



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО ИНФОРМАЦИОННИ И
КОМУНИКАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ

Пламен Димитров Петров

**МОДЕЛИ И МЕТОДИ ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ НА ВИРТУАЛНА И
ДОБАВЕНА РЕАЛНОСТ В ОБРАЗОВАНИЕТО**

ДИСЕРТАЦИЯ

за присъждане на образователна и научна степен „доктор“
по докторска програма „Информатика“,
професионално направление 4.6. “Информатика и компютърни науки“

Научен ръководител: доц. д-р Татяна Атанасова

София, 2022 г.

Съдържание	
Съдържание	2
Речник на термини и съкращения, използвани в дисертационния труд	4
Увод	6
Структура на дисертацията	7
Глава 1. Анализ на съвременни модели и методи на преподаване	9
1.1 Съвременни направления и технологии в е-обучение	9
1.1.1 Микрообучение (Microlearning)	11
1.1.2 Смесено обучение (blended learning)	11
1.1.3 Игровизация (Gamification).....	11
1.1.4 Онлайн менторски програми	12
1.1.5 Мобилно обучение (Mobile learning).....	12
1.1.6 Стандарти за електронно обучение	12
1.1.7 Персонализирано обучение	14
1.1.8 Адаптивно обучение (Adaptive Learning).....	15
1.2 Виртуална, добавена и смесена реалност	16
1.2.1 AR/VR - Виртуална и добавена реалност в образованието.....	21
1.2.2 Цели и възможности при използването на AR/VR в образованието	23
1.2.3 Предизвикателства и рискове от използването на AR и VR в образованието	23
1.2.4 Области на приложение на AR и VR в образованието	24
1.2.5 Модели за използване AR/VR в образованието	26
1.3 Изводи.....	32
1.4 Цел и задачи на дисертационния труд.....	32
Глава 2. Модели за приложение на добавена и виртуална реалност в обучението	33
2.1. AR/ VR инструменти	34
2.2 Модел за приложение на AR/VR в STEM обучение	35
2.3 Модел за приложение на добавена и виртуална реалност в обучението по математика.....	38
2.3.1 Модул за добавена реалност (AR) на GeoGebra.	39
2.3.2 Приложение на AR GeoGebra.	40
2.4 Модел за приложение на добавена реалност в обучението в областта на изкуствата	42
2.5 Комбинация на проектно-базирано обучение с AR/VR технологии	46
2.5.1 Проектно-базираното обучение	46
2.5.2 Комбиниране на PBL с VR и AR	47
2.5.3 Модел на използване на PBL и AR/VR	48
2.6 Комбиниране на AR със специфични интериорни решения за обогатяване на STEM обучението	52
2.7 Изводи.....	57
Глава 3 Оценяване на ефекта от прилагането на AR/VR при обучението в различни предметни области.....	60

3.1	Оценяване на прилагането на AR/VR в STEM обучението	61
3.2	Оценяване на ефекта от разработените модели с AR модула на Geo Gebra	70
3.3	Оценяване на ефекта от приложението на добавена реалност в обучението в областта на изкуствата	72
3.4	Оценяване на ефекта от комбинирането на проектно-базирано обучение с AR/VR	78
3.5	Изводи	80
Глава 4. Реализация на образователни материали със средствата на AR/VR		83
4.1	VR средства за реализация на обучение	84
4.1.1	Хардуер, необходим за използване на VR	85
4.2	AR средства за реализация на обучение	86
4.2.1	Хардуер, необходим за използване на AR	88
4.3	Софтуерни инструменти и платформи за AR/VR	88
4.3.1	Среди за разработка на приложения за VR и AR	90
4.4	Насоки от таксономията на Блум за създаване на интерактивни AR/VR образователни приложения	91
4.5	SWOT анализ на приложението на AR/VR технологии в образованието	94
4.6	Изводи	96
Заклучение - Резюме на получените резултати		98
Насоки за бъдещи изследвания		99
Публикации по темата на дисертационния труд		100
Забелязани цитирания		101
Декларация за оригиналност на резултатите		105
Благодарности		106
Библиография		107

Речник на термини и съкращения, използвани в дисертационния труд

AI (Artificial intelligence) – Изкуствен интелект

AICC - Много ранен стандарт за електронно обучение.

API (Application Program Interface) – Интерфейс на приложната програма

AR (Augmented Reality) - Добавена реалност

ARML (Augmented Reality Markup Language) – Език за маркиране на добавена реалност

AV (Augmented Virtuality) – Добавена виртуалност

CAM (Content Aggregation Model) – Модел на агрегиране на съдържание

HMD (HMD device) – Монтиран на главата дисплей – устройство, носено на главата или като част от шлем, което има малък оптичен дисплей пред едно или пред двете очи

IoT (Internet of Things) – Интернет на нещата

LCMS (Learning Content Management System) – система за управление на учебно съдържание

LMS (Learning Management System) – система за управление на обучението

MR (Mixed reality) – Смесена реалност – технология, позволяваща смесването на физически и цифрови светове

PBL (Project-based learning) – Проектно-базирано обучение

RE (Real Environment) – Реална среда

RTE (Run-Time Environment) – Среда за изпълнение

SaaS (Software as a service) – Софтуер като услуга

SCO (Sharable Content Object) – съдържание, достъпно за споделяне между потребителите

SCORM (Sharable Content Object Reference Model) – Референтен модел на обект на споделяно съдържание, колекция от стандарти за съдържание за електронно обучение

STEM (Science – Technology – Engineering – Mathematics) – обучение, фокусирано върху наука, технологии, инженерство и математика

STEAM (Science – Technology – Engineering – Arts – Mathematics) – обучение, включващо различни изкуства в STEM

VR (Virtual reality) – Виртуална реалност

WSN (Wireless Sensor Networks) – Безжични сензорни мрежи

xAPI (Experience API) – Стандарт, който позволява проследяване, съхраняване и споделяне на учебния опит на потребителя между платформи и в множество контексти

XML (Extensible Markup Language) – Разширяем език за маркиране

XR (Extended Reality) – Разширена реалност

ИКТ – Информационни и комуникационни технологии

Увод

Живеем във време, в което цифровите технологии непрекъснато трансформират сферата на образованието. Бързото им развитие ги прави все по-достъпни и води до широкото им и навлизане във всички етапи на образователния процес. Това води и до бърз напредък в образователните технологии, а институциите, образователните експерти и преподавателите търсят нови начини за интегриране на цифрови решения и подобряване на изживяването в класната стая. Добавената реалност (AR) и виртуалната реалност (VR) – две технологии, позволяващи смесване на реалния и дигиталния свят, а даже и размиващи границите между тях, позволяват създаването на още по-персонализирани и завладяващи визуални изживявания и предлагат забележителен потенциал за иновации.

Тези нови медии отварят изключителни възможности за подобряване на образователните условия в редица предметни области, за повишаване на мотивацията на учениците и по този начин – за по-доброто разбиране и овладяване на учебния материал. Те разширяват възможностите на учебната среда навсякъде – от класните стаи в училищата до лабораториите в университетите, като намаляват бариерите, създавани от физическото пространство, подобряват сътрудничеството и практическото обучение и предоставят индивидуализирани подходи за обучение.

Добавената реалност и виртуалната реалност са част от е-обучение, т.е. образование, което се провежда с помощта на електронни медии. Тези технологии трябва да бъдат обновявани и надграждани, за да се предложи все по-добро обучение и да се получат видими резултати в съзвучие с динамичните процеси в света.

AR и VR не са нови като технологии, но използването им в областта на образованието тепърва започва да излиза от сферата на експериментите с малък брой участници. За ефективното им използване е необходим цялостен подход, свързан с проектирането на ресурси, базирани на образователни стандарти, както и създаването на модели и методи за тяхното практическо прилагане в класната стая.

Има нужда и от още изследвания с цел създаване на добри практики за използването на тези AR/VR ресурси. Тези изследвания са необходими поради опасенията за здравето и безопасността на обучаемите, свързани с високата степен на потапяне в една често пъти много реалистична, но изкуствена дигитална среда.

Необходими са и обучения за преподавателите, за да могат да те да се запознаят отблизо с тези технологии, с техните силни и слаби страни, както и с добрите практики за прилагането им в класните стаи. В момента съществуват много и качествени системи

за разработка на AR/VR ресурси, но овладяването им често изисква експертиза и опит в няколко различни области като например софтуерно проектиране, 3D моделиране, графичен дизайн, потребителско преживяване и други. Съществуват и среди, които позволяват бързо, лесно и безплатно създаване на прости AR/VR ресурси, но употребата на тези ресурси често пъти е силно ограничена. Въпреки това, така създадените материали биха могли да се използват за постигането на конкретни цели в определени моменти от даден урок и така значително да подобрят разбирането на определени процеси, явления и структури.

Прочуванията, направени в настоящата работа, показват, че не са много и цялостните, базирани на стандарти среди, подходящи за прилагане и специално разработени за STEM обучението. От друга страна, съществуват множество готови и лесно достъпни AR/VR ресурси. От ключово значение за тяхното ползотворно използване се оказва използваният образователен подход. Натрупаният опит показва, че подходите, даващи по-голям избор на обучаемите и подкрепящи екипната работа, могат много добре да се комбинират с AR и VR като технологии, даващи възможност за индивидуална работа и експерименти. Добре планираните и подготвени уроци, съчетаващи проектно-базираното обучение и употребата на AR/VR ресурси, значително повишава както мотивацията на обучаемите, така и тяхната ангажираност.

Настоящият дисертационен труд анализира съществуващи **и предлага нови модели за използване на AR/VR в образованието, заедно с методи** за оценяване на ефекта от тяхното приложение в образователния процес и комбинирането на тези ИКТ технологии с други техники и сценарии на преподаване, както и с физическата среда в класната стая.

Структура на дисертацията

Дисертационният труд е структуриран в **четири** глави.

В **първа глава** е направен аналитичен обзор на съвременни направления и технологии в е-обучение. Мотивирана е необходимостта от предлагането на нови модели за прилагането на виртуални обучителни ресурси за определени целеви групи, както и необходимостта от конкретни методи, инструменти, примери за сценарии и подходи, позволяващи ефективното им прилагане в обучителния процес.

Във **втора глава** са представени разработените модели за приложение на добавена и виртуална реалност в различни STEAM предмети с различни образователни

цели и възможностите за комбинирането им с проектно-базирания подход и специално проектирана физическа среда.

В **трета глава** са описани методи за оценяване на ефекта от приложението на разработените модели с отчитане на специфика на преподаваните предмети, както и методи за комбиниране на AR/VR технологиите с различни техники и сценарии на преподаване.

В **четвърта глава** е направен преглед на софтуерните среди за създаване и хардуерните средства за използване на AR/VR образователни материали. Разгледана е обновената и адаптирана към цифровите технологии таксономия на Блум и нейното значение за създаване на базирани на стандарти AR/VR образователни ресурси. Направен е SWOT анализ на приложението на AR/VR технологии в образованието.

В **Заключението** е представено резюме на получените резултати. Определени са насоки за бъдещи изследвания и развитие. Представен е списък с научни публикации по темата и забелязаните цитирания.

Дисертационният труд съдържа 114 страници, 42 фигури, 18 таблици и 121 литературни източника.

Глава 1. Анализ на съвременни модели и методи на преподаване

1.1 Съвременни направления и технологии в е-обучение

През последните десетилетия обучението претърпя големи промени – от стандартната обстановка в класната стая и обучение, ръководено от учители и инструктори, до съвременните възможности за обучение чрез игровизация, изкуствен интелект и виртуална реалност. Развитието на информационни и комуникационни технологиите доведе до поява на е-обучение, т. е образование, което се провежда, ръководи и осъществява с помощта на електронни медии. През сравнително кратката история на е-обучение се появиха и множество различни негови дефиниции. Всички те се отнасят до употребата на информационни и комуникационни технологии за целите на процеса на учене, като представят е-обучение като една от разновидностите на обучението [Дойчинова, 2015]. Европейската комисия определя електронното обучение като „ориентиран към учещия подход на използване на нови мултимедийни технологии и на интернет за подобряване на качеството на учене чрез улесняване на достъпа до ресурси и услуги, обмена на информация от разстояние и съвместната работа” [Дойчинова, 2015]. Самото е-обучение също се развива бързо и в момента продължават да се развиват голям брой направления и технологии и да се наблюдават немалко нови тенденции.

Технологиите си остават водеща ключова дума, когато се говори за е-обучение. Без значение дали се преподава на деца, възрастни или се разработват курсове за корпоративно обучение, да се възползваш от разширените възможности, които предлагат новите технологии, е задължително. От друга страна, много потребители не са готови да приемат веднага всички новости и промени, тъй като това би означавало цялостно реструктуриране на техните системи за управление на обучението и на техните уебсайтове.

Независимо от направленията и тенденциите в е-обучение, в основата му стоят двата типа системи – система за управление на обучението (Learning Management System - LMS) и система за управление на учебното съдържание (Learning Content Management System - LCMS).

