, пов’язаних із атаками на енергетичну інфраструктуру країни.

Головне обмеження дослідження полягає у тому, що експериментальна робота на другому та третьому етапах через пандемію COVID-19 та війну в Україні виконувалась у суттєво відмінних умовах, тому нові результати (зокрема, результати навчання за курсом) не є порівнюваними з отриманими на першому етапі:

- 1) умови проведення експерименту суттєво змінилися - запровадження спочатку екстремного дистанційного навчання, а надалі масове переміщення студентів із небезпечних областей та зони воєнних дій унеможливили продовження експерименту за тією ж методикою;
- 2) учасники експерименту опинилися в екстремальних умовах війни, що могло вплинути на результати дослідження, через що неможливо було забезпечити однакові умови для експериментальних і контрольних груп;
- 3) пріоритети в освіті змістилися в бік виживання та адаптації до нових умов, а доступ до технологій та обладнання для доповненої реальності, наявних в університеті, був суттєво ускладнений або неможливий.

Висновки до 2 розділу

У ході розв'язання третього та четвертого завдань дослідження, пов'язаних із реалізацією розроблених педагогічних умов підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності, були отримані наступні результати та висновки:

1. Визначено, що перша педагогічна умова (забезпечення доступності мобільних апаратних засобів доповненої реальності та імерсивних цифрових освітніх ресурсів майбутнім викладачам STEM-дисциплін) реалізується в повному обсязі лише щодо мобільних апаратних засобів для доповненої реальності. Недостатній рівень доступності імерсивних цифрових освітніх ресурсів для майбутніх викладачів STEM-дисциплін зумовлює необхідність їх залучення до розробки таких ресурсів, що є стимулом для їх професійного розвитку.
2. Для реалізації другої педагогічної умови (уведення до змісту підготовки питань, пов'язаних із використанням доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін) було розроблено окремі елементи методики навчання майбутніх викладачів STEM-дисциплін створення імерсивних освітніх ресурсів: цільовий (навчитися створювати програми із доповненою реальністю, орієнтовані на традиційні та мобільні веб-браузери) та змістовий компоненти. Останній реалізовано як навчальний посібник та електронний навчальний курс для майбутніх викладачів STEM-дисциплін із проектування цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю (режим доступу: <https://moodle.kdpu.edu.ua/course/view.php?id=753>).
3. Реалізація третьої педагогічної умови (застосування дослідницького підходу та інтерактивних технологій у процесі підготовки майбутніх виклада-

чів STEM-дисциплін) виконувалась за двома напрямками: створення STEM-проектів із доповненою реальністю у межах конкурсних, курсових та кваліфікаційних робіт (розробка віртуальних лабораторій для навчання STEM-дисциплін) і створення системи завдань, що спонукають студентів до пошукової та творчої активності й ілюструють ефективне використання інтерактивних технологій:

- використання віртуальної реальності для моделювання експериментів, потенційно небезпечних або неможливих на поточному етапі розвитку технологій, є доцільним та ефективним;
- використання доповненої реальності для візуалізації складних наукових концепцій, таких як молекулярна біологія або квантова фізика, допомагає студентам краще їх зрозуміти;
- використання віртуальних онлайн-лабораторій для проведення експериментальних досліджень та збору даних надає студентам можливість проводити дослідження без необхідності доступу до лабораторного обладнання;
- використання гейміфікації у навчальних проєктах із доповненою реальністю може зробити навчання складних тем STEM-дисциплін більш захоплюючим та інтерактивним.

Останнє проілюстровано уведенням застосувань штучного інтелекту та машинного навчання – розв'язанням задачі розпізнавання образів.

4. Визначено, що реалізація четвертої педагогічної умови (набуття практичного досвіду застосування технологій доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін) можлива за трьома основними напрямками. За першого (використання готових програмних засобів) та другого (використання програм-

оболонок для зв'язування маркерів із розробленими користувачем моделями) напрямів не вимагаються навички програмування, проте при цьому суттєво обмежується функціональність засобів із одночасним прив'язуванням до окремих фірмових рішень, що можуть стати недоступними для освітніх застосувань через комерціалізацію або виведення з експлуатації. За третього (розробка імерсивних освітніх ресурсів – програмних засобів віртуальної та доповненої реальності навчального призначення) вимагається попереднє опанування засобів обраної платформи, проте при цьому суттєво підвищується функціональність та адаптивність розроблених засобів.

5. У процесі експериментальної роботи із розробки, упровадження та вдосконалення елементів методики навчання майбутніх викладачів STEM-дисциплін створення імерсивних освітніх ресурсів, що тривала з 2019 по 2023 рр., було створено три версії навчального курсу: перша (допандемійна, 2019–2020) була спрямована насамперед на аудиторну роботу студентів зі стаціонарним обладнанням, друга та третя (пандемійна та воєнна, 2021–2023) – на використання мобільних Інтернет-пристроїв. Цілеспрямований педагогічний експеримент, що проводився у допандемійний період (перша версія курсу), показав позитивну динаміку у зміні рівнів готовності та здатності майбутніх викладачів STEM-дисциплін розробляти та використовувати імерсивні освітні ресурси, а відтерміноване інтерв'ю із учасниками експерименту, які стали викладачами STEM-дисциплін, – те, що 74% респондентів вже використовують або планують використовувати доповнену реальність у своїй професійній діяльності.

Основні результати другого розділу представлено у публікаціях [93–96, 138, 140, 144, 145, 164, 193, 197].

ВИСНОВКИ

У ході розв'язання наукової проблеми підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності були отримані наступні *результати та висновки*:

1. Бібліометричний аналіз джерел в галузі STEM та підготовки викладачів дозволив ідентифікувати 21 ключове поняття, які були систематизовані у чотири кластери: “STEM-освіта та підготовка кадрів”, “Професійна підготовка вчителів та початкова освіта”, “Опитування щодо STEM-освіти” та “Електронне навчання та обчислювальне мислення у підготовці майбутніх викладачів STEM-дисциплін”. Систематичний аналіз надав можливість зробити такі висновки:
 - (а) STEM-освіта позитивно впливає на досягнення у природничих науках і математиці, але існує дефіцит фахівців у цих галузях;
 - (б) зниження інтересу до STEM-дисциплін є глобальною проблемою, яку можна вирішити за допомогою привабливих та доступних освітніх програм;
 - (в) нерівність у сфері STEM є глобальною проблемою, яку можна вирішити через створення STEM-лабораторій та підготовку вчителів з урахуванням гендерних аспектів;
 - (г) обчислювальне мислення є важливою складовою STEM-освіти і може бути впроваджене через семінари для вчителів, онлайн-курси та методичну підтримку.
 - (д) професійна підготовка та соціальний статус учителів є стратегічно важливими для STEM-освіти;

(е) зацікавлення у STEM-дисциплінах може бути підвищено за допомогою ІКТ, зокрема віртуальної реальності, робототехніки та AR/MR.

Отримані результати надають можливість запропонувати наступні рекомендації із поліпшення STEM-освіти: а) інтегрувати STEM-підхід у програми підготовки вчителів; б) розвивати проєктне мислення, цифрові та STEM-навички у вчителів та учнів; в) запроваджувати міждисциплінарні STEM-проєкти; г) використовувати активні та практико орієнтовані методи навчання; д) збільшувати доступність STEM-освіти для всіх учнів; е) створювати STEM-лабораторії у закладах загальної середньої освіти; ж) підвищувати соціальний статус викладачів STEM-дисциплін; з) запроваджувати засоби ІКТ у навчання STEM-дисциплін.

2. Педагогічні умови включають матеріальні, методичні, організаційні та інші фактори, що забезпечують ефективність підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до використання AR у своїй професійній діяльності. Опитування 94 респондентів, переважно викладачів STEM-дисциплін, що використовують AR, виявило наступні педагогічні умови:

- (а) забезпечення доступності мобільних апаратних засобів доповненої реальності та імерсивних цифрових освітніх ресурсів майбутнім викладачам STEM-дисциплін;
- (б) уведення до змісту підготовки питань, пов'язаних із використанням доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін;
- (в) застосування дослідницького підходу та інтерактивних технологій у процесі підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін;
- (г) набуття практичного досвіду застосування технологій доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін.

3. Було встановлено, що доступність мобільних пристроїв для доповненої реальності та імерсивних цифрових освітніх ресурсів для майбутніх викладачів STEM-дисциплін (перша педагогічна умова) забезпечується лише частково. Через обмежену кількість імерсивних цифрових освітніх ресурсів майбутні викладачі STEM-дисциплін повинні брати участь у їх розробці, що сприяє їх професійному розвитку.
4. Для впровадження питань, пов'язаних із застосуванням доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін (друга педагогічна умова), було розроблено окремі елементи методики навчання майбутніх викладачів STEM-дисциплін створення імерсивних освітніх ресурсів: цільовий (створювати програми із доповненою реальністю для традиційних та мобільних веб-браузерів) та змістовий (навчальний посібник та електронний навчальний курс для майбутніх викладачів STEM-дисциплін із проектування цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю) компоненти.
5. Застосування дослідницького підходу та інтерактивних технологій у процесі підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін (третя педагогічна умова) передбачало два напрями: створення STEM-проектів із доповненою реальністю у рамках навчальних та наукових робіт (віртуальних лабораторій для навчання STEM-дисциплін) та створення системи завдань, що сприяють пошуковій та творчій активності студентів й демонструють ефективне використання інтерактивних технологій:
 - (а) моделювання потенційно небезпечних або неможливих експериментів за допомогою віртуальної реальності є доцільним та ефективним;
 - (б) візуалізація складних наукових концепцій, таких як молекулярна біологія або квантова фізика, за допомогою доповненої реальності допо-

магає студентам краще їх засвоїти;

- (в) використання віртуальних онлайн-лабораторій для проведення експериментальних досліджень та збору даних надає студентам можливість проводити дослідження без доступу до лабораторного обладнання;
- (г) гейміфікація навчальних проєктів із доповненою реальністю робить навчання складних тем STEM-дисциплін більш захоплюючим та інтерактивним.

Останнє ілюструється застосуванням штучного інтелекту та машинного навчання – розв’язанням задачі розпізнавання образів.

6. Було визначено, що набуття практичного досвіду застосування технологій доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін (четверта педагогічна умова) можливе за трьома напрямками. Перший (використання готових програмних засобів) та другий (використання програм-оболонок для зв’язування маркерів із моделями) не потребують навичок програмування, але обмежують функціональність засобів і залежать від фірмових рішень. Третій (розробка імерсивних освітніх ресурсів – програмних засобів віртуальної та доповненої реальності) потребує опанування платформи, але підвищує функціональність та адаптивність засобів.
7. У процесі експериментальної роботи із розробки, упровадження та вдосконалення елементів методики навчання майбутніх викладачів STEM-дисциплін створення імерсивних освітніх ресурсів, що тривала з 2019 по 2023 рр., було створено три версії навчального курсу: перша (допандемійна, 2019–2020) була спрямована на аудиторну роботу студентів зі стаціонарним обладнанням, друга та третя (пандемійна та воєнна, 2020–2023) – на використання мобільних Інтернет-пристроїв. Цілеспрямований педагогічний експери-

мент, що проводився у допандемійний період (перша версія курсу), виявив позитивну динаміку у підготовці майбутніх викладачів STEM-дисциплін до використання імерсивних освітніх ресурсів, а відтерміноване інтерв'ю із учасниками експерименту, які стали викладачами STEM-дисциплін, – те, що 74% респондентів вже використовують або планують використовувати доповнену реальність у своїй професійній діяльності.

Проведене дослідження мало наступні обмеження:

1. Дослідження проводилося в Україні, тому його результати можуть не бути узагальненими на всі інші країни: так, неповнота реалізації першої педагогічної умови пов'язана із недостатністю саме україномовних імерсивних освітніх ресурсів. Водночас друга, третя та четверта педагогічні умови, як підтверджує виконаний систематичний огляд, є характерними для світового дискурсу.
2. Дослідження було обмежене наявністю обладнання та ресурсів: так, перша версія курсу була апробована на застарілому комп'ютерному обладнанні в умовах обмеження кількості одночасно застосовуваних веб-камер, у той час як друга та третя версії курсу використовували найрізноманітніше обладнання, доступне студентам.
3. Дослідження проводилося як експериментально-теоретичне: педагогічні умови було виокремлено та перевірено за результатами упровадження першої версії курсу, а їх теоретичне обґрунтування та співвіднесення зі світовим дискурсом було виконано у процесі розробки та реалізації наступних версій курсу.
4. У дослідженні зосереджено увагу на розробці педагогічних умов, тоді як методичні аспекти використання доповненої реальності у навчанні STEM-

дисциплін потребують додаткового вивчення: так, розроблено лише два компоненти методики навчання майбутніх викладачів STEM-дисциплін створення імерсивних освітніх ресурсів – цільовий та змістовий, у той час як технологічний компонент є лише окресленим.

5. Дослідження проводилося в умовах пандемії та війни, що призвело до певних обмежень у реалізації педагогічних умов: так, їх реалізація виконувалась в усіх версіях курсу, проте опитування та інтерв'ювання, спрямовані на визначення їх ефективності, проводились лише на першій версії курсу, що пов'язано із суттєвою зміною умов навчання – переходом від аудиторного до екстреного дистанційного навчання під час пандемії COVID-19 та до ситуативного навчання в умовах блекаутів, спричинених військовою агресією Російської Федерації.
6. Дослідження не було спрямоване на вивчення ефективності використання доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін у тривалій перспективі: це пов'язано із вибором швидкозмінних веб-технологій, частина з яких у процесі дослідження виникла (MindAR), частина – щезла (awe.js), а частина – постійно еволюціонувала.

Виходячи з отриманих результатів дослідження та у намаганні подолати обмеження, пропонуємо наступні *напрями подальших досліджень*:

1. Дослідження можливості використання доповненої реальності для створення інтерактивних навчальних середовищ для STEM-дисциплін.
2. Порівняльне дослідження ефективності використання різних педагогічних умов підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності, спрямоване на обґрунтований вибір навчальних стратегій.

3. Дослідження ефективності використання доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін у різних вікових групах, зокрема, учнів початкової школи, гімназії, ліцею та вищої школи.
4. Дослідження впливу використання доповненої реальності на мотивацію та успішність навчання STEM-дисциплін надасть можливість подолати обмеження, пов'язане із недостатнім рівнем зворотного зв'язку у процесі реалізації другої та третьої версії курсу шляхом проведення опитування студентів, які навчалися за допомогою доповненої реальності, спрямованого на вивчення їх ставлення до доповненої реальності, мотивації до навчання STEM-дисциплін та їх навчальних досягнень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Acar, D., Tertemiz, N. and Taşdemir, A., 2018. 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), pp.505–513. URL <https://doi.org/10.26822/iejee.2018438141>.
- [2] Aguirre, J. and Porta, L., 2021. A teacher training policy in Argentina. Biographical narratives, pedagogical powers and sensitive experiences in higher institutes of teacher training [Una política de formación del profesorado en Argentina. Potencias pedagógicas y narrativas sensibles en institutos superiores de formación docente]. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 35(1), pp.69–88. URL <https://doi.org/10.47553/RIFOP.V96I35.1.80348>.
- [3] Alegre, F., Moreno, J., Dawson, T., Tanjong, E.E. and Kirshner, D.H., 2020. Computational Thinking for STEM Teacher Leadership Training at Louisiana State University. In: C. Gardner-McCune, N. Washington, E. Dillon, G. Washington and J. Payton, eds. *2020 Research on Equity and Sustained Participation in Engineering, Computing, and Technology, RESPECT 2020 - Proceedings*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., p.9272455. URL <https://doi.org/10.1109/RESPECT49803.2020.9272455>.
- [4] Alexopoulos, A., Pavlidou, M. and Cherouvis, S., 2019. ‘Playing with Protons’: A training course for primary school teachers at CERN. *Physics Education*, 54(1), p.015013. URL <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aae7a4>.
- [5] Alsop, T., 2022. Global mobile augmented reality (AR) user devices 2024 | Statista. URL <https://www.statista.com/statistics/1098630/global-mobile-augmented-reality-ar-users/>.

- [6] Araújo, N., Hissa, D. and Moraes, I., 2015. Formação de professores-autores de material didático em EaD. *Revista Iberoamericana de Educación*, 69(1), pp.167–182. URL <https://doi.org/10.35362/rie691161>.
- [7] Arcand, K.K., 2020. *Putting the stars within reach: NASA 3D data-based models in 3D print and virtual reality applications, and their potential effects on improving spatial reasoning skills and STEM interest in underrepresented groups of young female learners*. Ph.D. thesis. University of Otago, Dunedin, New Zealand. URL <https://hdl.handle.net/10523/10250>.
- [8] Arif, W., Suhandi, A., Kaniawati, I. and Setiawan, A., 2017. Development Scaffolding for Construction of Evaluation Instrument Training Program on the Cognitive Domain for Senior High School Physics Teachers and the Same Level. *Journal of Physics: Conference Series*, 812(1), p.012053. URL <https://doi.org/10.1088/1742-6596/812/1/012053>.
- [9] Aydin Gunbatar, S., Oztay, E. and Ekiz Kiran, B., 2022. Supporting pre-service teachers' integration of engineering into STEM lessons throughout engineering-infused training. *Research in Science and Technological Education*. URL <https://doi.org/10.1080/02635143.2022.2121691>.
- [10] Banks-Hunt, J.M., Adams, S., Ganter, S. and Bohorquez, J.C., 2016. K-12 STEM Education: Bringing the engineering maker space, student-centered learning, curriculum, and teacher training to middle schools. *Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., vol. 2016-November, p.7757531. URL <https://doi.org/10.1109/FIE.2016.7757531>.
- [11] Barakhsanova, E.A., Vlasova, E.Z., Varlamova, V.A., Nikitina, E.V., Prokopyev, M.S. and Myreeva, A.N., 2018. Vocational training of school teachers in Yakutia's universities through the principle of regionalization (case study of the methodology

- of teaching natural science to prospective teachers). *Espacios*, 39(20), p.35. URL <https://www.revistaespacios.com/a18v39n20/a18v39n20p35.pdf>.
- [12] Barana, A., Fissore, C., Marchisio, M. and Pulvirenti, M., 2020. Teacher training for the development of computational thinking and problem posing & solving skills with technologies. In: I. Roceanu, ed. *eLearning and Software for Education Conference*. National Defence University - Carol I Printing House, pp.136–144. URL <https://doi.org/10.12753/2066-026X-20-103>.
- [13] Baratta, A., 2017. Accent and Linguistic Prejudice within British Teacher Training. *Journal of Language, Identity and Education*, 16(6), pp.416–423. URL <https://doi.org/10.1080/15348458.2017.1359608>.
- [14] Bevz, V. and Dmytrienko, O., 2020. Students' perceptions of the history of science and technology course at teacher training university. *Advanced education*, 7(15), pp.74–80. URL <https://doi.org/10.20535/2410-8286.160202>.
- [15] Boice, K.L., Jackson, J.R., Alemdar, M., Rao, A.E., Grossman, S. and Usselman, M., 2021. Supporting teachers on their STEAM journey: A collaborative STEAM teacher training program. *Education Sciences*, 11(3), pp.1–20. URL <https://doi.org/10.3390/educsci11030105>.
- [16] Campelo, T.d.S. and Cruz, G.B. da, 2019. “Deprivatization of Practice” como estratégia de formação inicial docente no PIBID Pedagogia. *Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação*, 14(1), p.169–187. URL <https://doi.org/10.21723/riaee.v14i1.11045>.
- [17] Carmona-Mesa, J.A., Cardona Zapata, M.E. and Castrillón-Yepes, A., 2020. Estudio de fenómenos físicos en la formación inicial de profesores de Matemáticas. Una experiencia con enfoque STEM. *Uni-Pluriversidad*, 20(1), p.18–38. URL <https://doi.org/10.17533/udea.unipluri.20.1.02>.

- [18] Castro, E., Cecchi, F., Salvini, P., Valente, M., Buselli, E., Menichetti, L., Calvani, A. and Dario, P., 2018. Design and Impact of a Teacher Training Course, and Attitude Change Concerning Educational Robotics. *International Journal of Social Robotics*, 10(5), pp.669–685. URL <https://doi.org/10.1007/s12369-018-0475-6>.
- [19] Castro-Rodríguez, E. and Montoro, A.B., 2021. STEM education and primary teacher training in Spain [Educación STEM y formación del profesorado de primaria en España]. *Revista de Educacion*, 2021(393), pp.353–378. URL <https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2021-393-497>.
- [20] Chaipidech, P., Kajonmanee, T., Chaipah, K., Panjaburee, P. and Srisawasdi, N., 2021. Implementation of an Andragogical Teacher Professional Development Training Program for Boosting TPACK in STEM Education: The Essential Role of a Personalized Learning System. *Educational Technology & Society*, 24(4), pp.220–239. URL <https://drive.google.com/file/d/1VhpUhKXguRUOUGqB59Sl9nF6ExPvelhV/view?usp=sharing>.
- [21] Chandler, J.R. and Dean Fontenot, A., 2004. TTU College of Engineering Pre-College Engineering Academy© Estacado High School Pilot Program. *ASEE Annual Conference Proceedings*. Nashville, Tennessee, pp.8.1210.1 – 8.1210.7. URL <https://doi.org/10.18260/1-2--12026>.
- [22] Chirico, A., Serafini, F., Pizzolante, M., Malvezzi, R., Gianotti, E., Micucci, C., Manduca, E., Carvelli, C., Vago, F., Renda, M., Cascio, E. and Gaggioli, A., 2022. Inspiring awe in high school teachers: Design and preliminary test of a virtual training on AltspaceVR. *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine*, 20, pp.31–35. URL <https://k00.fr/k81iwg9j>.
- [23] Crowder, M.E. and Monfared, M.M., 2020. Integrating Scholarly Teacher Training with Discipline-Specific Research Training in STEM. *New Directions for Teaching*

- and Learning*, 2020(163), pp.117–124. URL <https://doi.org/10.1002/tl.20415>.
- [24] Cullimore, S. and Simmons, J., 2010. The emerging dilemmas and challenges for mentors and mentees in the new context for training in-service teachers for the Learning and Skills sector. *Research in Post-Compulsory Education*, 15(2), pp.223–239. URL <https://doi.org/10.1080/13596741003790799>.
- [25] Cutanda-López, M.T. and Alfageme-González, M.B., 2022. Teacher Training to Take Care of Students at Risk of Exclusion. *Social Sciences*, 11(12), p.544. URL <https://doi.org/10.3390/socsci11120544>.
- [26] De Villiers, R., 2021. The Force Field Model applied to a Music Education teacher training framework in a South African context. *British Journal of Music Education*, 38(3), p.219–233. URL <https://doi.org/10.1017/S0265051721000164>.
- [27] Demir, B.K., 2021. 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), pp.401–416. URL <https://doi.org/10.30958/aje.8-4-4>.
- [28] Di Fuccio, R., Ferrara, F. and Di Ferdinando, A., 2019. The DoCENT role play game: a tool for the training of the digital creativity for teachers. In: O. Miglino and M. Ponticorvo, eds. *Proceedings of the First Symposium on Psychology-Based Technologies co-located with XXXII National Congress of Italian Association of Psychology - Development and Education section (AIP 2019), Naples, Italy, 25-26 September, 2019*. CEUR-WS.org, *CEUR Workshop Proceedings*, vol. 2524. URL <https://ceur-ws.org/Vol-2524/paper4.pdf>.
- [29] Dibarbora, C., 2021. Computational models and experimental validation at the physics teacher training college using Scilab and Arduino. *Journal of Physics: Conference Series*, 1882(1), p.012139. URL <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1882/>

1/012139.

- [30] Dinh, D.H. and Nguyen, Q.L., 2020. The involvement of gender in STEM training for teachers. *European Journal of Educational Research*, 9(1), pp.363–373. URL <https://doi.org/10.12973/eu-jer.9.1.363>.
- [31] Dirksen, J., 2018. *Learn Three.js: Programming 3D animations and visualizations for the web with HTML5 and WebGL*. 3rd ed. Packt Publishing.
- [32] Dlamini, R.N. and Howard, G.R., 2023. Teacher Training Management Guidelines for Improving Green IT Teaching Intention and Behavior. In: K. Arai, ed. *Proceedings of the Future Technologies Conference (FTC) 2022*. Cham: Springer International Publishing, vol. 3, pp.742–751. URL https://doi.org/10.1007/978-3-031-18344-7_53.
- [33] Domenici, V., 2022. STEAM Project-Based Learning Activities at the Science Museum as an Effective Training for Future Chemistry Teachers. *Education Sciences*, 12(1), p.30. URL <https://doi.org/10.3390/educsci12010030>.
- [34] Doty, C., 2021. *Optimizing Mixed Reality Simulation To Support STEM Graduate Teaching Assistants In Developing Student-Centered Pedagogical Skills*. Ph.D. thesis. University of Central Florida, Orlando, Florida. URL <https://stars.library.ucf.edu/etd2020/855>.
- [35] Dudysheva, E. and Solnyshkova, O., 2022. The Potential of Universities as Resource Centers in the Agile Teacher Training for Organizing STEM Projects for School Students. *AIP Conference Proceedings*, 2647, p.030027. URL <https://doi.org/10.1063/5.0104080>.
- [36] Eck, N.J. van and Waltman, L., 2018. VOSviewer Manual. URL https://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.8.pdf.
- [37] Elisa, E., Farhan, A., Herliana, F., Wahyuni, A. and Susanna, S., 2021. High school Physics teachers' perceptions of the learning revolution era 4.0 at training acti-