Системите за управление на обучението (LMS) са софтуерни приложения за управление, администриране, документация, проследяване и генериране на отчети за обучителните програми, уроци, онлайн събития и др. Основните характеристики на една такава система включват:

- Предоставяне на достъп до учебното съдържание;

- Задаване на формални учебни дейности и курсове на предварително определени групи;
- Съвместимост със SCORM, AICC и xAPI (<https://www.valamis.com/hub/xapi>);
- Управление на събития и регистрации;
- Проследяване на завършените курсове и отчитане на резултатите от обучението.

Системите за управление на учебното съдържание (LCMS), от своя страна, са електронни среди, които изпълняват функцията на учебно хранилище – за съхранение, управление и поддръжка на самото учебно съдържание. Целта на тези системи е да служат за управление на учебното съдържание, а често и за неговата разработката. Този тип системи разграничават физическото съдържание от начина му на представяне на обучаемия. Основните характеристики на една такава система включват:

- Вградено хранилище за съдържанието (централната база данни, в която учебното съдържание се пази и се управлява);
- Автоматизирано приложение за създаване и оформяне на учебно съдържание, както и за съвместна работа; инструменти за създаване на шаблони, както и на отделни учебни обекти и комбинирането им в различни модули и курсове;
- Интерфейс за динамично предоставяне на учебно съдържание – тази част от системата се занимава с персонализацията на съдържанието, което се предоставя на съответния обучаем. То трябва да е съобразено с неговите резултати при входната проверка или със задачите, които си е поставил. Системата поддържа записи за представянето и напредъка на потребителя по време на всички дейности, връзки към подходящи източници на информация и разнообразни видове оценяване с обратна връзка към потребителя;
- Гъвкаво публикуване на съдържание (ILT, eLearning, HTML5, AICC, SCORM, мобилно);
- Маркиране на съдържание с метаданни за поддръжане на персонализация въз основа на роля, продукт, ниво, регион и др.;
- Поддръжка на превод и локализация.

Като цяло, тенденциите са фокусът да бъде насочен към съдържанието и към отделния потребител, с цел да му се предоставят не само нови знания и умения, но и положителни преживявания. С други думи – актуални са решенията за електронно обучение, които имат за цел и успяват да отговорят на нуждите на обучаващите се, да поставят човека в центъра на процеса и да предложат най-подходящите възможности за обучение.

Различните видове обучение изискват различни технологии и платформи за тяхната реализация.

1.1.1 Микрообучение (Microlearning)

Въпреки че микрообучението не е нова или нововъзникваща тенденция, то става все по-актуално. Това е един от предпочитаните начини на обучение, тъй като позволява съдържанието да бъде разделено на по-малки части и улеснява усвояването на информацията от обучаемия. Тъй като при микрообучението учебното съдържание се състои от по-малки модули, по-лесно е те да бъдат завършени, а материалът – усвоен в движение. Основният акцент тук е върху създаването на смислено съдържание, което всъщност е полезно за учащия, защото простото разбиване на малки парченца не е достатъчно ефективно. Необходимо е да се познават нуждите на учащите се и да се избере най-подходящия за тях формат.

1.1.2 Смесено обучение (blended learning)

Смесеното обучение съчетава силните страни както на традиционното, така и на електронното обучение, за да предложи най-доброто за потребителите. За да направи обучението по-ефективно, смесеното обучение предлага образователна програма, която комбинира срещи лице в лице и онлайн уроци. Добър подход е да се използва в образователните институции, тъй като предлага повече свобода и разнообразие на учениците и прави учебната среда по-разнообразна и интересна.

1.1.3 Игровизация (Gamification)

Една от най-бързо развиващите се области от електронно обучение, която използва игрови елементи в неигрови ситуации с цел подобряване на ангажираността на потребителите по време на обучение и последващата им оценка. На практика в обучението се използват характеристики на играта (като цели, правила, елементи на забавление, обратна връзка, награди), които се прилагат за решаване на реален проблем и за измерване на поведението на потребителите.

Концепцията за игрите се разширява до изживяване в *Gamification*, където се смесват потребителското взаимодействие и потребителският интерфейс с езика и динамиката на играта.

Използването на терминология от видеоигрите, съчетано с механика от дизайна на играта, позволява съчетаването на технологични средства със забавлението и обучението.[Mori, 2020].

Смята се, че с методите, които използва, игровизацията може да компенсира недостатъците на други методи за електронно обучение, като ангажира вниманието и повишава концентрацията на учащите се за по-дълъг период от време.

1.1.4 Онлайн менторски програми

Програмите за онлайн наставничество придобиват все по-голяма популярност. Комбинирайки срещи на живо или видеовръзки на живо с електронно обучение, те са чудесен начин да се осигури персонализиран опит и знания от първа ръка в определена област. Обучаемите могат да се възползват от срещи на живо с експерти по темата, да гледат предварително записани видеоклипове и да посещават уебинари, за да получат знанията и необходимата подкрепа, за да успеят. Програма за менторство може да бъде създавана в образователни институции или във всяка организация, която се опитва да предостави на учащите най-добрите възможности за развитие.

1.1.5 Мобилно обучение (Mobile learning)

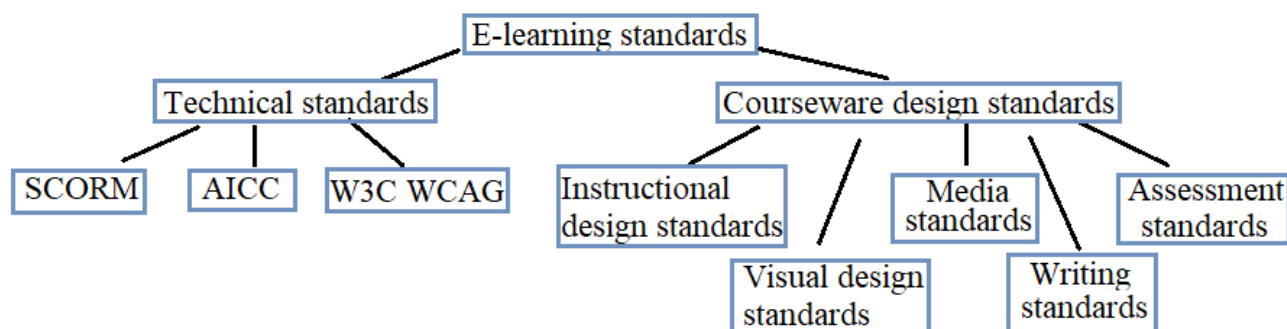
Мобилното обучение е етап в развитието на електронното обучение. Двата вида обучение имат подобни характеристики. Едно от нещата, което отличава мобилното обучение от електронното, е използването на мобилни технологии – мобилни устройства и безжични комуникационни технологии. По този начин обучаемият може да се обучава от всяко място и по всяко време, а това позволява пълноценно оползотворяване на времето на обучаващия се [Velázquez, 2018]. Технологичните специфики на мобилните устройства – размер на екрана, резолюция, издръжливост на батерията, както и тези, свързани с разработката на мобилни приложения, изискват и отделните учебни единици да са кратки, ясни и специално разработени за мобилно устройство. Осъзнаването на ограниченията на потребителския интерфейс също е от значение, за да се удовлетворят нуждите на потребителите, без да бъдат натоварвани с ненужна сложност.

1.1.6 Стандарти за електронно обучение

Насоките за проектиране и разработване на съдържание, разполагането му в платформи и осигуряване на оперативна съвместимост с различни устройства, могат да бъдат намерени в

Стандартите за електронно обучение – набор от общи правила, които се прилагат за съдържанието, създаването на софтуер и системите за управление на обучението (LMS).

Има два основни типа стандарти за електронно обучение (фиг. 1.1). Стандартите за проектиране на курсове се отнасят до различните аспекти на проектирането и разработването на курсове, а техническите стандарти се отнасят до разполагането на курсове в LMS или други видове портали.



Фигура 1.1 Стандарти за електронно обучение

Използването на *стандарти за проектиране на образователно съдържание* преди разработването на курс помага на разработчиците ясно да определят целта, стратегиите и да изберат съдържание, интерактивност, начини на оценяване и методи за обратна връзка. Таксономията на Блум е едно добро ръководство за разработване на логическа рамка за учебното съдържание и осигуряване на съответствие между учебните цели, дейности и оценки.

Стандартите за графичен дизайн се отнасят за графичния потребителски интерфейс (GUI) и елементите за навигация. Самата тя трябва да е интуитивна и удобна за потребителя, за да бъде успешна. Целта на стандартите за дизайн е да се осигури последователност и еднотипност в различните учебни единици.

Медийните стандарти гарантират последователност и съвместимост между медийните елементи, използвани в даден курс, от гледна точка на представянето на съдържанието на екран – размер на екрана, текстови елементи, графика, анимация, аудио и видео.

Винаги е добра практика да се съставят указания за писане и ръководства за стил за разработчици на курсове. Тези *стандарти за писане* действат като ориентир за използването на език, пунктуация, маркирани списъци, съкращения и други елементи на

текста. Например, може да бъде препоръчано да се използва деятелен залог, вместо страдателен и достъпен, а не академичен и абстрактен език.

Стандартите за оценяване, които трябва да съответстват на целите на курса, определят начина, по който ще се оценят знанията на обучаемите след завършване на курса. Таксономията на Блум [Bloom, 1956] с шест категории (фиг. 1.2) или четирите нива на оценка на обучението на Къркпатрик [Kirkpatrick, 1954] дават някои насоки за оценка.

Техническите стандарти се отнасят до оперативната съвместимост и преносимостта на курсовете за електронно обучение през устройства, браузъри и платформи. Най-често използваните технически стандарти са SCORM, AICC и WCAG. Крайната цел е да се гарантира, че ще се разработят образователни курсове, които могат да се използват безпроблемно в различни софтуерни програми, платформи и устройства.



Фигура 1.2 Таксономия на Блум [Bloom, 1956], [Anderson and Sosniak, 1994].

1.1.7 Персонализирано обучение

Концепцията за персонализирано обучение не е нова за образованието. Персонализираното обучение осигурява уникален, силно фокусиран път на обучение за всеки ученик. Индивидуалното внимание от страна на преподавателя не е възможно при традиционните образователни модели с голям брой ученици.

Персонализираното обучение е стратегия, която добрите учители могат да прилагат. Без добри учители и добра стратегия, дори страхотен продукт, предназначен за персонализирано обучение, има ограничена стойност.

Използвано изолирано, всяко персонализирано решение за обучение може да има малка полза (и може да доведе до разпиляване на ресурси и време). Когато обаче дадени практики са интегрирани и приведени в съответствие с институционалните политики [Vlaguev, 2018] и с планиране за развитието на учениците, преподавателите или персонала, потенциалните предимства на персонализираното обучение могат дори да бъдат успешно мащабираны в полза на голям брой обучаемы. Но за да има осезаеми резултаты, персонализираното обучение трябва да използва ИТ системи и инструменти за приспособяване на учебното съдържание въз основа на силните страни, слабите страни и темпото на учене на обучаемыя. Технологиите, включително анализът на данни, са в основата на персонализираното обучение, което изгражда „профил“ на всеки ученик и прави непрекъснаты корекции на учебните пътеки въз основа на резултатыта на обучавания.

В допълнение към образователните технологии, цялостният подход на персонализирано обучение може да бъде проектиран така, че да включва много други допълващи образователны подходи [Atanasova, 2014]. Например, в опит да създадат всеобхватен подход към обучението, някои институции прилагат редизайн на класната стая в 21-ви век, образование, основано на компетенции, „обърната класна стая“ и други подходи, ориентирани към обучавания.

1.1.8 Адаптивно обучение (Adaptive Learning)

Един от многото възможны подходи за персонализирано, силно фокусирано обучение за голям брой учащи се, е Адаптивното обучение. То изисква използването на различни технологичны системи и инструменти.

Адаптивныте системи за обучение използват нелинеен, базиран на данни подход към поднасянето на учебния материал. Те динамично се приспособяват към действията на обучаемыте и към нивата им на ефективност, предоставяйки видовете съдържание в подходяща последователност, от която отделныте обучаващи се нуждаят в конкретны моменты от време, за да постигнат напредък [Vlaguev, 2021]. Тези системи използват алгоритмы, оценки, обратна връзка от учениците и корекции, за да предоставят нов учебен материал на обучаемыте – както за тези, които са постигнали, така и за онези, които не са постигнали съответното ниво на овладяване.

За реализацията на адаптивно обучение се използват знания и технологии от различни области - включително компютърни науки, изкуствен интелект, психометрия, образование, психология и др.

Адаптивното обучение е частично обусловено от осъзнаването, че персонализираното обучение не може да бъде постигнато в голям мащаб само чрез традиционните, неадаптивни подходи. Адаптивните системи за обучение се стремят да трансформират обучаемия от пасивен получател на информация към активен участник в образователния процес. Адаптивните системи намират място както в сферата на образованието, така и в бизнес обучението. Причината за това е, че те позволяват на всеки потребител да пропусне съдържанието, с което вече е запознат, и да се съсредоточи върху новите знания и умения. По този начин трудността и темпото на курса могат да бъдат коригирани в реално време, за да съответстват на скоростта на учене. Адаптивното обучение трябва да се комбинира с ефективна оценка и анализ, измерващи ефективността му. Броят на платформите, предлагащи адаптивно обучение, нараства и технологичният напредък улеснява процеса. Основните предимства на адаптивното обучение включват по-добро учебно преживяване, регулиране на скоростта на учене и събирането на данни за обучаемите, които могат да бъдат анализирани с цел подобряване на обучението. Това е подход, който все още не е реализирал пълния си потенциал.