- vities in Bener Meriah Regency. *Journal of Physics: Conference Series*, 1882(1), p.012030. URL <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1882/1/012030>.
- [38] Elías, M., Pérez, J., Cassot, M.D.R., Carrasco, E.A., Tomljenovic, M. and Zúñiga, E.A., 2022. Development of digital and science, technology, engineering, and mathematics skills in chemistry teacher training. *Frontiers in Education*, 7, p.932609. URL <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.932609>.
- [39] European Commission, 2020. Digital Education Action Plan 2021-2027: Resetting education and training for the digital age. SWD(2020) 209 final. URL <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0624>.
- [40] European Commission, 2020. Digital Education Action Plan 2021-2027: Resetting education and training for the digital age (Accompanying the document). COM(2020) 624 final. URL <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020SC0209&qid=1647943853396>.
- [41] Even-Zahav, A., 2019. Risk Management of STEM Education - The Strategic Risk: Teachers - Opportunities, Training and Social Status in Israel. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 861, pp.73–89. URL https://doi.org/10.1007/978-3-030-01406-3_7.
- [42] Extended Reality for Everybody Specialization, 2022. URL <https://www.coursera.org/specializations/extended-reality-for-everybody>.
- [43] Ezzeldin, S.M.Y., 2022. 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), pp.1–16. URL <https://doi.org/10.4018/IJOPCD.302085>.
- [44] Falloon, G., Hatzigianni, M., Bower, M., Forbes, A. and Stevenson, M., 2020. Understanding K-12 STEM Education: a Framework for Developing STEM Li-

- teracy. *Journal of Science Education and Technology*, 29(3), pp.369–385. URL <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09823-x>.
- [45] Ferrando Palomares, I., Hurtado Soler, D. and Beltran Meneu, M.J., 2018. Pre-service teacher training in STEM: a teaching experience. *ATTIC - Revista d Innovacio Educativa*, (20), pp.35–42. URL <https://doi.org/10.7203/attic.20.10946>.
- [46] Figueira, E. and Alves, M., 2017. The impact of teacher's in-service training: Contributions to an evaluation model. In: L.G. Chova, A.L. Martinez and I.C. Torres, eds. *10th International Conference of Education, Research and Innovation (ICERI2017)*. IATED, ICERI Proceedings, pp.949–953. URL <https://doi.org/10.21125/iceri.2017.0333>.
- [47] Fonseca, D., Jurado, E., García-Holgado, A., Olivella, R., García-Peñalvo, F.J., Sanchez-Sepulveda, M., Amo, D., Maffeo, G., Yiğit, Ö., Hofmann, C., Quass, K., Sevinç, G. and Keskin, Y., 2022. Conceptualizing a Teacher Training for Identifying STEAM-Lab Spaces to Address Diversity Gaps. In: F.J. García-Peñalvo, M.L. Sein-Echaluce and Á. Fidalgo-Blanco, eds. *Trends on Active Learning Methods and Emerging Learning Technologies*. Singapore: Springer Nature, pp.29–50. URL https://doi.org/10.1007/978-981-19-7431-1_3.
- [48] Fuentes Hurtado, M. and Gonzalez Martinez, J., 2017. Secondary Teachers Training Needs to Implement Gamified Experiences in STEM. *RED - Revista de Educación a Distancia*, (54), p.8. URL <https://doi.org/10.6018/red/54/8>.
- [49] Galadima, U., Ismail, Z. and Ismail, N., 2019. A need analysis for developing integrated stem course training module for pre-service mathematics teachers. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8(5), pp.47–52. URL <https://doi.org/10.35940/ijeat.E1006.0585C19>.
- [50] Galadima, U., Ismail, Z. and Ismail, N., 2019. 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), pp.1272–1281. URL <https://doi.org/10.35940/ijeat.E1181.0585C19>.
- [51] Gallagher, M.E., 2019. The What, Why, and How of STEM in Elementary Education. URL <https://blog.kidsparkeducation.org/blog/what-is-stem-education-and-how-do-i-teach-it-in-elementary-school>.
- [52] Gonen, S.I.K. and Zeybek, G., 2022. Training on multimodal mobile-assisted language learning: a suggested model for pre-service EFL teachers*. *Computer Assisted Language Learning*. URL <https://doi.org/10.1080/09588221.2022.2157016>.
- [53] Green, S.L. and Anid, N.M., 2013. Training K-12 teachers in STEM education: A multi-disciplinary approach. *ISEC 2013 - 3rd IEEE Integrated STEM Education Conference*. p.6525206. URL <https://doi.org/10.1109/ISECon.2013.6525206>.
- [54] Guo, L. and Tahernezehadi, M., 2011. Emerging Technology Institute - Training Middle and High School Teachers in Alternative Energy. *2011 ASEE Annual Conference & Exposition*. ASEE, ASEE Annual Conference & Exposition, pp.22.556.1 – 22.556.7. URL <https://doi.org/10.18260/1-2--17837>.
- [55] Hasanah, S.S., Riandi, Permanasari, A. and Kaniawati, I., 2022. STEM Training for Lesson Plan on Bioplastic and Environment: Does it Affect the teachers? *Moroccan Journal of Chemistry*, 10(3), pp.564–575. URL <https://doi.org/10.48317/IMIST.PRSM/morjchem-v10i3.33144>.
- [56] Hassan, S.U. and Haddawy, P., 2015. Analyzing knowledge flows of scientific literature through semantic links: a case study in the field of energy. *Scientometrics*, 103(1), pp.33–46. URL <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1528-3>.
- [57] Herdina, M., 2020. Augmented Reality Disappeared From Gartner's Hype Cycle – What's Next? URL <https://arpost.co/2020/09/25/>

augmented-reality-gartners-hype-cycle/.

- [58] Hodhod, R., Khan, S., Ray, L. and Kurt-Peker, Y., 2016. Training teachers to integrate computational thinking into K-12 teaching. *SIGCSE 2016 - Proceedings of the 47th ACM Technical Symposium on Computing Science Education*. Association for Computing Machinery, Inc, pp.156–157. URL <https://doi.org/10.1145/2839509.2844675>.
- [59] Hoehnle, S., Foegele, J., Mehren, R. and Schubert, J.C., 2016. GIS Teacher Training: Empirically-Based Indicators of Effectiveness. *Journal of Geography*, 115(1), pp.12–23. URL <https://doi.org/10.1080/00221341.2015.1016546>.
- [60] Huang, W., 2020. *Investigating the Novelty Effect in Virtual Reality on STEM Learning by Wen Huang*. Ph.D. thesis. Arizona State University. URL <http://repository.asu.edu/items/57391>.
- [61] Jankvist, U.T., Clark, K.M. and Mosvold, R., 2020. Developing mathematical knowledge for teaching teachers: potentials of history of mathematics in teacher educator training. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 23(3), pp.311–332. URL <https://doi.org/10.1007/s10857-018-09424-x>.
- [62] Jauhariyah, M.N.R., Sunarti, T., Wasis, Supardiyono, Setyarsih, W. and Zainuddin, A., 2021. Analysis of physics questions based on HOTS criteria: The result of physics teacher training. *Journal of Physics: Conference Series*, 1805(1), p.012023. URL <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1805/1/012023>.
- [63] Karavashkina, V, M. and Chigrinov, V, D., 2020. Course in the “Fundamentals of the Russian Language History” in the System of Philological Training of Primary School Teachers. In: I. Gafurov and R. Valeeva, eds. *VI International Forum on Teacher Education*. Pensoft Publishers, ARPHA Proceedings, pp.913–918. URL <https://doi.org/10.3897/ap.2.e0913>.

- [64] Kert, S.B., 2019. A proposal of in-service teacher training approach for computer science teachers. *European Journal of Educational Research*, 8(2), pp.477–489. URL <https://doi.org/10.12973/eu-jer.8.2.477>.
- [65] Kiper, A. and Tercan, S.S., 2012. The Usage of Information Technologies in Classroom Environment Among Primary School Teachers and their Perception on In-Service Training Programs on IT (Sample of Sakarya). *Turkish Online Journal of Educational Technology*, 11(3), pp.386–392. URL <http://www.tojet.net/articles/v11i3/11336.pdf>.
- [66] Knie, L. and Schwarzer, S., 2022. Development of an online application for a blended learning STEM teacher training course. *CHEMKON*, 29(1, SI), pp.183–187. URL <https://doi.org/10.1002/ckon.202100083>.
- [67] Knie, L., Standl, B. and Schwarzer, S., 2022. First experiences of integrating computational thinking into a blended learning in-service training program for STEM teachers. *Computer Applications in Engineering Education*, 30(5), pp.1423–1439. URL <https://doi.org/10.1002/cae.22529>.
- [68] Kollmayer, M., Schultes, M.T., Lüftenegger, M., Finsterwald, M., Spiel, C. and Schober, B., 2020. REFLECT – A Teacher Training Program to Promote Gender Equality in Schools. *Frontiers in Education*, 5, p.136. URL <https://doi.org/10.3389/educ.2020.00136>.
- [69] Kori, K. and Pata, K., 2020. Training teachers to use Globisens Labdiscs for citizen science projects in school. In: L.G. Chova, A.L. Martinez and I.C. Torres, eds. *14th International Technology, Education and Development Conference (INTED2020)*. IATED, INTED Proceedings, pp.111–119. URL <https://doi.org/10.21125/inted.2020.0075>.
- [70] Kukreti, A.R., Rutz, E., Steimle, J., Jackson, H.E. and Maltbie, C., 2013. Traini-

- ng Secondary Math and Science Teachers to Bring an Engineering Perspective to the Classroom. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*. Atlanta, Georgia, pp.23.1263.1 – 23.1263.17. URL <https://doi.org/10.18260/1-2--22648>.
- [71] Kurup, P.M., Li, X., Powell, G. and Brown, M., 2019. Building future primary teachers' capacity in STEM: based on a platform of beliefs, understandings and intentions. *International Journal of STEM Education*, 6(1), p.10. URL <https://doi.org/10.1186/s40594-019-0164-5>.
- [72] Kyriakides, L., Creemers, B.P.M. and Antoniou, P., 2009. Teacher behaviour and student outcomes: Suggestions for research on teacher training and professional development. *Teaching and Teacher Education*, 25(1), pp.12–23. URL <https://doi.org/10.1016/j.tate.2008.06.001>.
- [73] Lacabra, A.M., Fraile, M.N. and Velez, A.P., 2022. Research Skills in Teachers' Training Education: Perceptions and performance. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 24, p.e28. URL <https://doi.org/10.24320/redie.2022.24.e28.4182>.
- [74] Lantau, J.M., Bracke, M., Bock, W. and Capraro, P., 2020. 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. URL https://doi.org/10.1007/978-3-030-37673-4_39.
- [75] Lasica, I.E., Meletiou-Mavrotheris, M., Katzis, K., Dimopoulos, C. and Mavrotheris, E., 2018. Designing a teacher training program on the integration of augmented and mixed reality technologies within the educational process. In: L.G. Chova, A.L. Martinez and I.C. Torres, eds. *12th International Technology, Education and Development Conference (INTED)*. Valencia: IATED, INTED Proceedings, pp.8943–8953. URL <https://doi.org/10.21125/inted.2018.2181>.

- [76] Lehka, L.V., 2021. *Methods of teaching the basics of quantum informatics to lyceums students*. The dissertation submitted for scientific degree of Doctor of Philosophy) on specialty 014 Secondary education (Informatics). Kryvyi Rih State Pedagogical University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kryvyi Rih,. URL <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0822U100648>.
- [77] Lobovikov-Katz, A., 2019. Methodology for spatial-visual literacy (MSVL) in heritage education: Application to teacher training and interdisciplinary perspectives. *Revista Electronica Interuniversitaria de Formacion del Profesorado*, 22(1), pp.41–55. URL <https://doi.org/10.6018/reifop.22.1.358671>.
- [78] Lopez-Goni, I. and Goni Zabala, J.M., 2012. Emotional Skills in Teacher's Initial Training Curricula. A Comparative Study. *Revista de Educacion*, (357), pp.467–489. URL <https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2010-357-069>.
- [79] Lund, L., 2020. When school-based, in-service teacher training sharpens pedagogical awareness. *Improving Schools*, 23(1), pp.5–20. URL <https://doi.org/10.1177/1365480218772638>.
- [80] Madahae, S., Pisapak, P. and Thanyasirikul, C., 2021. Learning Design of STEM Education through Workshop Training for Thai Teachers. *Journal of Physics: Conference Series*, 1835(1), p.012062. URL <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1835/1/012062>.
- [81] Madihally, S., Duffy, M., Franzmann, L., Reece, R. and High, K., 2010. Integrating engineering to middle school curriculum by training teachers. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*. Louisville, Kentucky: American Society for Engineering Education, pp.15.762.1 – 15.762.8. URL <https://doi.org/10.18260/1-2--16108>.
- [82] Marques, M.M. and Pombo, L., 2021. The Impact of Teacher Training Using Mobi-

- le Augmented Reality Games on Their Professional Development. *Education Sciences*, 11(8), p.404. URL <https://doi.org/10.3390/educsci11080404>.
- [83] Martínez-Borreguero, G., Mateos-Núñez, M. and Naranjo-Correa, F.L., 2018. Forces and their effects: Comparative analysis of the knowledge of teachers in training versus primary school students. In: L.G. Chova, A.L. Martínez and I.C. Torres, eds. *11th Annual International Conference of Education, Research and Innovation (ICERI2018)*. Valencia: IATED, ICERI Proceedings, pp.258–267. URL <https://doi.org/10.21125/iceri.2018.1061>.
- [84] Martínez-Borreguero, G., Mateos-Núñez, M. and Naranjo-Correa, F.L., 2019. Levels of Teacher Self-Efficacy and Emotions Expressed by Teachers in Training STEM Areas. *New Perspectives in Science Education, 8th edition*. PIXEL, Bologna: Filodiritto Publisher, pp.586–591. URL https://conference.pixel-online.net/library_scheda.php?id_abs=3634.
- [85] Martínez-Borreguero, G., Naranjo-Correa, F.L., Pérez-Rodríguez, A.L., Pardo-Fernández, P.J. and Suero-López, M.I., 2018. Validation of didactic simulations and STEM experiences to improve the teaching of content about light and colour with teachers in training. In: L.G. Chova, A.L. Martínez and I.C. Torres, eds. *EDULEARN18: 10th International Conference on Education and New Learning Technologies*. Valencia: IATED, EDULEARN Proceedings, pp.7594–7603. URL <https://doi.org/10.21125/edulearn.2018.1774>.
- [86] Martínez-Abad, F., Olmos-Migueláñez, S. and Rodríguez-Conde, M.J., 2015. Evaluation of a training program on information literacy for future secondary education teachers [Evaluación de un programa de formación en competencias informacionales para el futuro profesorado de E.S.O]. *Revista de Educacion*, 2015(370), pp.38–63. URL <https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2015-370-296>.

- [87] Martínez-Borreguero, G., Naranjo-Correa, F. and Mateos-Núñez, M., 2022. Development of STEM Instructional Resources for Teaching Optics to Teachers-in-Training: Influence on Learning and Teacher Self-Efficacy. *Education Sciences*, 12(3), p.186. URL <https://doi.org/10.3390/educsci12030186>.
- [88] Martínez-Borreguero, G., Naranjo-Correa, F.L. and Mateos-Núñez, M., 2022. Cognitive and Emotional Development of STEM Skills in Primary School Teacher Training through Practical Work. *Education Sciences*, 12(7), p.470. URL <https://doi.org/10.3390/educsci12070470>.
- [89] Martínez Vérez, M.V. and Albar Mansoa, J., 2019. Ink of sea: Action art in the teacher professional training [Tinta de mar: Arte de acción en la formación profesional docente]. *Utopia y Praxis Latinoamericana*, 24(87), pp.137–150. URL <https://doi.org/10.5281/zenodo.3464053>.
- [90] Mateos-Nunez, M., Martinez-Borreguero, G. and Naranjo-Correa, F.L., 2018. Emotions, self-efficacy and knowledge of the teacher in training in a static and dynamic laboratory experience. In: L.G. Chova, A.L. Martinez and I.C. Torres, eds. *11th Annual International Conference of Education, Research and Innovation (ICERI2018)*. IATED, ICERI Proceedings, pp.279–289. URL <https://doi.org/10.21125/iceri.2018.1063>.
- [91] Mateos-Nunez, M., Martinez-Borreguero, G. and Naranjo-Correa, F.L., 2019. Emotional, attitudinal and competency analysis in STEM areas of secondary school students versus teachers in training. In: L.G. Chova, A.L. Martinez and I.C. Torres, eds. *12th Annual International Conference of Education, Research and Innovation (ICERI 2019)*. Valencia: IATED, ICERI Proceedings, pp.559–568. URL <https://doi.org/10.21125/iceri.2019.0190>.
- [92] McNerney, P., Davis, K.C., Soled, S.W., Obarski, K.J., Allen, J., Vice Bowling, B.,

- Daniel, M., Dimmerling, A., Estes, M., Pumphrey, S., Richardson, B. and Rust, M., 2007. Technology Training For Teachers. In: A. Tremante, F. Malpica, A. Oropeza, F. Welsch, J.V. Carrasquero and H.F. Su, eds. *IMSCI 2007 - International Multi-Conference on Society, Cybernetics and Informatics, Proceedings*. International Institute of Informatics and Systemics, IIS, vol. 2, pp.116–121. URL <https://www.iiis.org/p-proceedings/july2007/IMSCI-II/IMSCI-Book-Vol-II-Post-Conf.pdf>.
- [93] Mintii, I.S., Bondarenko, O.V., Shokaliuk, S.V., Polhun, K.V. and Mintii, M.M., 2020. Analysis of the use of LCMS Moodle in the educational process of KrSPU. *Educational Dimension*, 3, p.368–383. URL <https://doi.org/10.31812/educdim.v55i0.4366>.
- [94] Mintii, I.S., Shokaliuk, S.V., Vakaliuk, T.A., Merzlykin, O.V. and Mintii, M.M., 2020. Development of a Standard Moodle Course to Optimize the Teacher’s Work in Distance Education. *Universal Journal of Educational Research*, 8(12), pp.6659–6666. URL <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.081230>.
- [95] Mintii, I.S., Shokaliuk, S.V., Vakaliuk, T.A., Mintii, M.M. and Soloviev, V.N., 2019. Import test questions into Moodle LMS. *Educational Dimension*, 1, p.111–124. URL <https://doi.org/10.31812/educdim.v53i1.3836>.
- [96] Mintii, M., 2020. The course “Development of virtual and AR software” for STEM teachers. *SHS Web of Conferences*, 75, p.04015. URL <https://doi.org/10.1051/shsconf/20207504015>.
- [97] Mintii, M.M., 2023. Exploring the landscape of STEM education and personnel training: a comprehensive systematic review. *Educational Dimension*. URL <https://doi.org/10.31812/ed.583>.
- [98] Mintii, M.M., 2023. Selection of pedagogical conditions for training STEM teachers to use augmented reality technologies in their work. *Educational Dimension*, 8, p.212–239. URL <https://doi.org/10.31812/educdim.4951>.

- [99] Mintii, M.M., 2023. STEM education and personnel training: systematic review. *Journal of Physics: Conference Series*, 2611(1), p.012025. URL <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2611/1/012025>.
- [100] Mintii, M.M., Sharmanova, N.M., Mankuta, A.O., Palchevska, O.S. and Semerikov, S.O., 2023. Selection of pedagogical conditions for training STEM teachers to use augmented reality technologies in their work. *Journal of Physics: Conference Series*, 2611(1), p.012022. URL <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2611/1/012022>.
- [101] Moral-Munoz, J.A., López-Herrera, A.G., Herrera-Viedma, E. and Cobo, M.J., 2019. Science Mapping Analysis Software Tools: A Review. In: W. Glänzel, H.F. Moed, U. Schmoch and M. Thelwall, eds. *Springer Handbook of Science and Technology Indicators*. Cham: Springer International Publishing, pp.159–185. URL https://doi.org/10.1007/978-3-030-02511-3_7.
- [102] Morita, Y., Nagahama, T., Setozaki, N., Tajiri, K. and Kitazawa, T., 2016. A pilot study on the effects of a tangible learning system for pre-service teacher training. In: S.L. Wong, A.G. Barrera, H. Mitsuhara, G. Biswas, J. Jia, J.C. Yang, M.P. Banawan, M. Demirbilek, M. Gaydos, C.P. Lin, J.G. Shon, S. Iyer, A. Gulz, C. Holden, G. Kessler, M.M.T. Rodrigo, P. Sengupta, P. Taalas, W. Chen, S. Murthy, B. Kim, X. Ochoa, D. Sun, N. Baloian, T. Hoel, U. Hoppe, T.C. Hsu, A. Kukulska-Hulme, H.C. Chu, X. Gu, W. Chen, J.S. Huang, M.F. Jan, L.H. Wong and C. Yin, eds. *ICCE 2016 - 24th International Conference on Computers in Education: Think Global Act Local - Main Conference Proceedings*. Taoyuan City: Asia-Pacific Society for Computers in Education, pp.642–644. URL https://apsce.net/download_data.php?filename=upfile/pdf/proceedings-of-icce2016-01.pdf.
- [103] Nechypurenko, P.P., Semerikov, S.O. and Pokhliestova, O.Y., 2023. Cloud technologies of augmented reality as a means of supporting educational and

- research activities in chemistry for 11th grade students. *Educational Technology Quarterly*, 2023(1), p.69–91. URL <https://doi.org/10.55056/etq.44>.
- [104] Negrini, L., 2019. Teacher Training in Educational Robotics: An Experience in Southern Switzerland: The PReSO Project. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 829, pp.92–97. URL https://doi.org/10.1007/978-3-319-97085-1_10.
- [105] Nerdel, C. and Kotzebue, L. von, 2020. Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht. Aufgaben für die Lehrerbildung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 66(2), pp.159–173. URL <https://doi.org/10.25656/01:25789>.
- [106] NSTA Board of Directors, 2020. STEM Education Teaching and Learning. URL <https://www.nsta.org/nstas-official-positions/stem-education-teaching-and-learning>.
- [107] Oehler, C., 2001. Bildungssoziologie als eine Grundlage der Professionalisierung von Lehramtsstudierenden. Bericht über ein Forschungsprojekt. *Zeitschrift für Pädagogik*, 47(5), pp.739–748. URL <https://doi.org/10.25656/01:4312>.
- [108] Olmedo-Torre, N. and Martínez, M.M., 2018. Detection of training deficiencies in the autonomous learning of graphic engineering students: A university teacher training experience based on competencies. *International Journal of Engineering Education*, 34(5), pp.1592–1603.
- [109] Ong, E.T., Ayob, A., Ibrahim, M.N., Adnan, M., Shariff, J. and Ishak, N., 2016. The effectiveness of an in-service training of early childhood teachers on stem integration through Project-Based Inquiry Learning (PIL). *Journal of Turkish Science Education*, 13(Specialissue), pp.44–58. URL <https://doi.org/10.12973/tused.10170a>.
- [110] Ortega-Torres, E., 2022. Training of future STEAM teachers: Comparison between primary degree students and secondary master's degree students. *Journal of*

Technology and Science Education, 12(2), pp.484–495. URL <https://doi.org/10.3926/jotse.1319>.

- [111] Pazio, M., 2017. Putting the digital immigrants in the digital natives' shoes - an exploration of staff experiences with technology integration on a teacher training course in HE. In: L.G. Chova, A.L. Martinez and I.C. Torres, eds. *9th International Conference on Education and New Learning Technologies (EDULEARN17)*. IATED, EDULEARN Proceedings, p.5884. URL <https://doi.org/10.21125/edulearn.2017.2325>.
- [112] Perez Canado, M.L., 2018. Innovations and Challenges in CLIL Teacher Training. *Theory Into Practice*, 57(3, SI), pp.212–221. URL <https://doi.org/10.1080/00405841.2018.1492238>.
- [113] Perianes-Rodriguez, A., Waltman, L. and van Eck, N.J., 2016. Constructing bibliometric networks: A comparison between full and fractional counting. *Journal of Informetrics*, 10(4), pp.1178–1195. URL <https://doi.org/10.1016/j.joi.2016.10.006>.
- [114] Pewkam, W. and Chamrat, S., 2022. Pre-Service Teacher Training Program of STEM-based Activities in Computing Science to Develop Computational Thinking. *Informatics in Education*, 21(2), pp.311–329. URL <https://doi.org/10.15388/infedu.2022.09>.
- [115] Pocas, S. and Santos, J.G.D., 2020. Influences of globalization and cooperation on education and teacher training in Angola [Influencias da globalização e da cooperação na educação e na formação de professores em Angola]. *Cadernos de Estudos Africanos*, 39, pp.57–84. URL <https://doi.org/10.4000/cea.4797>.
- [116] Pollack, C.F., 2019. *Investigating the Augmented Reality Sandbox: An Exploration of the Development and Implementation of a Reproducible STEM Resource in Secondary Education Geoscience*. A Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements

for the degree of Master of Science. George Mason University, Fairfax, Virginia.
URL <https://hdl.handle.net/1920/11682>.

- [117] Ponomareva, N.S., 2021. Role and place of Informatics in the training of future teachers of mathematics. *Journal of Physics: Conference Series*, 1840(1), p.012035. URL <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1840/1/012035>.
- [118] Prieto, D., Rocha, P., Otieno, W. and Das, T.K., 2010. Work in progress - Developing elementary science teacher training modules based on doctoral research in engineering. *Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE*. pp.S2E1–S2E3. URL <https://doi.org/10.1109/FIE.2010.5673141>.
- [119] Project Augmented Reality for STEM Education, 2023. *How to use augmented reality in STEM education. Guidebook*. URL <https://epale.ec.europa.eu/en/resource-centre/content/how-use-augmented-reality-stem-education-guidebook>.
- [120] Pumpo, A., 2023. From STEM to STEAM Education: a New Learning Approach. URL <https://www.teacheracademy.eu/course/steam-education/>.
- [121] Punsrigate Khonjaroen, K. and Srikoon, S., 2021. 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), p.012063. URL <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1835/1/012063>.
- [122] Ragusa, G., 2011. Teacher Training and STEM Student Outcome: Linking Teacher Intervention to Students' Success in STEM Middle and High School Classes. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*. Vancouver, BC: American Society for Engineering Education, pp.22.1370.1 – 22.1370.7. URL <https://doi.org/10.18260/1-2--18797>.
- [123] Ragusa, G., 2012. Teacher Training and Student Inquiry and Science Literacy: Li-

nking Teacher Intervention to Students' Outcomes in STEM Courses in Middle and High School Classes. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*. San Antonio, Texas: American Society for Engineering Education, pp.25.1236.1 – 25.1236.12. URL <https://doi.org/10.18260/1-2--21993>.