Образователната технология може да се разглежда като наука за техниките и методите, чрез които могат да се реализират образователни цели. Използването на образователни технологии за придобиване на знания и умения се превърна в съществен елемент в образованието и обучението [Rukmani, 2021]. Когато става въпрос за образование, трябва да се използват най-модерните възможности, за да се провежда обучението по най-ефективните и ефикасни начини. Технологиите играят голяма роля в образователната система, защото дават на учениците нови начини да изпитат ученето, да създадат свои собствени медии, да придобият по-дълбоко разбиране на света около тях и да разпалят въображението си [Mekacher, 2019]. Направеният преглед показва, че съвременните направления и технологии в е-обучение трябва да бъдат обновявани и надграждани, за да се предложи все по-добро обучение и да се получат видими резултати в съзвучие с динамичните процеси в света.

1.2 Виртуална, добавена и смесена реалност

Концепцията за виртуална реалност такава, каквато я възприемаме днес, се ражда през 60-те години на миналия век. Симулаторът Sensorama предоставя илюзията за реалност, използвайки 3D филм, за да стимулира четири от сетивата: зрение, слух, обоняние и докосване [Heiling, 1962]. Възникването на идеята за виртуалната реалност се обяснява от [Woolley 1992]: „Да се опитваш да проследиш произхода на идеята за виртуална реалност е като да се опитваш да проследиш извора на река. Той идва от натрупания поток от много идеи, подхранвани от много извори на вдъхновение“. И днес виртуалната реалност има най-значимото приложение в развлекателната индустрия. Въпреки това, от 80-те години на миналия век се провеждат проучвания за приложенията и ефективността на виртуалната реалност в образованието и обучението [McLellan, 1996].

Технологията за виртуална реалност се основава на компютърна графика, симулация, интерфейси човек-компютър и други. Използването на виртуална реалност (VR) в образованието може да се счита за естествената еволюция на компютърно-подпомогнато или компютърно базираното обучение. Използването на компютри като помощни средства за обучение има дълга история, датираща от 1950 година. Сериозни проучвания започват в началото на 60-те години. От появата си персоналните компютри (PC) се превърнаха в разрастваща се и призната система за предоставяне на различни форми на обучение. Виртуалната реалност, която може да се използва на всички видове компютри, последва тази тенденция [Pantelidis, 2010]. Усещането за потапяне, постигнато чрез виртуални 3D среди [Do, 2015], предлага множество предимства [Kersten, 2020].

Ранните концептуални документи за VR и AR разглеждат потенциалните приложения на технологиите, като се посочва, че дълбочината и разширяването на сензорното участие ще променят и разширят пътищата за разпространение на информация [Yung, 2019].

Виртуалната реалност е изкуствена среда, която се преживява чрез сензорни стимули (като гледки и звуци), осигурени от компютър, и в която действията на човека частично определят какво се случва в околната среда според определение от Merriam-Webster Dictionary. Това е използването на компютърна технология за създаване на симулирана среда. Най-често използваният компонент на виртуалната реалност е монтираният на главата дисплей (HMD) [Jensen, 2018]. Най-лесно във виртуалната реалност се възпроизвежда аудио-визуалната информация, но много изследвания и разработки се провеждат по отношение и на другите сетива. Тактилните входове позволяват на потребителите да се чувстват така, сякаш всъщност

преминават през симулация. Технологиите, използващи тактилни сензори, известни също и като технологии за обратна връзка, напреднаха от прости двигатели до висококачествена ултразвукова технология. Вече е възможно да се възприемат и чувстват реалистични усещания заедно с визуални VR изживявания [Hite, 2016].

За разлика от виртуалната реалност, която създава напълно изкуствена среда, добавената реалност (AR) използва съществуващата среда и наслагва нова информация върху нея. Добавената реалност е интегрирането на цифрова информация със средата на потребителя в реално време. Популярността на AR нараства, защото пренася елементи от виртуалния свят в реалния свят, като по този начин подобрява нещата, които виждаме, чуваме и чувстваме. Терминът „добавена реалност“ (AR) е измислен през 1992 г. от изследователя на Boeing Томас Престън Каудел, който разработва AR приложение за индустриална употреба за преглед на някои монтажни схеми [Arena et al, 2022].

От няколко съществуващи дефиниции на AR най-често се споменава тази, предоставена от Пол Милграм (Департамент по индустриално инженерство, Университет на Торонто) и Фумио Кишино (Департамент по електроника, информационни системи и енергийно инженерство, Университет в Осака). Теоретически се определят различни видове реалност, които създават континуум, който, започвайки от реалния свят, води до напълно виртуален свят [Arena et al, 2022]. В него се различават следните среди (фиг. 1.3):

- Реална среда (RE): това е средата, в която живеем, и която се управлява от законите на физиката;
- Добавена реалност (AR): физическа реалност, в която участниците виждат и виртуални елементи;
- Разширена виртуалност (AV): виртуална реалност, в която участниците виждат и реални елементи;
- Виртуална реалност (VR): представлява синтетичен свят, в който участникът е напълно потопен.

Милграм и Кишино [Milgram et al, 1994] въвеждат континуума *реалност-виртуалност*.

1. Реалност

Рамката на континуума реалност-виртуалност поставя реалността и виртуалната реалност в противоположни краища. Тук реалността се състои единствено от реални обекти и места. Гледането на реална среда през дисплей не я прави виртуална.

В реалния свят мозъкът ни непрекъснато приема информация чрез сетивата ни за зрение, слух, обоняние, вкус и допир. VR – противоположната крайност на континуума на виртуалността – създава усещане за присъствие, подобно на това, създадено от реалността.

2. Добавена реалност

AR се отнася до цифрови 2D или 3D обекти, изображения или данни, смесващи се с реалния свят, с които може да се взаимодейства с помощта на смартфон, специални очила или монтиран на главата дисплей (HMD). AR е технология, която смесва безпроблемно реалния и цифровия свят, позволявайки на зрителя да види повече информация, отколкото вижда с невъоръжено око. В AR реалният свят не изчезва.

3. Разширена виртуалност

Разширената виртуалност се отнася до реални обекти, изображения или данни, въведени във виртуалния свят.

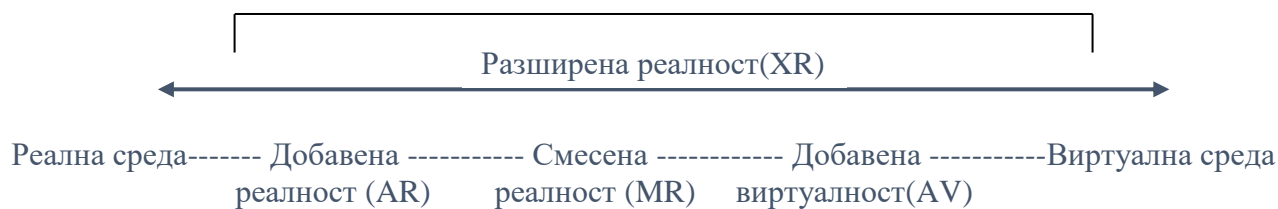
4. Виртуална реалност

Технологията за виртуална реалност е сред най-развитите технологии досега. Милграм дефинира виртуална среда като „такава, в която участникът-наблюдател е напълно потопен и способен да взаимодейства с напълно синтетичен свят. Такъв свят може да имитира свойствата на някои среди от реалния свят.

Милграм и Кишино [Milgram et al, 1994] въвеждат и термина смесена реалност (Mixed Reality). Той служи като общ термин, обхващащ всички технологии, които включват сливане на реални и виртуални светове.

В употреба е и още един термин – Extended Reality (XR). Разширената реалност (XR) е термин, който съчетава преживяванията с добавена реалност, виртуална реалност и смесена реалност, което означава, че всички технологично подобрени реалности попадат под общия термин XR. Това е сравнително нова технология, която размива границата между реалния и дигиталния свят, за да създаде още по-персонализирани и завладяващи визуални изживявания. Това става с използването на специални слушалки, очила, джойстици и сензори, с цел подобряване на възприятията на потребителя.

Въз основа на тази класификация е и класификацията на различните видове технологии.



Фигура 1.3 Континуум „реалност-виртуалност”
(адаптирано от [Milgram et al, 1994], [Arena, 2022]).

AR може да се прилага чрез различни видове технологии според конкретните цели и приложения:

- Базирана на маркери AR (Marker Based AR)
- AR без маркер (Markerless AR)
 - базирана на местоположение (Location-based AR)
 - базирана на прожекция (Projection-based AR)
 - базирана на наслагване (Overlay AR)
 - контурна AR (Contour AR).

Добавената (или разширената) реалност е технология, при която компютърни технологии се използват за поставяне или „добавяне“ на виртуални обекти и сцени върху реалния свят. Смята се, че *добавянето* е извършено напълно, когато поставените от потребителя обекти и сцени взаимодействат с обектите и околната среда в реалния свят [Karoog, 2020]. Виртуалната реалност е компютърно генерирана среда, която осигурява усещане за реален живот с всички сетива по виртуален начин, който се използва широко в развлеченията, медицината, военната индустрия и т.н. [Ahmed, 2020]. Таблица 1.1 дава кратко сравнение на тези технологии [Petrov, 2021].

Таблица 1.1

	VR	AR
Средства	VR очила	Смартфон, AR системи
Свойства	Създава се изцяло компютърно генерирана реалност	Добавя изображения или интерактивни виртуални елементи към реалния свят
Предимства	Реалистични усещания и визуални изживявания	Особено подходящ за симулации в областта на STEM
Недостатъци	Потенциален риск за здравето при продължителна употреба	Необходими са AR очила и специален дисплей

С течение на времето става ясно, че има много големи възможности за приложение на AR/VR технологии в различни области, занимаващи се с разнообразни проблеми в реалния свят [Rebbani, 2021].

Примери за области на приложение на AR/VR са:

- Индустрия (AR все повече се описва като една от водещите технологии на 21-ви век и като един от стълбовете на новата индустриална революция, предвидена от Industry 4.0)
- Приложения за игри (AR привлече вниманието на много потребители, когато беше разработен Google Glass)
- Медицински приложения (AR, комбиниран с IoT, в интеграция с WSN)
- Търговия (3D изглед на обекти)
- Туризм
- Изкуство и култура (стрежежът е да се направи физическото изкуство по-изразително в дигиталния свят [Vert, 2019])
- Умни градове
- Образование
- Други.

1.2.1 AR/VR - Виртуална и добавена реалност в образованието

Много образователни институции вече са приели добавената реалност (Augmented Reality – AR) [Liu, 2017] и виртуалната реалност (Virtual Reality – VR) [Oh, 2017], като начин за преподаване на ученици и студенти по различни предмети, включително природни науки и математика. Тя позволява разглеждане и промяна на съдържанието, както и експериментиране [Jantjies, 2018] по начин, трудно постижим за другите налични технологии, което повишава интереса и води до по-добри резултати [McNamara, 2011]. “Огромните възможности на достъпните виртуални технологии ще направят възможно разчупването на границите на формалното образование”, се твърди в изследването на [Martin-Gutierrez, 2017]. Смесената реалност (MR) може да представи на обучаемия уникално средство за експериментиране и придобиване на нови знания и умения.

Маклелън [McLellan, 1996] проследява ранното използване на виртуалната реалност при обучението с летателни симулатори чрез монтирани на главата дисплеи, разработени във военновъздушната база Райт-Патерсън в Охайо през 1960-те и 1970-те

години. В изследването [Youngblut, 1998] са показани резултати от обширно проучване на използването на виртуална реалност през 90-те години. Това изследване установява, че съществуват уникални възможности за включване на виртуалната реалност в конструктивисткото обучение като се отбелязва, че при използване на виртуалната реалност ролята на учителя се променя в ролята на човек, подпомагащ обучителния процес.

В множество проучвания се наблюдава, че разширената и виртуалната реалност (AR/VR) са една измежду ключовите образователни технологии, които са от значение за възприемането на информация от учениците. Изследването [Panciroli, 2017] посочва, че „добавената реалност играе значима роля във връзката между технологиите и дидактическото посредничество; неговите приложения са предпоставка за разширено обучение чрез възпроизвеждане на специфични сценарии, които надхвърлят чистото теоретично измерение”.

Редица изследователи отбелязват, че новите технологии за визуализация по време на лекции и практически занятия позволяват на учениците и студентите да разберат по-добре учебния материал [Solak, 2016; Boyles, 2017]. Последните разработки, свързани с обучението чрез използване на съвременни компютърни технологии, показват, че използването на добавена реалност има ключово значение в обогатяването на учебния процес [de Lange, 2017; Amanatidis, 2022], тъй като предоставя богато мултимедийно съдържание. А развитието на AR технологиите позволява комбинирането на реалния с виртуалния свят [Lee, 2011] чрез добавяне на слой от цифрови образи върху обекти от реалния свят.