- [124] Rihtaršič, D., 2018. Using an Arduino-based low-cost DAQ in science teacher training. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, 16(4), pp.380–385. URL [http://www.wiete.com.au/journals/WTE&TE/Pages/Vol.16,%20No.4%20\(2018\)/10-Rihtarsic-D.pdf](http://www.wiete.com.au/journals/WTE&TE/Pages/Vol.16,%20No.4%20(2018)/10-Rihtarsic-D.pdf).
- [125] Ripoll, D., 2012. Are our students watching too much TV? Science teacher training and media biophilia for stem-cells [Nossos alunos estão vendo muita tv? A formação de professores de Ciências e a "bioforia" midiática das células-tronco]. *Curriculo sem Fronteiras*, 12(2), pp.423–436. URL <https://www.curriculosemfronteiras.org/vol12iss2articles/ripoll.pdf>.
- [126] Robinson-Hill, R., 2018. The training future scientist program impact on pre-service teacher's fears to teach science and providing science access to underserved and marginalized elementary students in the midwest. In: L.G. Chova, A.L. Martinez and I.C. Torres, eds. *EDULEARN18: 10th International Conference on Education and New Learning Technologies*. IATED, EDULEARN Proceedings, pp.7241–7248. URL <https://doi.org/10.21125/edulearn.2018.1702>.
- [127] Robinson-Hill, R.M., 2022. The journey of a science teacher: preparing female students in the training future scientists after-school program. *Cultural Studies of Science Education*, 17(1), pp.99–132. URL <https://doi.org/10.1007/s11422-022-10112-9>.
- [128] Rouhani, M., Divitini, M. and Olso, A., 2021. Project-based learning and training of in-service teachers in programming: Projects as a bridge between train-

- ing and practice. In: T. Klinger, C. Kollmitzer and A. Pester, eds. *Proceedings of the 2021 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*. IEEE, IEEE Global Engineering Education Conference, pp.268–277. URL <https://doi.org/10.1109/EDUCON46332.2021.9453934>.
- [129] Rowe, S., Riggio, M., De Amicis, R. and Rowe, S.R., 2020. Teacher perceptions of training and pedagogical value of cross-reality and sensor data from smart buildings. *Education Sciences*, 10(9), pp.1–18. URL <https://doi.org/10.3390/educsci10090234>.
- [130] Rursch, J.A., Burkhardt, B. and Jacobson, D., 2009. Training non-IT teachers to advise and facilitate inquiry-based learning in IT: A pilot study. *Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE*. p.5350577. URL <https://doi.org/10.1109/FIE.2009.5350577>.
- [131] Salleh, M.F.M., Md Nasir, N.A. and Ismail, M.H., 2020. STEM Facilitators Training Programme: Trainee Teachers' Perceptions of the Impact on their Personal Growth as Future Teachers. *Asian Journal of University Education*, 16(3), pp.1–10. URL <https://doi.org/10.24191/ajue.v16i3.11091>.
- [132] Salloum, S.A., Khan, R. and Shaalan, K., 2020. A Survey of Semantic Analysis Approaches. In: A.E. Hassanien, A.T. Azar, T. Gaber, D. Oliva and F.M. Tolba, eds. *Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence and Computer Vision (AICV2020)*. Cham: Springer International Publishing, pp.61–70. URL https://doi.org/10.1007/978-3-030-44289-7_6.
- [133] Sanchez, A., Font, V. and Breda, A., 2022. Significance of creativity and its development in mathematics classes for preservice teachers who are not trained to develop students' creativity. *Mathematics Education Research Journal volume*, 34(4), pp.863–885. URL <https://doi.org/10.1007/s13394-021-00367-w>.

- [134] Savec, V.F., Hrast, S., Šuligoj, V. and Avsec, S., 2018. The innovative use of ICT in STEM teacher training programmes at the University of Ljubljana. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, 16(4), pp.421–427. URL [http://www.wiete.com.au/journals/WTE&TE/Pages/Vol.16,%20No.4%20\(2018\)/17-Ferk%20Savec-V.pdf](http://www.wiete.com.au/journals/WTE&TE/Pages/Vol.16,%20No.4%20(2018)/17-Ferk%20Savec-V.pdf).
- [135] Scaradozzi, D., Screpanti, L., Cesaretti, L., Storti, M. and Mazzieri, E., 2019. Correction to: Implementation and Assessment Methodologies of Teachers' Training Courses for STEM Activities (Technology, Knowledge and Learning, (2019), 24, 2, (247-268), 10.1007/s10758-018-9356-1). *Technology, Knowledge and Learning*, 24(2), p.269. URL <https://doi.org/10.1007/s10758-019-09406-9>.
- [136] Scaradozzi, D., Screpanti, L., Cesaretti, L., Storti, M. and Mazzieri, E., 2019. Implementation and Assessment Methodologies of Teachers' Training Courses for STEM Activities. *Technology, Knowledge and Learning*, 24(2), pp.247–268. URL <https://doi.org/10.1007/s10758-018-9356-1>.
- [137] Seals, C. and Valdiviejas, H., 2021. The Relation Between a Teacher-Based Growth Mindset Training and Minoritized Student Motivation in Mathematics. *Journal of Higher Education Theory and Practice*, 21(15), pp.53–74. URL <https://doi.org/10.33423/jhetp.v21i15.4891>.
- [138] Semerikov, S., Lytvynova, S. and Mintii, M., 2020. Implementation of a course on virtual and augmented reality means development for future STEM-disciplines teachers. *Modern informational technologies and innovative methods in professional training: methodology, theory, experience, problems*, (57), p.55–67. URL <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2020-57-55-67>.
- [139] Semerikov, S., Teplytskyi, I., Yechkalo, Y., Markova, O., Soloviev, V. and Kiv, A., 2020. Using spreadsheets as learning tools for computer simulation of neural

networks. *SHS Web of Conferences*, 75, p.04018. URL <https://doi.org/10.1051/shsconf/20207504018>.

- [140] Semerikov, S.O., Mintii, M.M. and Mintii, I.S., 2021. Review of the course “Development of Virtual and Augmented Reality Software” for STEM teachers: implementation results and improvement potentials. In: S.H. Lytvynova and S.O. Semerikov, eds. *Proceedings of the 4th International Workshop on Augmented Reality in Education (AREdu 2021), Kryvyi Rih, Ukraine, May 11, 2021*. CEUR-WS.org, *CEUR Workshop Proceedings*, vol. 2898, pp.159–177. URL <http://ceur-ws.org/Vol-2898/paper09.pdf>.
- [141] Seron Torrecilla, F.J. and Murillo Ligorred, V., 2020. Arte contemporáneo Y STEAM En La formación De Maestros De educación Primaria: Intersecciones Arte Y Ciencia. *AusArt*, 8(1), pp.65–76. URL <https://doi.org/10.1387/ausart.21462>.
- [142] Serrado Bayes, A. and Pavon Iglesias, M., 2019. Teacher training for professional development on modern education in science for Industry 4.0. In: L.G. Chova, A.L. Martinez and I.C. Torres, eds. *13th International Technology, Education and Development Conference (INTED2019)*. IATED, INTED Proceedings, pp.4757–4766. URL <https://doi.org/10.21125/inted.2019.1185>.
- [143] Seyihoglu, A., Kartal, A., Tekbiyik, A., Vekli, G.S. and Konur, K.B., 2021. The design and implementation of a teacher training program for improving teachers’ disaster literacy: Interdisciplinary disaster education program (IDEP). *Problems of Education in the 21st Century*, 79(5), pp.781–803. URL <https://doi.org/10.33225/pec/21.79.781>.
- [144] Shepiliev, D.S., Modlo, Y.O., Yechkalo, Y.V., Tkachuk, V.V., Mintii, M.M., Mintii, I.S., Markova, O.M., Selivanova, T.V., Drashko, O.M., Kalinichenko, O.O., Vakaliuk, T.A., Osadchyi, V.V. and Semerikov, S.O., 2021. WebAR development tools:

An overview. In: A.E. Kiv, S.O. Semerikov, V.N. Soloviev and A.M. Striuk, eds. *Proceedings of the 3rd Workshop for Young Scientists in Computer Science & Software Engineering (CS&SE@SW 2020), Kryvyi Rih, Ukraine, November 27, 2020. CEUR Workshop Proceedings*, vol. 2832, pp.84–93. URL <http://ceur-ws.org/Vol-2832/paper12.pdf>.

- [145] Shepiliev, D.S., Semerikov, S.O., Yechkalo, Y.V., Tkachuk, V.V., Markova, O.M., Modlo, Y.O., Mintii, I.S., Mintii, M.M., Selivanova, T.V., Maksyshko, N.K., Vakaliuk, T.A., Osadchyi, V.V., Tarasenko, R.O., Amelina, S.M. and Kiv, A.E., 2021. Development of career guidance quests using WebAR. *Journal of Physics: Conference Series*, 1840(1), p.012028. URL <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1840/1/012028>.
- [146] Shum, A., Lau, P. and Fryer, L., 2021. From learner to teacher: (re)training graduate teaching assistants' teaching approaches and developing self-efficacy for and interest in teaching. *Higher Education Research and Development*, 40(7), pp.1546–1563. URL <https://doi.org/10.1080/07294360.2020.1818063>.
- [147] Shyshenko, I.V., Martynenko, O.V., Chkana, Y.O., Udovychenko, O.M., Spas, T.R. and Semenikhina, O.V., 2022. A Mathematics Teacher's Training to Create a Maker Space in Mathematics Lessons by Means of GeoGebra. In: N. Vrcek, M. Koracic, V. Gradisnik, K. Skala, Z. Car, M. Cicin-Sain, S. Babic, S. V., D. Skvorc, A. Jovic, S. Gros, B. Vrdoljak, M. Mauher, E. Tijan, T. Katulic, J. Petrovic, T.G. Grbac and B. Kusen, eds. *2022 45th Jubilee International Convention on Information, Communication and Electronic Technology, MIPRO 2022 - Proceedings*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp.632–637. URL <https://doi.org/10.23919/MIPRO55190.2022.9803433>.
- [148] Siani, M., Stahi-Hitin, R. and Yarden, A., 2022. Student Opposition to Learning

Evolution and How Teachers Deal with This following a Teacher Training Course. *Journal of Science Teacher Education*, 33(7), pp.764–785. URL <https://doi.org/10.1080/1046560X.2021.2003934>.

- [149] Sidorovich, M., Tsurul, O., Romaniuk, R., Solona, Y., Kundelchuk, O., Koreneva, I. and Blazhko, O., 2022. Education for Sustainable Development in Training of Future Biology Teachers for Research Activity: An Applied Aspect. *Revista Romaneasca pentru Educatie Multidimensionala*, 14(2), pp.19–49. URL <https://doi.org/10.18662/rrem/14.2/565>.
- [150] Simmons, R. and Thompson, R., 2007. Aiming higher: How will universities respond to changes in initial teacher training for the post-compulsory sector in England? *Journal of Further and Higher Education*, 31(2), pp.171–182. URL <https://doi.org/10.1080/03098770701267663>.
- [151] Soler Garcia, C., Quintanilla Batallanos, V.A. and Aguilar Trujillo, D., 2018. Initial Teacher Training. A Democratic Process. *Revista Interuniversitaria de Formacion del Profesorado-RIFOP*, 92(32.2), pp.107–122.
- [152] Spirin, O.M., 2010. Information and communication and informatic competences as komponents of the system of professional-specialized competences of informatics teacher. *Information Technologies and Learning Tools*, 13(5). URL <https://doi.org/10.33407/itlt.v13i5.183>.
- [153] Spivakovsky, O.V., Omelchuk, S.A., Kobets, V.V., Valko, N.V. and Malchykova, D.S., 2023. Institutional policies on artificial intelligence in university learning, teaching and research. *Information Technologies and Learning Tools*, 97(5), p.181–202. URL <https://doi.org/10.33407/itlt.v97i5.5395>.
- [154] Striuk, M.I., Semerikov, S.O. and Striuk, A.M., 2015. Mobility: A systems approach. *Information Technologies and Learning Tools*, 49(5), p.37–70. URL <https://doi.org/>

10.33407/itlt.v49i5.1263.

- [155] Sundaram, R., 2015. TIES to STEM: University outreach model for teachers in K-12 STEM schools to be trained in engineering skills. *2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*. pp.1–4. URL <https://doi.org/10.1109/FIE.2015.7344244>.
- [156] Symaco, L.P. and Daniel, E.G.S., 2018. Curriculum, Pedagogy, Teacher Training and Recent Reforms in Primary Science Education. *Contemporary Trends and Issues in Science Education*, 47, pp.215–228. URL https://doi.org/10.1007/978-3-319-97167-4_11.
- [157] Syrovatskyi, O.V., Semerikov, S.O., Modlo, Y.O., Yechkalo, Y.V. and Zelinska, S.O., 2018. Augmented reality software design for educational purposes. In: A.E. Kiv, S.O. Semerikov, V.N. Soloviev and A.M. Striuk, eds. *Computer Science & Software Engineering : Proceedings of the 1st Student Workshop (CS&SE@SW 2018), Kryvyi Rih, Ukraine, November 30, 2018*. *CEUR Workshop Proceedings*, vol. 2292, pp.193–225. URL <https://ceur-ws.org/Vol-2292/paper20.pdf>.
- [158] Talley, A., Schmidt, K., Wood, K. and Crawford, R., 2008. Active Learning In Action, Understanding The Effects: What Happens When The “New” Wears Off In Teacher Training. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*. Pittsburgh, Pennsylvania: American Society for Engineering Education, pp.13.145.1 – 13.145.15. URL <https://doi.org/10.18260/1-2--3654>.
- [159] Taylor, A.S. and Hodgkinson, K., 2001. Subjecting the initial teacher training curriculum for England and Wales to the test of child protection. *Teacher Development*, 5(1), pp.75–86. URL <https://doi.org/10.1080/13664539700200146>.
- [160] Thomas, S.W., Campbell, S.W., Subramanyam, M.D. and Ellerbrock, C.R., 2019. Contemporary STEM Issues: Engineering Training of Pre-Service Teachers for Middle School STEM Curriculum Development (Evaluation). *ASEE Annual*

Conference and Exposition, Conference Proceedings. Tampa, Florida: American Society for Engineering Education. URL <https://doi.org/10.18260/1-2--32545>.

- [161] Tijani, B., Madu, N., Falade, T. and Dele-Ajayi, O., 2021. Teacher training during Covid-19: A case study of the virtual STEM project in Africa. In: T. Klinger, C. Kollmitzer and A. Pester, eds. *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON*. IEEE Computer Society, vol. 2021-April, pp.226–234. URL <https://doi.org/10.1109/EDUCON46332.2021.9453920>.
- [162] Tillinghast, R.C., Petersen, E.A., Kroth, W., Powers, G., Holzer, M., Osowski, J. and Mansouri, M., 2019. Bringing Geosciences to K-12 Classrooms: A Teacher Training Program Developed by the Sterling Hill Mining Museum. *2019 9th IEEE Integrated STEM Education Conference, ISEC 2019*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp.69–75. URL <https://doi.org/10.1109/ISECon.2019.8882052>.
- [163] Tkachuk, V.V. and Semerikov, S.O., 2021. *Theory and methodology of using mobile technologies for teaching informatics in the training of professionals in engineering pedagogy majoring in digital technologies, Theory and methods of e-learning*, vol. 12(1). Kryvyi Rih: Kryvyi Rih National University. URL <https://doi.org/10.55056/e-learn.v12i1>.
- [164] Tkachuk, V.V., Semerikov, S.O., Yechkalo, Y.V., Markova, O.M. and Mintii, M.M., 2020. WebAR development tools: comparative analysis. *Physical and Mathematical Education*, (2(24)). URL <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2020-024-2-021>.
- [165] Toldson, I.A. and Lewis, C.W., 2017. Advancing Teacher Training Programs at Historically Black Colleges and Universities through Technical Assistance and Federal Investments (Editor’s Commentary). *The Journal of Negro Education*, 86(2), pp.83–93. URL <https://doi.org/10.7709/jnegroeducation.86.2.0083>.
- [166] Tumasheva, O.V., Shashkina, M.B., Shkerina, L.V. and Valkova, Y.E., 2020. Electi-

ve courses for training the mathematics teachers to realise STEM approach. *Journal of Physics: Conference Series*, 1691(1), p.012225. URL <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1691/1/012225>.

- [167] Tzafilkou, K., Perifanou, M. and Economides, A.A., 2022. STEM Distance Teaching: Investigating STEM Teachers' Attitudes, Barriers, and Training Needs. *Education Sciences*, 12(11), p.790. URL <https://doi.org/10.3390/educsci12110790>.
- [168] UNESCO-UIS, 2015. *International Standard Classification of Education: Fields of education and training 2013 (ISCED-F 2013) – Detailed field descriptions*. Montreal: UNESCO Institute for Statistics. URL <https://doi.org/10.15220/978-92-9189-179-5-en>.
- [169] Valko, N. and Osadchyi, V., 2021. Principles of effective functioning of training system of future teachers of natural science and mathematics for STEM technologies usage. *SHS Web of Conferences*, 104, p.02016. URL <https://doi.org/10.1051/shsconf/202110402016>.
- [170] Valko, N.V. and Osadchyi, V.V., 2022. Review of state of computer vision technologies development in the world and Ukraine. *Journal of Physics: Conference Series*, 2288(1), p.012002. URL <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2288/1/012002>.
- [171] Velychko, V.E., Kaydan, N.V., Fedorenko, O.G. and Kaydan, V.P., 2022. Training of practicing teachers for the application of STEM education. *Journal of Physics: Conference Series*, 2288(1), p.012033. URL <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2288/1/012033>.
- [172] Villanueva, A.M., 2022. *New modalities and techniques of augmented reality in stem education*. Ph.D. thesis. Purdue University, West Lafayette, Indiana. URL <https://doi.org/10.25394/pgs.19653546.v1>.
- [173] Vold, E.T., 2017. Qualifying foreign language teachers: Is teacher training enough?

International Journal of Educational Research, 82, pp.40–53. URL <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2016.12.002>.

- [174] Waters, A., 1988. Teacher-training course design: A case study. *ELT Journal*, 42(1), pp.14–20. URL <https://doi.org/10.1093/elt/42.1.14>.
- [175] Weiner, S., Lande, M. and Jordan, S.S., 2020. 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), pp.702–711. URL <https://par.nsf.gov/servlets/purl/10214810>.
- [176] Wu, B., Hu, Y. and Wang, M., 2019. Scaffolding design thinking in online STEM preservice teacher training. *British Journal of Educational Technology*, 50(5), pp.2271–2287. URL <https://doi.org/10.1111/bjet.12873>.
- [177] Wu, X. and Zhang, Q., 2022. Remote Human-Computer Interaction and STEM Teacher Online Training Based on Embedded Internet of Things. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022, p.2896481. URL <https://doi.org/10.1155/2022/2896481>.
- [178] Yildirim, B., 2020. A Model Proposal for Teacher Training: STEM Teacher Institutes Training Model. *Pamukkale Üniversitesi eğitim fakültesi dergisi*, (50), pp.70–98. URL <https://doi.org/10.9779/pauefd.586603>.
- [179] Yoel, J., 2020. The Visibility of the English Language in the Linguistic Landscape of Two Teacher Training Colleges in Israel. *Journal of English as an International Language*, 15(1), pp.44–63. URL <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1259938.pdf>.
- [180] Zapata-Rivera, L.F., Aranzazu-Suescun, C. and Larrondo-Petrie, M.M., 2020. Teacher Training Plan for Engineering Online Laboratories Composition. *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*. Latin American and Caribbean Consortium of Engineering

Institutions. URL <https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.672>.

- [181] Бойченко, В.В., 2021. *Організаційно-педагогічні засади STEM-освіти у старшій середній школі США*. Дисертація доктора філософії: спец. 011 – Освітні, педагогічні науки. Сумський державний педагогічний університет імені А. С. Макаренка, Суми. URL <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0821U101809>.
- [182] Валько, Н.В., 2020. *Система підготовки майбутніх учителів природничо-математичних дисциплін до застосування STEM технологій у професійній діяльності*. Дисертація ... доктора педагогічних наук: спец. 13.00.04 – Теорія і методика професійної освіти. Херсонський державний університет, Херсон. URL <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0520U101565/>.
- [183] Верховна Рада України, 2015. Про Заяву Верховної Ради України “Про відсіч збройній агресії Російської Федерації та подолання її наслідків”. Постанова від 21 квітня 2015 року № 337-VIII. URL <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/337-19#Text>.
- [184] Верховна Рада України, 2022. Про організацію роботи Верховної Ради України у зв’язку з актом збройної агресії Російської Федерації проти України 24 лютого 2022 року. Постанова від 24 лютого 2022 року № 2103-IX. URL <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2103-20#Text>.
- [185] Гнедко, Н.М., 2015. *Формування готовності майбутніх учителів до застосування засобів віртуальної наочності у професійній діяльності*. Дисертація ... кандидата педагогічних наук: спец. 13.00.04 – Теорія і методика професійної освіти. Рівненський державний гуманітарний університет, Рівне. URL <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0415U006712>.
- [186] Данилов, С.М., 2014. *Віртуальна реальність як середовище апробації інноваційних технологій в архітектурі*. Дисертація ... кандидата архітектури: спец.

18.00.01 – Теорія архітектури, реставрація пам'яток архітектури. Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків. URL <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0414U003479>.

- [187] Кабінет Міністрів України, 2020. Про схвалення Концепції розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти). Розпорядження від 5 серпня 2020 р. № 960-р Київ. URL <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-%D1%80#Text>.
- [188] Кабінет Міністрів України, 2022. Про схвалення Стратегії розвитку вищої освіти в Україні на 2022—2032 роки. Розпорядження від 23 лютого 2022 р. № 286-р. URL <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/286-2022-%D1%80#Text>.
- [189] Кузьменко, О.С., 2020. *Теоретичні і методичні засади навчання фізики студентів технічних закладів вищої освіти на основі технологій STEM-освіти*. Доктор педагогічних наук: спец.. 13.00.02 – Теорія і методика навчання (з галузей знань). Центральноукраїнський державний педагогічний університет імені Володимира Винниченка, Кропивницький. URL <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0520U100174/>.
- [190] Лі, В.Г., 2000. *Геометричний інструментарій синтезу середовища віртуальної реальності стосовно до тренажерів*. Дисертація ... доктора технічних наук: спец. 05.01.01 – Прикладна геометрія, інженерна графіка). Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ. URL <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0500U000243>.
- [191] Маковейчук, О.М., 2020. *Моделі, методи та інформаційна технологія побудови і використання візуальних інформаційних структур доповненої реальності*. Дисертація ... доктора технічних наук: спец. 05.13.06 – Інформаційні технології. Харківський національний університет радіоелектроніки, Хар-

ків. URL <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0521U100056>.

- [192] Мельниченко, Л.І., 2022. *Формування дослідницьких умінь майбутніх учителів початкової школи засобами STEM-технологій*. Дисертація доктора філософії: спец. 011 – Освітні, педагогічні науки. Університет Григорія Сковороди в Переяславі, Переяслав. URL <https://drive.google.com/file/d/1YTI6fvfXG--Y7S3F66ohLsCVwGSF5hT/view?usp=sharing>.
- [193] Мінтій, І. С. and Мінтій, М. М., 2019. Проєктування засобів доповненої реальності навчального призначення. In: Вакалюк, Т. А. and Литвинова, С. Г., eds. *Інформаційні технології у вищій школі*. Житомир: Вид-во ФОП “О. О. Євенок”, p.290–306. URL <https://doi.org/10.31812/123456789/3607>.
- [194] Мінтій, М. and Мінтій, І., 2020. МООС як форма підвищення ІКТ-компетентності педагогічних працівників. *Збірник наукових праць здобувачів вищої освіти Криворізького державного педагогічного університету*. Кривий Ріг: Криворізький державний педагогічний університет, p.77–79. URL <https://doi.org/10.31812/123456789/4202>.
- [195] Похлестова, О.Ю., 2022. *Технології доповненої реальності як засіб підтримки навчально-дослідницької діяльності учнів з хімії в 11-х класах*. Кваліфікаційна робота. Криворізький державний педагогічний університет, Кривий Ріг. URL <https://elibrary.kdpu.edu.ua/handle/123456789/6870>.
- [196] Пікалова, В.В., 2021. *Використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики*. Дисертація ... кандидата педагогічних наук: спец. 13.00.10 – Інформаційно-комунікаційні технології в освіті. Криворізький державний педагогічний університет, Кривий Ріг. URL <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0421U103003>.

- [197] Семеріков, С. О. and Мінтій, М. М., 2023. *Вступ до проєктування цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю : навчальний посібник до курсу “Інноваційні цифрові технології в освіті”*. Кривий Ріг. URL <http://elibrary.kdpu.edu.ua/xmlui/handle/123456789/7850>.
- [198] Семеріков, С.О., 2022. *Інноваційні цифрові технології в освіті : електронний навчальний курс. Система управління електронними навчальними курсами КДПУ*. URL <https://moodle.kdpu.edu.ua/course/view.php?id=753>.
- [199] Фокі, М.В., 2022. *Методика навчання розробки доповненої реальності для web із інтегрованими моделями машинного навчання*. Кваліфікаційна робота студента групи Ім-17, ступінь вищої освіти «магістр» спеціальності 014.09 Середня освіта (Інформатика). Криворізький державний педагогічний університет, Кривий Ріг. URL <https://elibrary.kdpu.edu.ua/handle/123456789/6817>.
- [200] Шагова, О.Ю., 2020. *Формування готовності майбутніх офіцерів Збройних Сил України до застосування STEM-технологій у професійній діяльності*. Дисертація ... кандидата педагогічних наук: спец. 13.00.04 – Теорія і методика професійної освіти. Військова академія (м. Одеса), Одеса. URL <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0420U102110/>.
- [201] Шевченко, А.И., Иванова, С.Б., Гудаев, О.А., Жебель, Л.С., Пигуз, В.Н., Коротыч, Н.М., Некрашевич, С.П., Бойко, А.В., Вороной, А.С., Сиденко, А.В., Склярченко, И.А. and Фадеев, Ф.Ф., 2010. *Розробка інтелектуальної системи моніторингу учбового процесу дистанційного навчання, що використовує шифрування керуючої інформації маркерами розширеної реальності*. (0211U000957). Донецьк: Інститут проблем штучного інтелекту Міністерства освіти і науки України і Національної академії наук України. URL <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0211U000957>.