С развитието на практичните и достъпни виртуална реалност и смесена реалност хората вече имат шанса да изпитат увлекателно чувство при учене както в класните стаи [Cabero-Almenara, 2019], така и неформално в домовете, библиотеките и обществените центрове [Liu, 2017]. Много компании за образователни технологии използват виртуална реалност, за да внесат реалистични преживявания в класната стая, като същевременно подчертават способността на технологията да вдъхновява и грабва вниманието на учениците. Отбелязва се, че VR технологиите подтикват към взаимодействие и насърчават активното участие, а не пасивността [Chandrasekera, 2018].

В изследването на [Chen, 2006] се твърди, че въпреки, че VR е признат за впечатляващ инструмент за обучение, все още има много въпроси, които се нуждаят от допълнително проучване, включително идентифициране на подходящи теории и/или модели за използване на VR, установяване дали използването на VR може да подобри представянето и разбирането на

учебния материал, и „проучване на начини за постигане на по-ефективно обучение при използване на тази технология и изследване на нейното въздействие върху обучаеми с различни способности”.

1.2.2 Цели и възможности при използването на AR/VR в образованието

В областта на образованието по природни науки, технологии, инженерство и математика (STEM) напълно интерактивните виртуални лабораторни симулации са предназначени да ангажират и стимулират естественото любопитство на учениците, докато учат [Nersesian, 2019].

От своя страна, виртуалната реалност се използва често за преподаване на процедури, свързани с безопасността. Позволява на учащия да бъде част от потенциално опасна ситуация като пожар, земетресение и др., като му дава възможност да се учи от грешките си. Комбинацията от AR и VR предоставя повече възможности на обучаващите се да развият своите умения в безопасна учебна среда.

Що се отнася до използваемостта на AR инструментите в класната стая [Dengel, 2022], това очевидно е удобна за потребителя технология, с интуитивен интерфейс и висока степен на интерактивност [Klimova, 2018]. Като цяло AR технологията позволява провеждането на проактивно обучение в класната стая, подобряване на нивото на усвояване и на достъпа до съдържание [Velázquez, 2018].

Общото заключение от няколко проучвания е, че приложенията с добавена реалност могат да подобрят учебния процес, мотивацията за учене и ефективността [Brij, 2021]. Въпреки положителните резултати са необходими повече изследвания, отбелязва се в [Tzima, 2019].

1.2.3 Предизвикателства и рисковете от използването на AR и VR в образованието

Съществуват определени рискове при използването на AR и VR в образованието. Експертите все още се опитват да разберат въздействието на VR върху ученето на децата. Изследване, проведено от Bailenson и неговия екип [Oh, 2017] в тяхната лаборатория в Станфорд през 2008 г., разглежда потенциалните психологически ефекти върху малки деца, използващи VR. В някои случаи деца, които са преживели плуване с китове във VR среда, развиват фалшиви спомени, че са посетили морски парк в реалния живот [Oh, 2017; Kennedy 2020]. Бейленсън вярва, че притесненията относно използването на VR могат да бъдат адресирани по два начина: чрез умереност и надзор. VR е увлекателен инструмент, но в рамките на 40-минутен план за урок, той трябва да се използва внимателно – за две или три минути.

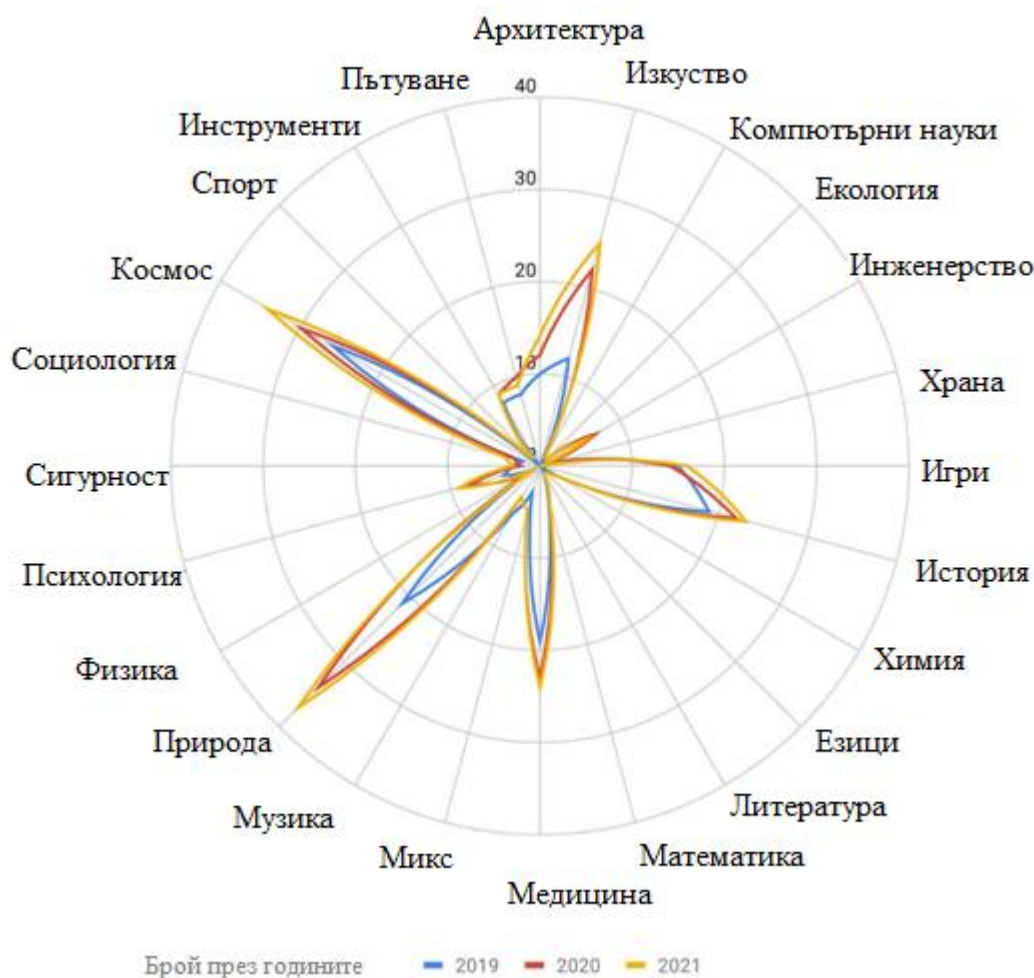
Недостатъците от използването на виртуална реалност са свързани предимно с разходите, необходимото време за обучение как да се използват хардуерът и софтуерът, възможните ефекти върху здравето и безопасността, и справянето с евентуално нежелание за използване и интегриране на нови технологии в курс или учебна програма. Както при всички нови технологии, всеки от тези проблеми може да изчезне с времето и с развитието на тази технология, която става все по-често използвана в области, различни от образованието.

1.2.4 Области на приложение на AR и VR в образованието

Едно от нещата, които могат да направят AR технологиите достъпни, е приложението на технологията в различни области (фиг. 1.4).

Добавената реалност може да бъде много подходяща за симулации, особено в областта на STEM образованието [Diegmann, 2015]. С нарастването на изчислителната мощ на компютрите и намаляването на цената им, значително се увеличи използването на симулации. Училищните лаборатории и класните стаи започват масово да се оборудват с подходяща технологична инфраструктура. Специално в областта на STEM, достъп до качествено лабораторно оборудване трудно може да бъде осигурен масово [Rienow, 2020], а симулациите от своя страна позволяват на учениците да изпитат процеси явления по начин, по който обикновено не биха могли. Например, симулациите могат да заемат мястото на работата с лабораторно оборудване, което може да е твърде скъпо или опасно за употреба в училище. Симулационен експеримент се извършва в компютърно базирана интерактивна среда. Симулациите могат да се използват и за изследване на явления, които се случват за дълги или изключително кратки периоди от време. А това може да стане лесно и за краткото време, в което продължава един урок. Със симулации учениците могат също да експериментират като задават различни стойности на променливи величини и да видят резултатите от множество експерименти, без да се налага действително да ги извършват.

AR е технология, която прави възможно генерирането на виртуални среди, които припокриват реална среда по пряк или индиректен начин, позволявайки взаимодействието на реалността с визуализацията на виртуална графика [Del Cerro Velázquez, 2018]. Докато виртуалната реалност предлага симулация на изцяло компютърно генерирано възприятие, добавената реалност е интегрирането на цифрова информация със средата на потребителя. За разлика от виртуалната реалност, която създава напълно изкуствена среда, добавената реалност използва съществуващата среда и насладва нова информация върху нея.



Фигура 1.4. Области на приложение на добавената и виртуалната реалност в образованието [Smutny, 2022]

AR се стреми да разшири цифровия свят с физически обекти, позволявайки на реалния потребител да взаимодейства безпроблемно с цифровите компоненти [Hernández, 2018]. Целта не се състои само в количественото обогатяване на информацията [Panciroli, 2017]. Проучване, което изследва използването на AR в обучението по изкуства, потвърждава, че „използването на добавена реалност има ключова позиция в най-новите разработки, свързани с обучението с технологии, което разглежда новите технологични устройства като средство, способно да насърчи учебния процес“ [Panciroli, 2017]. Популярността на AR нараства, защото пренася елементи от виртуалния свят в реалния свят, като по този начин подобрява нещата, които виждаме, чуваме и чувстваме. То пренася компютърно генерирани обекти в реалния свят, но те могат да се видят само от потребителя [Contero, 2013]. Когато използва приложения за добавена

реалност [Baird, 2017], потребителят вижда комбинация от синтетична и естествена светлина. Наслагващите се изображения се проектират върху очила, което позволява изображенията и интерактивните виртуални обекти да бъдат в зрителното поле на потребителя към реалния свят.

1.2.5 Модели за използване AR/VR в образованието

Всеки тип информация, в това число и виртуална информация, наслоена върху реална среда, може да бъде цифровизирана подобно на текст, изображения, видео, аудио, уеб връзки и триизмерни (3D) модели. Наличието на такава функционалност е една от основните характеристики, позволяващи тази техника да се прилага към широк спектър от човешки дейности, като образованието е най-важното сред тях [Panciroli, 2017]. Добавената реалност може да се приеме като дидактически инструмент, който допринася за трансформиране на начините на обучение. Потенциалът на AR в образованието е идентифициран почти от самото му начало – „система, която позволява на потребителя в класната стая да манипулира 3D обекти и да получава информация от реална среда, очевидно е от голямо значение в образователната област“ [Del Cerro Velázquez 2018]. С оглед на тези предимства се смята, че използването на симулации, базирани на AR в класната стая, може да помогне за подобряване на ученето [D'Angelo 2013]. Тази технология „направи възможно както учителите, така и учениците да видят информация в реална среда, която иначе би била невъзможна за показване, позволявайки много научни концепции да бъдат визуализирани и представени по начин, по който досега не е било възможно“ [Del Cerro Velázquez 2018]. Някои скорошни проучвания се фокусират върху тази технология и обобщават, че наслагването на информация върху реалния свят е насочено основно към подобряване на възприятието, което индивидът има за реалния свят, като инициира създаването на интерактивно преживяване [Kirova, 2018]. По този начин технологията, използвана в класната стая, ще бъде адаптивна, отзивчива, потапяща и ангажираща, индивидуализирана и подходяща [Kencevski, 2019]. Тя трябва да предостави на обучаемия уникално преживяване, което не е лесно да бъде възпроизведено или възможно в традиционна класна стая [Geroimenko, 2020]. Следователно, основната цел на AR е да добави към реалните обекти повече информация, която е по-значима, като по този начин подобрява разбирането на учениците за света, който наблюдават [Del Cerro Velázquez 2018].

В последните научни изследвания се наблюдава засилен интерес към разработването на модели за използване на AR/AR [Arduini, 2020]. Изследването [Kovalenko, 2021] предлага модел за използване на добавена и виртуална реалност при смесено обучение в средното общо образование (фиг. 1.5).