ДОДАТОК А

Анкета “Умови підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності”

Шановні колеги!

З метою добору умов підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності просимо Вас оцінити їх значущість за 5-тибальною шкалою (1 – зовсім незначуща, 2 – незначуща, 3 – хай буде, 4 – значуща, 5 – дуже значуща) та надати Ваші рекомендації.

З повагою,

Михайло Мінтій,

аспірант Криворізького державного педагогічного університету,

вчитель фізики та інформатики КСШ № 9 (м. Кривий Ріг)

mikhail.mintii9@gmail.com

Наявність обладнаних аудиторій у ЗВО (імерсивних лабораторій, аудиторій з віртуальною та доповненою реальністю)

	1	2	3	4	5	
зовсім незначуща	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	дуже значуща

Наявність мобільних (портативних, переносних, частково енергонезалежних) засобів для доповненої реальності: ноутбуки, планшети, смартфони, окуляри доповненої реальності тощо

зовсім незначуща 1 2 3 4 5 дуже значуща

Доступність предметних (інформатика, фізика, математика, хімія, біологія, технології тощо) цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю, спеціально розроблених для майбутніх викладачів STEM-дисциплін.

зовсім незначуща 1 2 3 4 5 дуже значуща

Доступність міжпредметних (трансдисциплінарних) цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю, спеціально розроблених для майбутніх викладачів STEM-дисциплін.

зовсім незначуща 1 2 3 4 5 дуже значуща

Доступність цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю для психолого-педагогічної підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін.

зовсім незначуща 1 2 3 4 5 дуже значуща

Застосування інтерактивних технологій у процесі підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін.

зовсім незначуща 1 2 3 4 5 дуже значуща

Застосування дослідницького та проектного методів у процесі підготовки.

зовсім незначуща 1 2 3 4 5 дуже значуща

Залучення студентів до адаптації, розробки, тестування та впровадження цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю.

зовсім незначуща 1 2 3 4 5 дуже значуща

Організація педагогічної практики з використанням технологій доповненої ре-

альності.

зовсім незначуща 1 2 3 4 5 дуже значуща

Організація самостійної роботи з використанням технологій доповненої реальності.

зовсім незначуща 1 2 3 4 5 дуже значуща

Організація дистанційного навчання з використанням технологій доповненої реальності.

зовсім незначуща 1 2 3 4 5 дуже значуща

Застосування систем підтримки навчання.

зовсім незначуща 1 2 3 4 5 дуже значуща

Добір, пристосування, адаптація тощо цифрових ресурсів із доповненою реальністю для освітньої діяльності зі STEM-дисциплін.

зовсім незначуща 1 2 3 4 5 дуже значуща

Набуття практичного досвіду застосування технологій доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін.

зовсім незначуща 1 2 3 4 5 дуже значуща

Уведення до змісту підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін питань, пов'язаних із використанням доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін.

зовсім незначуща 1 2 3 4 5 дуже значуща

Уведення до змісту підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін спецкурсу із розробки цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю.

зовсім незначуща 1 2 3 4 5 дуже значуща

Створення хмаро зорієнтованого навчально-методичного комплексу із розробки цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю для майбутніх викладачів STEM-дисциплін.

зовсім незначуща 1 2 3 4 5 дуже значуща

Залучення студентів до конкурсів із розробки цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю.

зовсім незначуща 1 2 3 4 5 дуже значуща

Позитивна мотивація до застосування технологій доповненої реальності у навчанні STEM-дисциплін.

зовсім незначуща 1 2 3 4 5 дуже значуща

Ведення освітнього сайту, блогу, каналу для викладачів STEM-дисциплін із питань імерсивних технологій навчання, проведення “неконференцій”, семінарів, педагогічних майстерень тощо.

зовсім незначуща 1 2 3 4 5 дуже значуща

Які умови підготовки майбутніх викладачів STEM-дисциплін до застосування технологій доповненої реальності у професійній діяльності запропонували б Ви?

[факультативне поле для уведення власної відповіді]

Ваша посада

- студент
- учитель
- науковий співробітник

- викладач ЗВО

Чи є Ви викладачем STEM-дисциплін?

- так
- ні

Вкажіть Ваш стаж роботи

- до 3 років
- до 5 років
- 5-10 років
- 11-15 років
- 16-20 років
- 21-30 років
- 31-40 років
- 41-50 років
- понад 50 років

Оцініть свій рівень застосування доповненої реальності у власній професійній діяльності

- не застосовую
- застосовую готові засоби доповненої реальності
- можу розробляти власні засоби доповненої реальності
- інше – можливість уведення власної відповіді

Якщо Ви бажаєте слідкувати за розвитком цього дослідження, вкажіть Вашу адресу електронної пошти

[факультативне поле для уведення власної відповіді]

ДОДАТОК Б

Робоча програма навчальної дисципліни “Інноваційні цифрові технології в освіті”

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Фізико-математичний факультет
Кафедра інформатики та прикладної математики

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор

_____ О. Остроушко

«29» серпня 2022 р.

Робоча програма навчальної дисципліни «ІННОВАЦІЙНІ ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ»

Ступінь вищої освіти	магістр
Галузь знань	01 Освіта/Педагогіка
Спеціальність	014 Середня освіта
Предметні спеціальності	014.09 Середня освіта (Інформатика) 014.04 Середня освіта (Математика) 014.06 Середня освіта (Хімія) 014.08 Середня освіта (Фізика) 014.10 Середня освіта (Трудове навчання та технології)
Додаткова спеціалізація	Програмування
Освітня програма	Інформатика. Програмування Математика. Інформатика Хімія. Інформатика Фізика. Інформатика Трудове навчання та технології. Інформатика

1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ

Робоча програма навчальної дисципліни «Інноваційні цифрові технології в освіті» для здобувачів вищої освіти ступеня магістра предметної (у тому числі додаткової) спеціальності 014.09 Середня освіта (Інформатика).

Розробники робочої програми:

Семеріков С. О., д. пед. н., професор, старший дослідник;

Мінтій М. М., аспірант.

Робоча програма навчальної дисципліни затверджена на засіданні кафедри інформатики та прикладної математики «23» травня 2022 р., протокол № 12.

Робоча програма навчальної дисципліни затверджена на засіданні науково-методичної ради університету «26» серпня 2022 р., протокол № 1.

Завідувач кафедри

В. М. Соловйов

2. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Навчальна дисципліна Інноваційні цифрові технології в освіті

Статус обов'язкова

Мова навчання українська

Форма навчання	Курс	Семестр	Загальний обсяг (кредити / години)	Розподіл годин							Форма семестрового контролю
				Аудиторні заняття						Самостійна робота	
				Разом	Лекції	Семінарські заняття	Практичні заняття	Лабораторні заняття	Індивідуальні заняття		
Денна	1	2	3/90	48	16			32		42	залік

3. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Навчальна дисципліна передбачена структурно-логічною схемою підготовки фахівців ступеня магістра за освітніми програмами «Інформатика. Програмування», «Математика. Інформатика», «Хімія. Інформатика», «Фізика. Інформатика», «Трудове навчання та технології. Інформатика». Вона пов'язана з такими навчальними дисциплінами, як «Веб-програмування», «Розробка цифрових освітніх ресурсів», «Людино-машинна взаємодія». Передумовами опанування навчальної дисципліни є: знання основ веб-технологій і синтаксису мови JavaScript.

Мета навчальної дисципліни: формування здатності до проектування іммерсивних освітніх ресурсів із використання доцільно дібраних засобів.

Основні завдання:

- ознайомити студентів із основними ідеологіями та засобами розробки імерсивних освітніх ресурсів;
- сформулювати усвідомлення особливостей різних засобів проектування;
- набуття студентами розуміння переваг та обмежень веб-розробки;
- навчити проектувати та реалізовувати імерсивні освітні ресурси.

Очікувані результати навчання:

- *знати* перспективні технології та способи їх визначення;
- *вміти*: проектувати імерсивні освітні ресурси з використання доцільно дієбраних засобів.

Вивчення навчальної дисципліни «Інноваційні цифрові технології в освіті» забезпечує формування у здобувачів освіти таких загальних (ЗК) та спеціальних (СК) компетентностей і програмних результатів навчання (ПРН):

ЗК 01. Здатність діяти відповідально і свідомо на засадах поваги до прав і свобод людини та громадянина; реалізовувати свої права та обов'язки; усвідомлювати цінності громадянського суспільства та необхідність його сталого розвитку (громадянська компетентність).

ЗК 02. Здатність до міжособистісної взаємодії, роботи в команді, спілкування з представниками інших професійних груп різного рівня (соціальна компетентність).

ЗК 03. Здатність виявляти повагу та цінувати українську національну культуру, багатоманітність і мультикультурність у суспільстві; здатність до вираження національної культурної ідентичності, творчого самовираження (культурна компетентність).

ЗК 04. Здатність до прийняття ефективних рішень у професійній діяльності та відповідального ставлення до обов'язків, мотивування людей до досягнення

спільної мети (лідерська компетентність).

ЗК 05. Здатність до генерування нових ідей, виявлення та розв'язання проблем, ініціативності та підприємливості (підприємницька компетентність).

СК 01. Мовно-комунікативна компетентність: здатність забезпечувати здобуття учнями освіти державною мовою; здатність формувати і розвивати мовно-комунікативні уміння та навички учнів.

СК 11. Здатність проектувати та розробляти програмне забезпечення із застосуванням різних парадигм програмування: структурного, об'єктно-орієнтованого, функціонального, логічного, з відповідними моделями, методами та алгоритмами обчислень, структурами даних і механізмами управління.

ПР 01. Знання вимог до результатів навчання учнів за нормативними освітніми документами; ґрунтовні знання навчального предмета «Інформатика»; знання та уміння реалізовувати інтегроване навчання; знання форм, методів та засобів навчання, виховання і розвитку учнів різних вікових груп засобами інформатики; уміння упроваджувати технології та методики особистісно зорієнтованого, компетентнісного та інтегрованого навчання, виховання і розвитку учнів.

ПР 11. Функціональна грамотність та інформаційна культура у використанні цифрових пристроїв в освітньому процесі.

4. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Змістовий модуль № 1

«Розробка імерсивних освітніх ресурсів у A-Frame та AR.js»

Тема 1. Як технології, що виникають, формують майбутнє освіти

- Створення простої сцени у A-Frame
- Локалізація сцени та додавання текстур

Тема 2. Доповнена реальність: історія, теорія, методика

- Перше підключення AR.js
- Віртуальна Сонячна система у A-Frame

Тема 3. Технології та академічна доброчесність

- Опрацювання подій та створення користувацьких маркерів
- Одночасне використання декількох маркерів

Змістовий модуль № 2

«Розробка імерсивних освітніх ресурсів у Three.js та AR.js»

Тема 4. Штучні нейронні мережі

- Початок роботи у Three.js. Створення геометрій та матеріалів у Three.js
- Створення користувацьких шейдерів у Three.js

Тема 5. Мобільне навчання

- Управління світлом та камерою
- 360-градусний огляд сцени

Тема 6. Квантова трансформація освіти

- Завантаження текстур та моделей
- Спільне використання Three.js та AR.js

Змістовий модуль № 3

«Комплексне проктування імерсивних освітніх ресурсів»

Тема 7. Штучний інтелект та машинне навчання

- Геокоординати та природні зображення як маркери доповненої реальності
- Обличчя як маркер

Тема 8. Перспективні технології в освіті

- Безмаркерна доповнена реальність із 8th Wall

5. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

№	Назви змістових модулів і тем	Кількість годин			Кількість годин		
		денна форма навчання			заочна форма навчання		
		усього	у тому числі		усього	у тому числі	
лек.	лаб.		с.р.	лек.		лаб.	с.р.
МОДУЛЬ № 1							
<i>Змістовий модуль № 1 «Розробка імерсивних освітніх ресурсів у A-Frame та AR.js»</i>							
1	Як технології, що виникають, формують майбутнє освіти		2	0	4		
2	Доповнена реальність: історія, теорія, методика		2	0	4		
3	Технології та академічна доброчесність		2	10	4		
Разом за змістовим модулем № 1			6	10	12		
<i>Змістовий модуль № 2 «Розробка імерсивних освітніх ресурсів у Three.js та AR.js»</i>							
1	Штучні нейронні мережі		2	0	4		
2	Мобільність		2	0	6		
3	Мобільне навчання		2	10	6		
Разом за змістовим модулем № 2			6	10	16		
<i>Змістовий модуль № 3 «Комплексне проектування імерсивних освітніх ресурсів»</i>							
1	Квантова трансформація освіти		2	0	6		
2	Штучний інтелект та машинне навчання		2	12	8		
Разом за змістовим модулем № 3			4	12	14		
Разом за дисципліною			16	32	42		

ТЕМИ ЛЕКЦІЙ

Денна форма навчання

№	Назва теми	Обсяг (годин)
1	Як технології, що виникають, формують майбутнє освіти	2
2	Доповнена реальність: історія, теорія, методика	2
3	Технології та академічна доброчесність	2
4	Штучні нейронні мережі	2
5	Мобільність	2
6	Мобільне навчання	2
7	Квантова трансформація освіти	2
8	Штучний інтелект та машинне навчання	2

ТЕМИ ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

Денна форма навчання

№	Назва теми	Обсяг (годин)
1	Розробка імерсивних освітніх ресурсів у A-Frame та AR.js	10
2	Розробка імерсивних освітніх ресурсів у Three.js та AR.js	10
3	Комплексне проектування імерсивних освітніх ресурсів	12

ТЕМИ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ОПРАЦЮВАННЯ

Денна форма навчання

№	Назва теми	Обсяг (годин)
1	Створення простої сцени у A-Frame	2
2	Локалізація сцени та додавання текстур	2
3	Перше підключення AR.js	3
4	Віртуальна Сонячна система у A-Frame	3
5	Опрацювання подій та створення користувацьких маркерів	2
6	Одночасне використання декількох маркерів	3
7	Початок роботи у Three.js. Створення геометрій та матеріалів у Three.js	3
8	Створення користувацьких шейдерів у Three.js	2
9	Управління світлом та камерою	3
10	360-градусний огляд сцени	3
11	Завантаження текстур та моделей	2
12	Спільне використання Three.js та AR.js	3
13	Геокоординати та природні зображення як маркери доповненої реальності	3
14	Обличчя як маркер	2
15	Безмаркерна доповнена реальність із 8th Wall	3
16	Розробка імерсивного освітнього ресурсу	3

6. МЕТОДИ ТА ФОРМИ НАВЧАННЯ

- Словесні (лекція, обговорення)
- Наочні (презентація, метод демонстраційних програм)
- Практичні (лабораторні роботи)
- Проблемні (ситуативний, евристичний)

- Дослідницькі (моделювання)

7. МЕТОДИ ТА ФОРМИ КОНТРОЛЮ

- Перевірка лабораторних робіт
- Усний контроль у вигляді індивідуального опитування на лабораторних заняттях
- Контроль самостійної роботи

8. ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

№	Назва теми	Балів
1	Створення простої сцени у A-Frame	3
2	Локалізація сцени та додавання текстур	4
3	Перше підключення AR.js	4
4	Віртуальна Сонячна система у A-Frame	4
5	Опрацювання подій та створення користувацьких маркерів	3
6	Одночасне використання декількох маркерів	5
7	Початок роботи у Three.js. Створення геометрій та матеріалів у Three.js	4
8	Створення користувацьких шейдерів у Three.js	3
9	Управління світлом та камерою	3
10	360-градусний огляд сцени	3
11	Завантаження текстур та моделей	3
12	Спільне використання Three.js та AR.js	5
13	Геокоординати та природні зображення як маркери доповненої реальності	4
14	Обличчя як маркер	3
15	Безмаркерна доповнена реальність із 8th Wall	4
16	Розробка імерсивних освітніх ресурсів у A-Frame та AR.js	15
17	Розробка імерсивних освітніх ресурсів у Three.js та AR.js	15
18	Комплексне проектування імерсивних освітніх ресурсів	15
		100

9. ІНСТРУМЕНТИ, ОБЛАДНАННЯ, ПРОГРАМНЕ

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Інтернет-доступний комп'ютер із бібліотеками A-Frame, Three.js, AR.js, MindAR.

10. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

Основна література

1. Tkachuk, V.V. and Semerikov, S.O., 2021. *Theory and methodology of using mobile technologies for teaching informatics in the training of professionals in engineering pedagogy majoring in digital technologies, Theory and methods of e-learning*, vol. 12(1). Kryvyi Rih: Kryvyi Rih National University. URL <https://doi.org/10.55056/e-learn.v12i1>.
2. Dirksen, J., 2018. *Learn Three.js: Programming 3D animations and visualizations for the web with HTML5 and WebGL*. 3rd ed. Packt Publishing.
3. Lehka, L.V., 2021. *Methods of teaching the basics of quantum informatics to lyceums students*. The dissertation submitted for scientific degree of Doctor of Philosophy) on specialty 014 Secondary education (Informatics). Kryvyi Rih State Pedagogical University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kryvyi Rih,. URL <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0822U100648>.

Допоміжна література

4. Striuk, M.I., Semerikov, S.O. and Striuk, A.M., 2015. Mobility: A systems approach. *Information Technologies and Learning Tools*, 49(5), p.37–70. URL <https://doi.org/10.33407/itlt.v49i5.1263>.
5. Syrovatskyi, O.V., Semerikov, S.O., Modlo, Y.O., Yechkalo, Y.V. and Zelinska, S.O., 2018. Augmented reality software design for educational purposes. In: A.E. Kiv, S.O. Semerikov, V.N. Soloviev and A.M. Striuk, eds. *Computer Science & Software Engineering : Proceedings of the 1st Student Workshop (CS&SE@SW 2018), Kryvyi Rih, Ukraine, November 30, 2018. CEUR Workshop Proceedings*, vol. 2292, pp.193–225. URL <https://ceur-ws.org/Vol-2292/paper20.pdf>.
6. Semerikov, S., Teplytskyi, I., Yechkalo, Y., Markova, O., Soloviev, V. and Kiv, A.,

2020. Using spreadsheets as learning tools for computer simulation of neural networks. *SHS Web of Conferences*, 75, p.04018. URL <https://doi.org/10.1051/shsconf/20207504018>.

Інші інформаційні ресурси

7. Семеріков, С.О., 2022. Інноваційні цифрові технології в освіті : електронний навчальний курс. *Система управління електронними навчальними курсами КДПУ*. URL <https://moodle.kdpu.edu.ua/course/view.php?id=753>.
8. Extended Reality for Everybody Specialization, 2022. URL <https://www.coursera.org/specializations/extended-reality-for-everybody>.

ДОДАТОК В

Список публікацій М. М. Мінтія за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації

В.1. Список публікацій М. М. Мінтія за темою дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Semerikov, S., Lytvynova, S. and Mintii, M., 2020. Implementation of a course on virtual and augmented reality means development for future STEM-disciplines teachers. *Modern informational technologies and innovative methods in professional training: methodology, theory, experience, problems*, (57), p.55–67. URL <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2020-57-55-67>. **(стаття у журналі, включеному до переліку наукових фахових видань України)**
2. Tkachuk, V.V., Semerikov, S.O., Yechkalo, Y.V., Markova, O.M. and Mintii, M.M., 2020. WebAR development tools: comparative analysis. *Physical and Mathematical Education*, (2(24)). URL <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2020-024-2-021>. **(стаття у журналі, включеному до переліку наукових фахових видань України)**
3. Mintii, M.M., 2023. Selection of pedagogical conditions for training STEM teachers to use augmented reality technologies in their work. *Educational Dimension*, 8, p.212–239. URL <https://doi.org/10.31812/educdim.4951>. **(стаття у журналі, включеному до переліку наукових фахових видань України)**
4. Mintii, M.M., 2023. STEM education and personnel training: systematic review. *Journal of Physics: Conference Series*, 2611(1), p.012025. URL <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2611/1/012025>. **(стаття у зарубіжному науковому виданні, проіндексована у Scopus)**

Наукові праці, які засвідчують наукові результати дисертації

5. Mintii, M., 2020. The course “Development of virtual and AR software” for STEM teachers. *SHS Web of Conferences*, 75, p.04015. URL <https://doi.org/10.1051/shsconf/20207504015>. **(стаття у зарубіжному науковому виданні)**
6. Shepiliev, D.S., Semerikov, S.O., Yechkalo, Y.V., Tkachuk, V.V., Markova, O.M., Modlo, Y.O., Mintii, I.S., Mintii, M.M., Selivanova, T.V., Maksyshko, N.K., Vakaliuk, T.A., Osadchyi, V.V., Tarasenko, R.O., Amelina, S.M. and Kiv, A.E., 2021. Development of career guidance quests using WebAR. *Journal of Physics: Conference Series*, 1840(1), p.012028. URL <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1840/1/012028>. **(стаття у зарубіжному науковому виданні, проіндексована у Scopus)**
7. Shepiliev, D.S., Modlo, Y.O., Yechkalo, Y.V., Tkachuk, V.V., Mintii, M.M., Mintii, I.S., Markova, O.M., Selivanova, T.V., Drashko, O.M., Kalinichenko, O.O., Vakaliuk, T.A., Osadchyi, V.V. and Semerikov, S.O., 2021. WebAR development tools: An overview. In: A.E. Kiv, S.O. Semerikov, V.N. Soloviev and A.M. Striuk, eds. *Proceedings of the 3rd Workshop for Young Scientists in Computer Science & Software Engineering (CS&SE@SW 2020)*, Kryvyi Rih, Ukraine, November 27, 2020. *CEUR Workshop Proceedings*, vol. 2832, pp.84–93. URL <http://ceur-ws.org/Vol-2832/paper12.pdf>. **(стаття у зарубіжному науковому виданні, проіндексована у Scopus)**
8. Semerikov, S.O., Mintii, M.M. and Mintii, I.S., 2021. Review of the course “Development of Virtual and Augmented Reality Software” for STEM teachers: implementation results and improvement potentials. In: S.H. Lytvynova and S.O. Semerikov, eds. *Proceedings of the 4th International Workshop on Augmented Reality in Education (AREdu 2021)*, Kryvyi Rih, Ukraine, May 11, 2021. *CEUR-WS.org, CEUR Workshop Proceedings*, vol. 2898, pp.159–177. URL <http://ceur-ws.org/Vol-2898/paper09.pdf>. **(стаття у зарубіжному науковому виданні, проіндексована у Scopus та**

Web of Science)

9. Mintii, M.M., Sharmanova, N.M., Mankuta, A.O., Palchevska, O.S. and Semerikov, S.O., 2023. Selection of pedagogical conditions for training STEM teachers to use augmented reality technologies in their work. *Journal of Physics: Conference Series*, 2611(1), p.012022. URL <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2611/1/012022>. **(стаття у зарубіжному науковому виданні, проіндексована у Scopus)**
- Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації*
10. Мінтій, І. С. and Мінтій, М. М., 2019. Проектування засобів доповненої реальності навчального призначення. In: Вакалюк, Т. А. and Литвинова, С. Г., eds. *Інформаційні технології у вищій школі*. Житомир: Вид-во ФОП “О. О. Євенок”, p.290–306. URL <https://doi.org/10.31812/123456789/3607>. **(стаття у монографії)**
11. Mintii, I.S., Shokaliuk, S.V., Vakaliuk, T.A., Mintii, M.M. and Soloviev, V.N., 2019. Import test questions into Moodle LMS. *Educational Dimension*, 1, p.111–124. URL <https://doi.org/10.31812/educdim.v53i1.3836>. **(стаття у науковому періодичному виданні України)**
12. Mintii, I.S., Bondarenko, O.V., Shokaliuk, S.V., Polhun, K.V. and Mintii, M.M., 2020. Analysis of the use of LCMS Moodle in the educational process of KrSPU. *Educational Dimension*, 3, p.368–383. URL <https://doi.org/10.31812/educdim.v55i0.4366>. **(стаття у журналі, включеному до переліку наукових фахових видань України)**
13. Mintii, I.S., Shokaliuk, S.V., Vakaliuk, T.A., Merzlykin, O.V. and Mintii, M.M., 2020. Development of a Standard Moodle Course to Optimize the Teacher’s Work in Distance Education. *Universal Journal of Educational Research*, 8(12), pp.6659–6666. URL <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.081230>. **(стаття у зарубіжному науковому виданні)**

14. Мінтій, М. and Мінтій, І., 2020. MOOC як форма підвищення ІКТ-компетентності педагогічних працівників. *Збірник наукових праць здобувачів вищої освіти Криворізького державного педагогічного університету*. Кривий Ріг: Криворізький державний педагогічний університет, р.77–79. URL <https://doi.org/10.31812/123456789/4202>. **(тези доповіді)**
15. Mintii, M.M., 2023. Exploring the landscape of STEM education and personnel training: a comprehensive systematic review. *Educational Dimension*. URL <https://doi.org/10.31812/ed.583>. **(стаття у журналі, включеному до переліку наукових фахових видань України)**
16. Семеріков, С. О. and Мінтій, М. М., 2023. *Вступ до проектування цифрових освітніх ресурсів із доповненою реальністю : навчальний посібник до курсу “Інноваційні цифрові технології в освіті”*. Кривий Ріг. URL <http://elibrary.kdpu.edu.ua/xmlui/handle/123456789/7850>. **(навчальний посібник)**

В.2. Відомості про апробацію результатів дисертації М. М. Мін- тія

Назва	Місце та дата проведення	Форма участі
The International Conference on History, Theory and Methodology of Learning (ICHTML 2020)	Kryvyi Rih, Ukraine, May 13-15, 2020	очна
XII International Conference on Mathematics, Science and Technology Education (ICon-MaSTEd 2020)	Kryvyi Rih, Ukraine, October 15-17, 2020	очна
3rd Workshop for Young Scientists in Computer Science and Software Engineering (CS&SE@SW 2020)	Kryvyi Rih, Ukraine, November 27, 2020	очна
4th International Workshop on Augmented Reality in Education (AREdu 2021)	Kryvyi Rih, Ukraine, May 11, 2021	очна
XV International Conference on Mathematics, Science and Technology Education (ICon-MaSTEd 2023)	Kryvyi Rih, Ukraine, May 17-19, 2023	очна