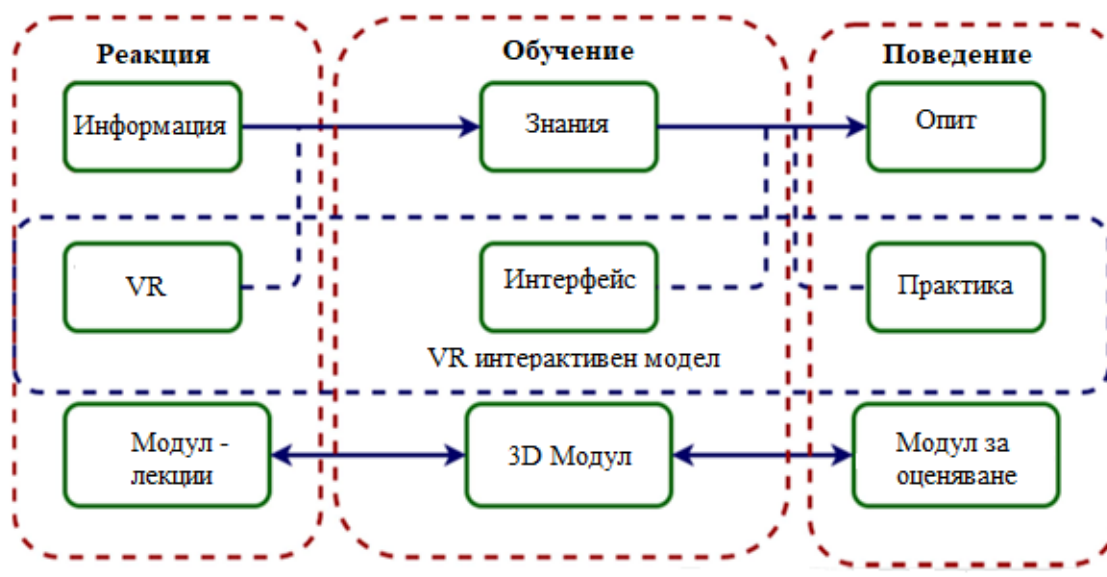


Фигура 1.5 Модел за използване на добавена и виртуална реалност при смесено обучение в средното общо образование (Kovalenko, 2021).

Таксономията на видовете VR платформи, използвани в обучението, е тясно свързана с нивото на потапяне и с хардуерните изисквания [Kamińska, 2019]. Те са [Jumani, 2022]:

- VR системи без потапяне
- Полу-потапящи VR системи и платформи
- Напълно потапящи VR структури.

Моделът за тяхното приложение в обучението е показан на фиг. 1.6.



Фигура 1.6 Приложение на виртуалната реалност в образованието [Jumani, 2022].

В работата си [Jumani, 2022] предлага интересно виждане върху видове на потапяне във виртуалната реалност:

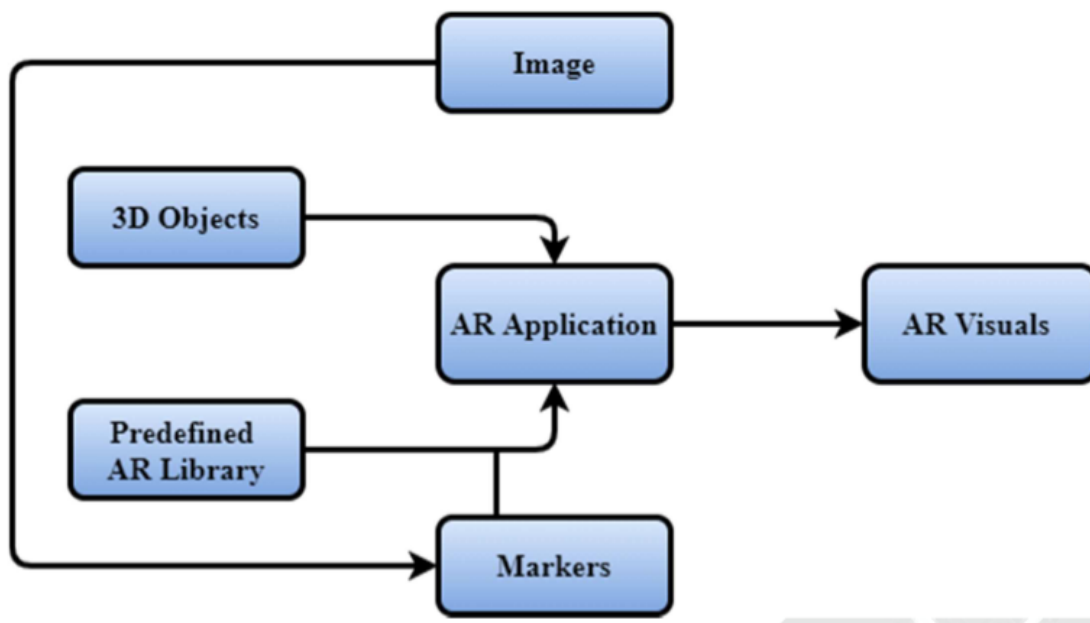
- Тактическо потапяне: водене на операции за постигане на резултати
- Стратегическо потапяне: избира се изживяване и се определят различни възможности
- Потапящ разказ: участие в различни истории
- Пространствено потапяне: събуждане на чувства
- Физиологично потапяне: чувствата се преплитат с тези в реалния живот
- Сензорно потапяне: симулиране на усещания.

Моделът на добавената реалност е показан на фиг. 1.7.

3D технологията на добавената реалност може да се използва като медия за обучение с мобилни телефони или настолни компютри. Моделите с добавена реалност варират както следва:

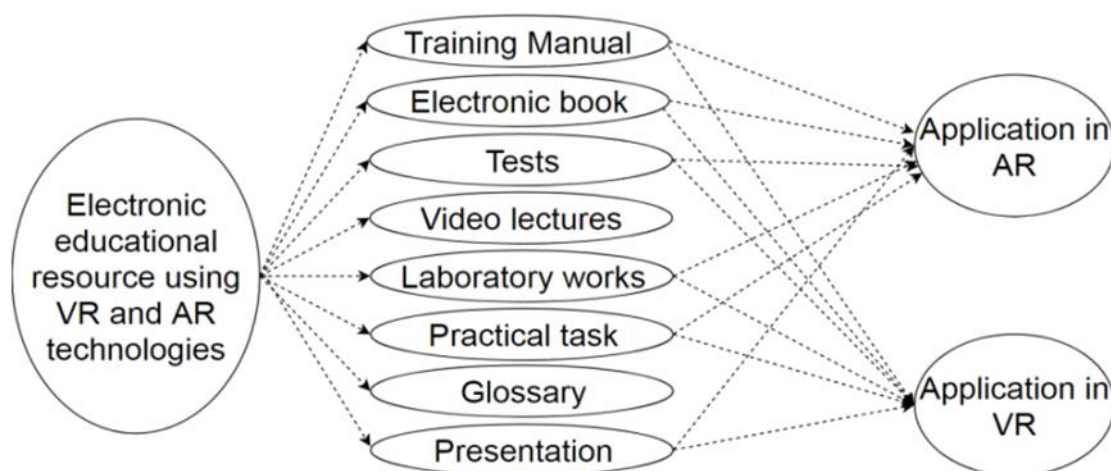
- само 3D
- 3D симулатори
- 3D анимация
- 3D видео и мултимедия,

като всеки модел е адаптиран към определени цели на изследването [Afandi, 2019].



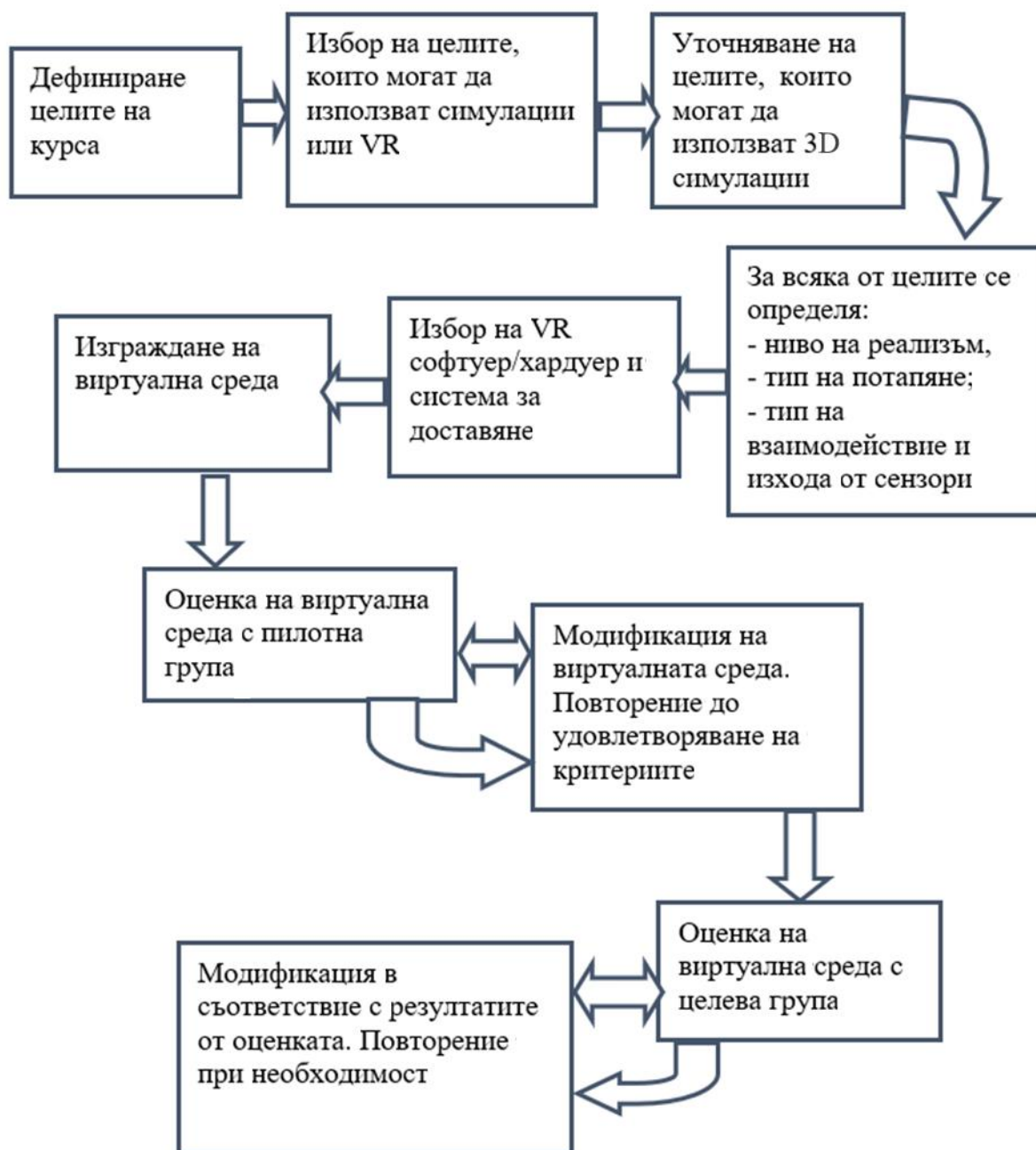
Фигура 1.7 Модел на използване на добавена реалност [Jumani, 2022]:

Под учебна система с използване на VR и AR в работата на [Osipova, 2019] се разбира подреден набор от взаимосвързани елементи на електронни образователни ресурси, форми и средства за планиране и провеждане, наблюдение, анализ, коригиране на образователния процес, насочен към подобряване на ефективността на обучението на учениците (фиг. 1.8).



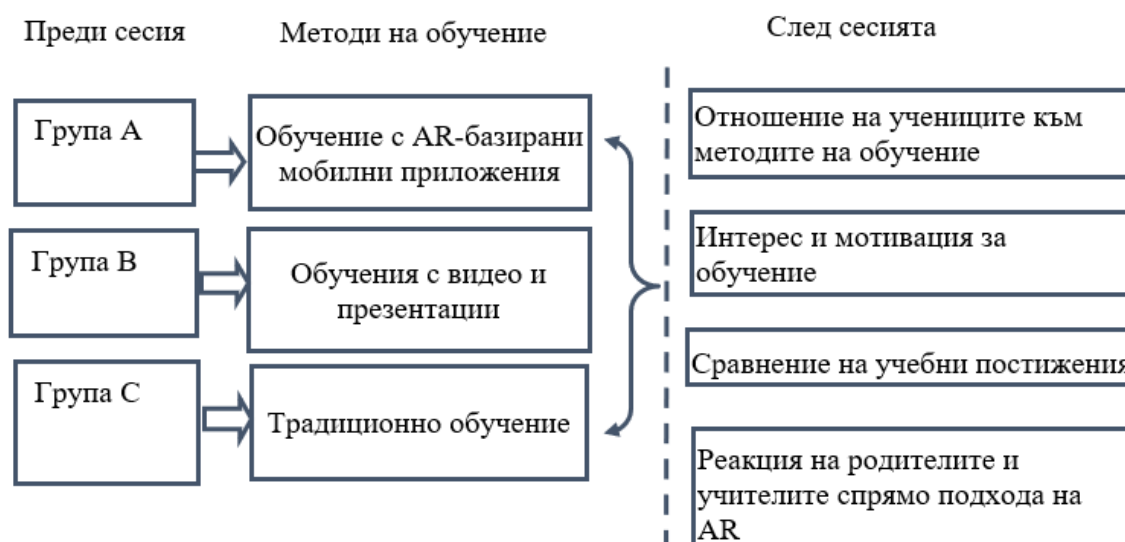
Фигура 1.8 Модел на учебна система с използване на VR и AR [Osipova et al, 2019]

На фигура 1.9 е представен модел за определяне кога да се използва виртуална реалност в курсове за образование и обучение [Pantelidis 2010].



Фигура 1.9. Модел за определяне кога да се използва виртуална реалност в образователни курсове. Адаптирано от [Pantelidis 2010]

Подреждане на групите преди сесията въз основа на предишните академични постижения на обучаемия и общ план на дейностите на експерименталното изследване е показан в работата на Afnan, 2021] (фиг. 1.10).



Фигура 1.10. План на дейностите на експерименталното изследване, Адаптирано от [Afnan; 2021].

В [Garzon, 2017] са посочени следните перспективни направления за използване на технологиите за добавената реалност:

- (1) Проектиране на AR системи, които отчитат специалните нужди на конкретни потребители
- (2) Интегриране на AR системи в неизследвани области на образованието
- (3) Включване на AR системи в учебни процеси на неизследвани целеви групи
- (4) Интегриране на AR системи в бизнеса и индустрията
- (5) Проектиране на педагогически ефективни системи за AR.

В заключение може да се каже, че се наблюдава тенденцията съвременните направления и технологии в е-обучение да бъдат модернизирани и подобрявани, за да се предложи все по-добро обучение и да се получат видими резултати. Популярността на AR нараства, защото пренася елементи от виртуалния свят в реалния свят, като по този начин подобрява нещата, които виждаме, чуваме и чувстваме. Технологиите на AR

позволяват на реалния потребител да взаимодейства безпроблемно с цифровите компоненти [Liyuan, 2020].

1.3 Изводи

В резултат на направения аналитичен обзор могат да бъдат изведени следните заключения:

Виртуалната (VR), добавената (AR) и смесената реалност (MR) са съвременни средства, които позволяват обновяване и надграждане на моделите и методите на преподаване и придобиване на знания. Комбинирането на AR/VR технологии в образованието дава възможност за нов подход към ученето, който обикновено допълва традиционно използваните методи. Необходимо е да се предложат нови идеи, инструменти, примери за сценарии и възможности за виртуални обучителни ресурси за определени целеви групи. Отчитайки предимствата, недостатъци и функционалностите на AR/VR технологиите е важно да се определи кога тези технологии са подходящи и за какви учебни цели, както и за какви сценарии на преподаване.

1.4 Цел и задачи на дисертационния труд

От направения анализ на състоянието на изследването е формулирана целта на дисертационния труд:

Да се предложат модели и методи за използване на добавена и виртуална реалност в обучението.

За тази цел се дефинират следните задачи:

1. Да се разработи модел за използване на добавена и виртуална реалност в STEM обучението с отчитане на различните образователни цели и специфики на отделните предмети.
2. Да се предложи модел за комбинация на добавената и виртуална реалност с физическа среда при обучение.
3. Да се разработи модел за комбиниране на добавена и виртуална реалност с проектно-базирано обучение в единен сценарий на преподаване.
4. Да се предложат методи за оценка на ефекта от комбинирането на учебна среда, разширена с добавена реалност, внедрена за подобряването на процеса на обучение и разбирането на учебния материал за определени цели на обучението.

Глава 2. Модели за приложение на добавена и виртуална реалност в обучението

В този дисертационния труд се използват следните дефиниции:

- „Теоретичен модел е описание или представяне, използвани за разбиране на начина, по който работи определена система или процес“ [https://www.lexico.com/definition/theoretical_model]. Теоретичният модел е рамка, която изследователите създават, за да структурират процес на изследване и да планират как да подходят към конкретен изследователски въпрос.
- Моделът е „описание на система или процес, който може да се използва при изчисления или прогнози за това какво може да се случи“ – <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/model>
- Моделът е „хипотетично описание на сложен обект или процес“ – <https://www.vocabulary.com/dictionary/model>
- Моделът е „Систематично описание на обект или явление, което споделя важни характеристики с обекта или явлението. Научните модели могат да бъдат материални, визуални, математически или изчислителни“ <https://www.dictionary.com/browse/model>

Моделът позволява да се определят целите на изследването. Понятието „Метод“ е дефинирано като определена систематична процедура за постигане или подход към нещо.

В тази глава се предлагат модели за приложение на добавена и виртуална реалност в обучението по биология, математика и изкуства. Спецификите на всяка дисциплина са отразени в предлаганите модели. Освен приложението на AR/VR средства в обучението по определени предметни области, в тази дисертация се предлага модел на комбиниране на технологиите за добавена и виртуална реалност с различни техники, среди и сценарии за преподаване. Целта е да се проучи въздействието на AR/VR инструменти върху учебните резултати на учениците.

2.1. AR/ VR инструменти

Един от най-успешните примери за AR система е zSpace® [<https://interactivebg.com/obrazovatelni-tehnologii/zspace-bulgaria/>]. През 2015 г. zSpace® Inc. представи „всичко-в-едно“ решение за образование, състоящо се от монитор за виртуална реалност и компютър. Системата предоставя на учениците реалистична учебна среда, която е в съответствие със стандарта NGSS (Next Generation Science Standards) – образователен стандарт, възприет в САЩ, и указващ знанията и уменията, които учениците от I-XII клас трябва да придобият в обучението по природни науки. Чрез zSpace® системата виртуалните холографски изображения могат да бъдат „изваждани“ от екрана и манипулирани чрез придружаващия стилус. Системата позволява групова работа, тъй като участниците се нуждаят само от 3D очила, за разлика от шлем, необходим при VR [Do, 2015]. Системата zSpace® използва LCD екран с разделителна способност 1920×1080 пиксела, а хардуерът превключва между ляво и дясно изображение чрез кръгово поляризирана светлина, която влиза в окото.

Очилата съдържат малки отразяващи пластини, които компютърът използва, за да следи накъде гледат потребителите. Този софтуер предотвратява гаденето и главоболието, като поддържа изображението фокусирано. zSpace® съчетава елементи от AR и VR, за да създаде реалистични изживявания, които са завладяващи и интерактивни. Системата позволява на учениците да дисектират животни и органи, да манипулират съединения и структури в 3D и да провеждат експерименти без необходимост от скъпо лабораторно оборудване и консумативи. За целта на настоящата работа zSpace® беше избран като един от AR инструментите за провеждане на STEM обучение (фиг. 2.1).



Фигура 2.1. zSpace® решение всичко в едно.

Zspace® се състои от няколко приложения за обучение и симулации. Някои от тях са:

Zspace® Studio – колекция от модели от различни тематични области и набор от предварително разработени работни листа с дейности, достъпни на различни езици;

Парк на Нютон – среда за симулация по физика, използвана за насърчаване на откривателството чрез експерименти и позволяваща събиране и анализ на данни;

Атлас на човешката анатомия – за независими изследвания на учениците върху човешкото тяло и за самооценка на наученето.

Ключовите фактори при избора на решението бяха:

- Обхват – технологията може да се използва при много предмети и може да се използва за решаване на различни типове задачи и симулации.
- Сътрудничество – възможността за работа в малки групи от по 2-ма или 3-ма ученици. Самата технология насърчава работата в екип.
- Експериментиране – възможност за извършване на научни изследвания.
- Творчеството – възможности за насърчаване и развитие на творческия процес при учениците и за поемане на рискове без страх от провал;
- Критично мислене и оценка – технологията поддържа възможности за решаване на комплексни задачи и оценяване, като помага на обучаемите да анализират и разбират по-добре абстрактните понятия.

2.2 Модел за приложение на AR/VR в STEM обучение

В множество проучвания се наблюдава, че образователните нужди и начините за възприемане на информация от съвременните ученици са се променили през последните няколко години [Kramarenko, 2019]. Докладите на Horizon на висшето образование на Консорциума за нови медии (NMC) специално посочиха AR/VR като една от ключовите образователни технологии за ангажиране на обучаемите [Birt, 2018]. Изхождайки от такива предположения, настоящата работа има за цел да отрази връзката между добавената реалност и STEM обучението. Образователна среда трябва да се възползва от ИТ екосистемата [Avellar, 2019], която съществува в училището.

Предложеният модел за използване на добавената реалност се реализира чрез работния процес (фиг. 2.2) на един и същ експеримент за 3-те групи и четирите преподавани теми. Моделът съдържа следните етапи:

1. Дадена тема първоначално се преподава по традиционен начин, като се използват само основни инструменти – учебници и някои допълнителни средства за преподаване в класната стая като 3D-модели и бяла дъска.

2. Изпълнява се комплекс от предварително подготвени традиционни упражнения, съобразени с изучавания материал.

3. Извършва се тест преди използване на AR за тази тема.

4. Резултатите от теста, направен преди учениците да са използвали AR, се документират, данните се анализират и се извършва оценяване.

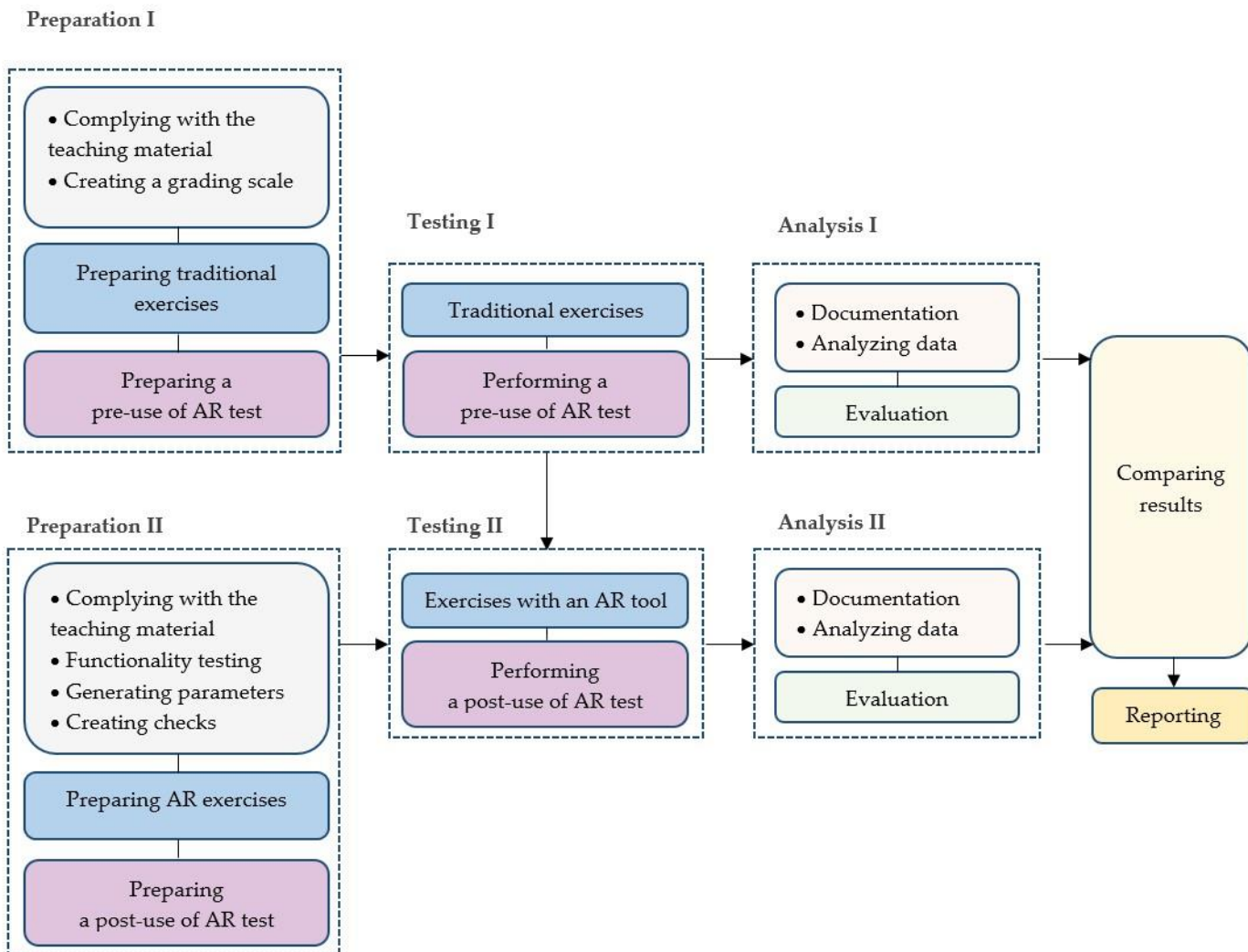
5. Изпълнява се набор от предварително подготвени AR-базирани упражнения, съобразени с изучавания материал. Учениците работят в групи по трима.

6. Извършва се тест след изпълнението на упражненията с AR.

7. Резултатите от тестовете, изпълнени след упражненията с AR, се документират, данните се анализират и се извършва оценяване.

8. Сравняват се резултатите от теста преди и след използването на AR.

9. Тези стъпки се повтарят за всяка от 4-те преподавани теми във всяка група.

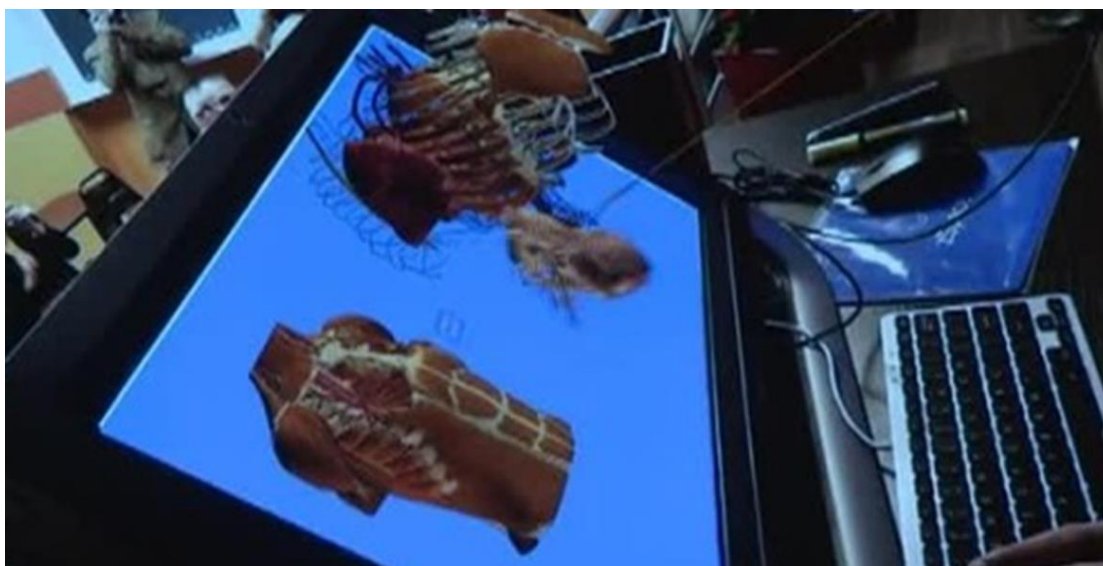


Фигура 2.2 Модел за използване на добавената реалност в STEM обучение .

Този модел е валидиран с извадка от 80 участници. Резултатите са подробно демонстрирани в следващата глава на дисертационния труд. Трудностите в прилагането на модела могат да бъдат обяснени преди всичко с необходимостта от подготовката на учителите и на съответните материали за провеждане на обучението (фиг. 2.3 и 2.4).



Фигура 2.3 3D технологии – човешкото сърце



Фигура 2.4 Анатомия в 3D

2.3 Модел за приложение на добавена и виртуална реалност в обучението по математика

В тази част на дисертацията се представя изследване, което има за цел да проучи ефекта от използването на модула за добавена реалност на GeoGebra (интерактивно приложение, предназначено за изучаване на математика и природни науки) върху развитието на пространствените математически умения на учениците чрез добавена реалност.

2.3.1 Модул за добавена реалност (AR) на GeoGebra.

В продължение на близо 2000 години математиката се е изучавала само чрез няколко книги. Но последните постижения в технологиите изискват промяна в начина, по който преподаваме и придобиваме нови знания. Докато все още има много учители, които предпочитат традиционни инструменти като бяла дъска, маркер, линия, пергел и транспортир, и не смеят да използват допълнителни инструменти и софтуер в часовете си по математика, за други използването на GeoGebra отдавна се е превърнало в рутина, а самата GeoGebra – в любим инструмент.

Много усилия са посветени на изследването на проблемите на интегрирането на технологията за добавена реалност в образователния процес, особено в STEM. Възможностите за използване на потенциала на добавената реалност в обучението и преподаването на математика са разгледани в [Tomaschko, 2019], където е представено като пример мобилно приложение GeoGebra AR за iPhone и iPad.

В някои случаи AR има за цел да осигури по-доброто пространственото виждане на математическите обекти, докато в други помага за подобряване на взаимодействието между реалността и математическите операции, включващи обекти, поставени в реален контекст като например решаване на математически уравнения, написани на черна дъска, графични функции, описани чрез някаква параметризация и др. [Martínez-Sevilla, 2018].

Така, по различни начини, AR има за цел да осигури развитието на пространствените математически умения на учениците при работа с различни математически обекти.

Геометрията е пряко свързана с пространствените умения на учениците. Тъй като триизмерните геометрични обекти се проектират върху двумерна равнина, е известно [Amir, 2020], че учениците имат проблеми с постиженията в тази област и също така имат негативно отношение към часовете по геометрия [Ibili, 2015]. Авторите в [Ibili, 2015] обсъждат проблема с използването на математически формули в геометрията за сравняване на триизмерни обекти и стигат до извода, че много ученици не са в състояние да разберат чистите математически формули. В работата [Лебамовски, 2017] се изтъква предимството на 3D обучението, чрез което се постига по-качествено преподаване в сравнение с обичайните методи.

GeoGebra е добре известен динамичен математически софтуер за обучение и преподаване на математика. GeoGebra 3D е инструмент за визуализация на криви и повърхности в триизмерно пространство, насочен към улесняване на разбирането на абстрактни и приложни геометрични понятия [Trigueros, 2019]. Приложението за добавена реалност (AR) помага да се визуализират математически фигури и тела, генерирани от GeoGebra 3D, чрез разполагането им върху повърхност, избрана от потребителя. Тим Бжежински [Brzezinski] предоставя много примери за моделиране на AR.

GeoGebra не само може значително да ускори работата в часовете по математика и да спести много време в определени случаи, но със своите инструменти за визуализация може да бъде много полезна за учениците при разбирането на концепции, които са лесни за някои, но и много трудни за други.

2.3.2 Приложение на AR GeoGebra.

В България, както и в много други страни, преподаваният материал в часовете по математика става все повече и темите, традиционно изучавани в миналото в горните класове, вече трябва да се усвояват от по-малките ученици. От една страна, часовете за упражнения са малко, а от друга, за много ученици е трудно да развият пространственото си мислене и да си представят триизмерни тела, тяхната същност и това как тези тела се образуват. При това – без да ги виждат. И тук GeoGebra влиза в играта със своя сравнително нов модул за добавена реалност.

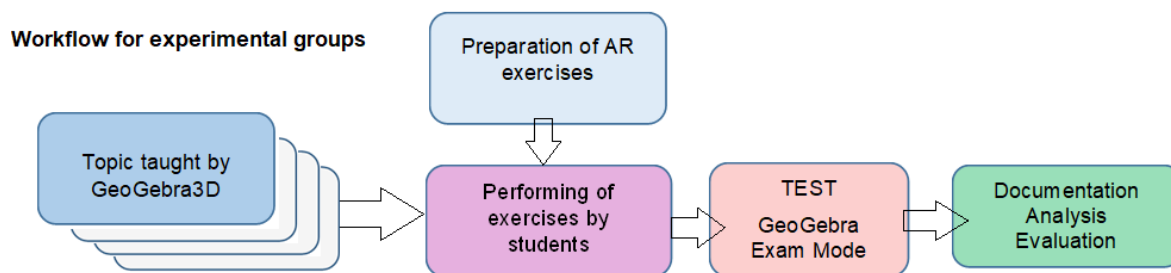
В множество проучвания се наблюдава, че добавената и виртуалната реалност (AR/VR) са две от ключовите образователни технологии, които са от значение за възприемането на информация от учениците [Kaufmann, 2003]. Изследването [Panciroli, 2017] посочва, че „добавената реалност играе значима роля във връзката между технологиите и дидактическото посредничество; неговите приложения са предпоставка за разширено обучение чрез възпроизвеждане на специфични сценарии, които надхвърлят чистото теоретично измерение”. Изхождайки от такива предположения и като се вземе предвид, че образователните нужди и начините за възприемане на информация от съвременните ученици са се променили през последните години, тази част от работата има за цел да отрази конкретно връзката между добавената реалност и обучението по математика.

Проучват се два начина за използване на AR модула:

- постигане на персонализирано учебно изживяване от учениците, предоставено от AR модула на GeoGebra чрез мобилното приложение GeoGebra 3D Calculator.
- предложение за това как учителите могат да преподават и споделят стереоскопично 3D изживяване със своите ученици чрез комбинацията от zSpace (решение „всичко в едно“ за AR образование), GeoGebra и специална zView камера.

Работният процес (фиг. 2.5) за три експериментални групи е както следва:

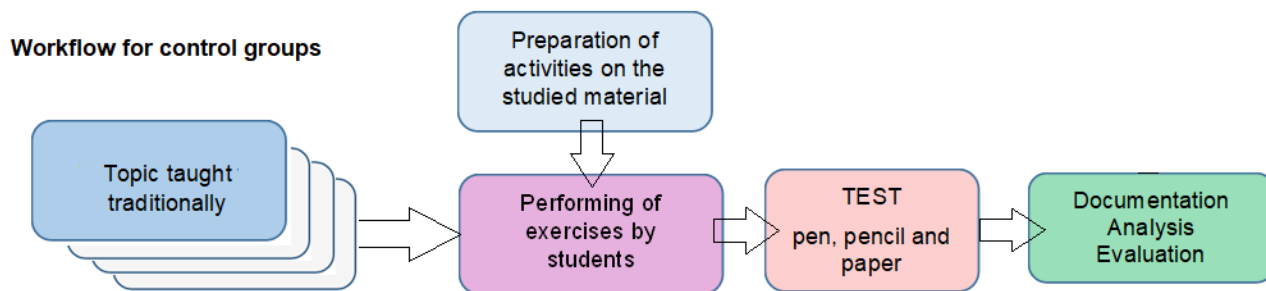
1. Темата се преподава с помощта на 3D модула на GeoGebra.
2. Учениците изпълняват набор от предварително подготвени динамични дейности и AR-базирани упражнения, съобразени с изучавания материал.
3. Извършва се тест с помощта на режима на изпит на GeoGebra.
4. Резултатите от тестовете на учениците се документират, данните се анализират и се извършва оценяване.
5. Тези стъпки се повтарят за всяка от четирите преподавани теми във всяка група.



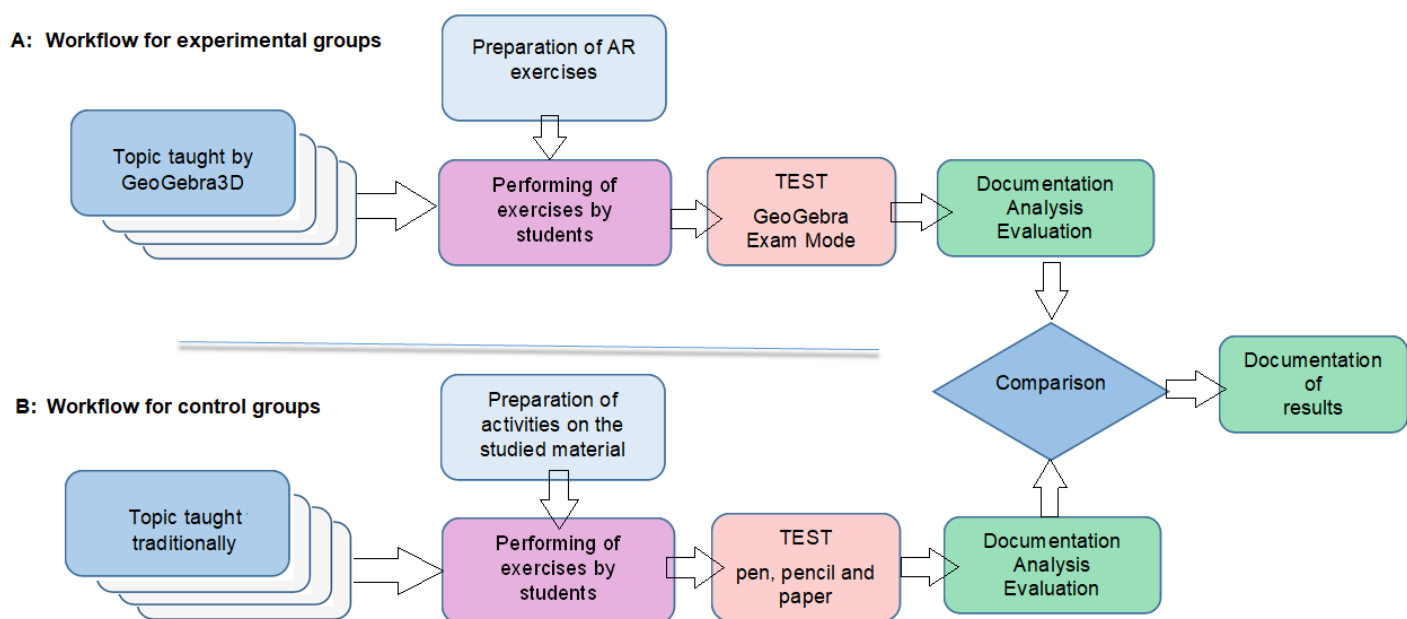
Фигура 2.5. Работният процес за експерименталната група

Работният процес за 3-те контролни групи, показан на фигура 2.6, е както следва:

1. Темата се преподава по традиционен начин.
2. Учениците изпълняват набор от предварително подготвени дейности, съобразени с изучавания материал.
3. Извършва се тест с химикал, молив и хартия.
4. Резултатите от тестовете на учениците се документират, данните се анализират и се извършва оценяване.
5. Тези стъпки се повтарят за всяка от четирите преподавани теми във всяка група.



Фигура 2.6. Работният процес за контролната група



Фигура 2.7. Общ модел за използване на AR модула

Експериментът (фиг. 2.7) е валидиран със 76 участници, резултатите са показани в следващата глава.

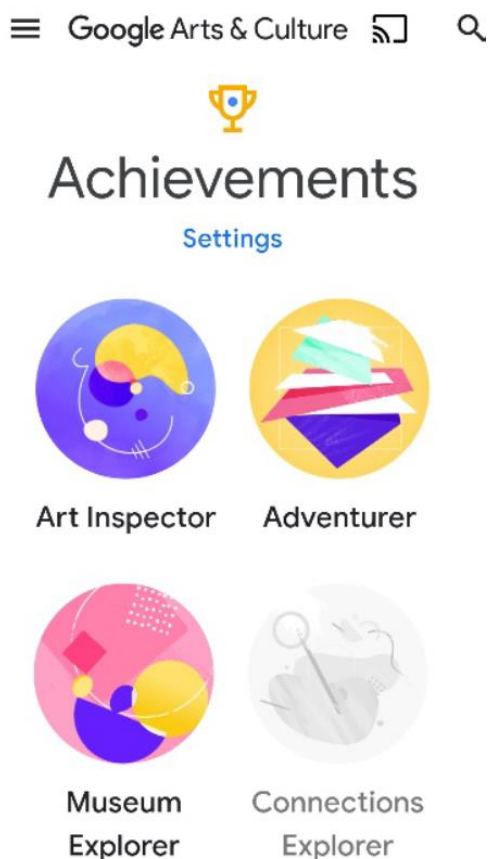
2.4 Модел за приложение на добавена реалност в обучението в областта на изкуствата

Добавената реалност се основава на концепцията за преживяване. Идеята е, че преживяното остава за цял живот. Използването на AR в образованието и по-широкото

и внедряване наистина могат да трансформират опита от ученето. Учениците биха могли да изпитат изживяване като в реалния свят, а не просто теоретично да научат за него.

В областта на изучаване на обекти на изкуството, употребата на AR може да се варира от показване на свързано съдържание, базирано на местоположение, до прозрачно AR-видео. При прозрачното AR-видео изображенията се заснемат от камера и се показват на екран с добавени данни, насложени върху обектите [Aitamurto, 2018], като по този начин добавената реалност е разположена в същото визуално поле като произведението на изкуството. Комбинирането на концепциите за добавена реалност и виртуална реалност позволява да се илюстрират образователни приложения с допълнително семантично описание, както е показано в [Bäck, 2019].

Предлаганият в тази дисертация модел за използването на AR при преподаването в часовете по изобразително изкуство съдържа 2 модула. Единият от тях е за изследване на физически пространства и произведения на изкуството в класната стая чрез приложението за AR в Google Arts & Culture (фиг. 2.8).

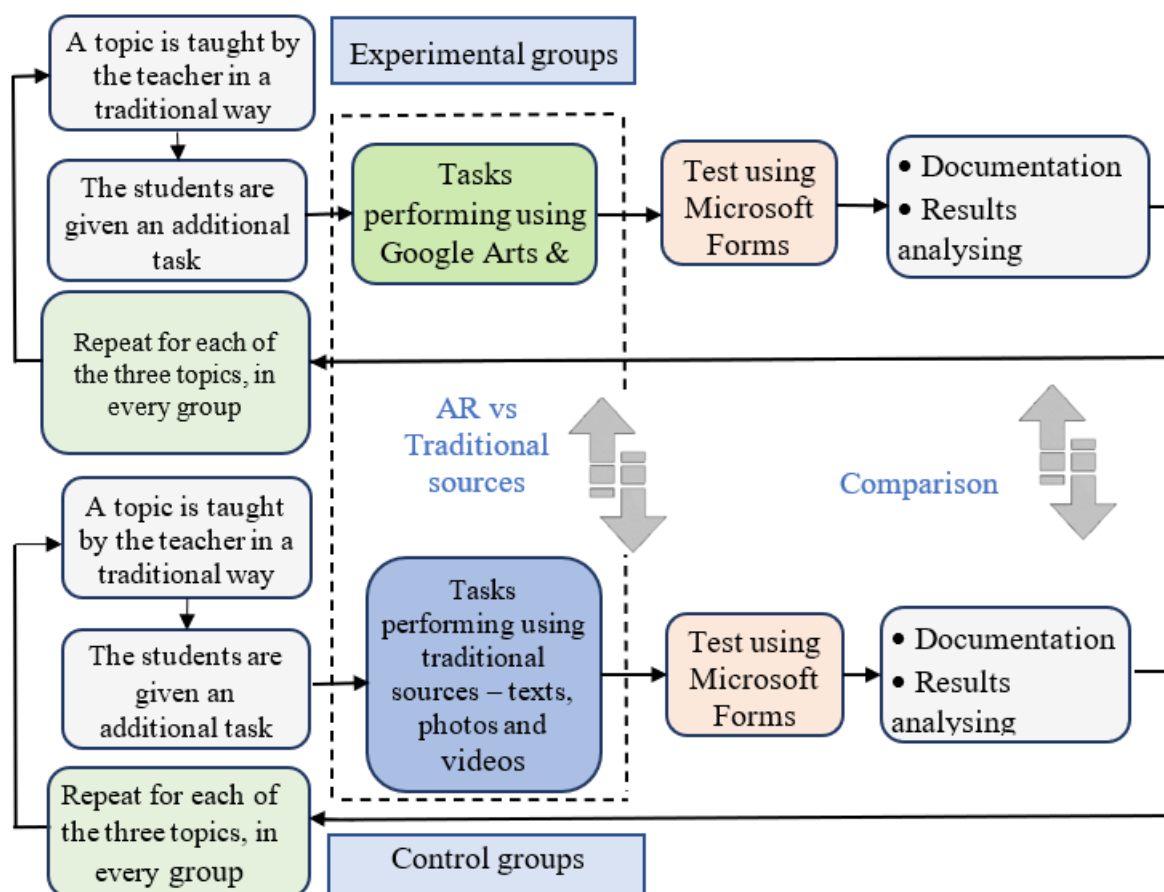


Фигура 2.8. Приложение за AR в Google Arts & Culture

Приложение за AR в Google Arts & Culture е бесплатно, достъпно е както за iOS, така и за Android и позволява много различни интерактивни преживявания. Сред тях са възможностите за изследване на колекции, музеи и галерии, както възможността да се види как изглеждат произведенията на изкуството в реален размер.

Другият модул позволява на учениците да създават свои собствени AR произведения чрез добавяне на виртуално измерение към всяко произведение на изкуството, включително създадено от самите тях, чрез анимации, видео и музика. Конкретното приложение, което може да бъде използвано, е UniteAR [Augmented reality in the classroom. <https://www.unitear.com/augmented-reality-in-education>].

Беше разработен този модел (фиг. 2.9):



Фигура 2.9. Модел на приложение на добавена реалност в обучението по изобразително изкуство

Следните стъпки се изпълняват, за да бъде приложен разработеният модел:

1. Темата се преподава от учителя по традиционен начин.
2. На учениците се поставя допълнителна задача.
3. Учениците изпълняват задачите с помощта на Google Arts & Culture.
4. Извършва се тест с Microsoft Forms.
5. Резултатите от тестовете на учениците се документират, данните се анализират и оценяват, когато са готови.
6. Тези стъпки се повтарят за всяка от трите теми (изследвания) във всяка група.

Работният процес за 3-те контролни групи, показан на фиг. 2.9, е както следва:

1. Темата се преподава от учителя по традиционен начин.
2. На учениците се поставя допълнителна задача.
3. Учениците изпълняват задачите, използвайки традиционни източници – текстове, снимки и видеоклипове.
4. Извършва се тест с Microsoft Forms.
5. Резултатите от тестовете на учениците се документират, данните се анализират и оценяват, когато са готови.
6. Тези стъпки се повтарят за всяка от трите теми (изследвания) във всяка група.

Както показват различни проучвания, ефективното обучение в областта на изкуствата, включително и интегрирането на изкуството в различни предметни области, насърчава активните, базирани на реални проблеми проучвания, събирането на данни, оценката и общуването. Използването на интегрирани подходи насърчава учениците да тестват идеи, концепции и начини за създаване, за да се противопоставят на стереотипните визии за света и да преминават установените граници [Lim, 2022]. Ученето, основано на изкуство, ясно показва пропуските и ограниченията в много съвременни и модерни идеи, и помага на учениците да организират сами рамки и структури, чрез които самите те да експериментират и да разработват нови структури, които преодоляват празнините между това, което е известно и това, което ще бъде създадено [Smilan, 2006].

2.5 Комбинация на проектно-базирано обучение с AR/VR технологии

2.5.1 Проектно-базираното обучение

Проектно-базираното обучение (Project-Based Learning – PBL) съществува от повече от 50 години. Това е метод на обучение, при който учениците придобиват знания и умения като работят продължително време, за да проучат и да отговорят на автентичен, ангажиращ и сложен въпрос, проблем или предизвикателство [Savery, 2006]. При обучението, базирано на проекти, учениците работят в групи за решаване на наистина предизвикателни проблеми, които много често са интердисциплинарни. Доказано е, че е един от най-ефективните начини за ангажиране на учениците и за предоставяне на практическо приложение на това, което учат [Lopez, 2021]. Различни проучвания демонстрират ефективността на PBL като ефективен метод в преподаването на природни науки. Въпреки че PBL не е панацея, можем уверено да заявим, че това е доказан метод на преподаване, който мотивира учениците, помага им да покриват образователните стандарти и да се справят добре на тестове, които изискват демонстрирането на задълбочени знания и мисловни умения. В същото време, проектно-базираното обучение позволява на учителите да преподават много успешно [Larmer, 2015], [Freitas, 2019].

Едно от големите предимства на PBL е, че децата учат, като стават „пътешественици“, които пътуват в света на науката, откриват разнообразие от теми от различни предмети, вместо да се фокусират само върху конкретен урок, който се преподава в момента (фиг. 2.10). Това създава у тях усещането за свобода, за личен избор, което от своя страна засилва мотивацията им за достигане до нови знания. А знанието, придобило значението на откритие, има по-висока стойност, защото подхранва любопитството и го насочва към решаване на реални проблеми със смисъл за подобряване на живота в неговата дуалистична неразделност на материално и духовно.

В същото време технологии като добавена реалност (AR) и виртуална реалност (VR) имат потенциала да предложат изключителни възможности за подобряване както на мотивацията, така и на процеса на обучение в редица предметни области, при различни нива на развитие на учениците и в различни образователни условия [Петров, 2020]. С развитието на практичните и достъпни виртуална реалност и смесена реалност, хората вече имат шанса да изпитат завладяващо учене както в класните стаи, така и неформално в домовете, библиотеките и обществените центрове [Herpich, 2019].

Ефективната PBL-AR интеграция подобрява преподаването и ученето, както и мисловните умения на учениците. Уменията за мислене са критични умения на 21-ви век, необходими за успеха на учениците [Saad, 2022].

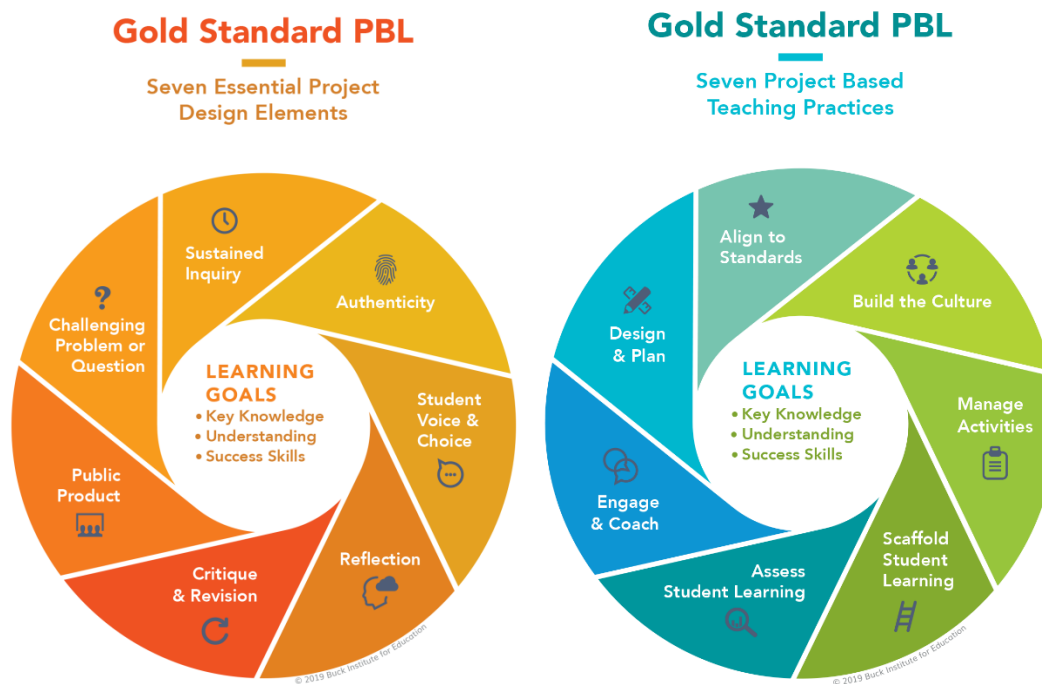
2.5.2 Комбиниране на PBL с VR и AR

При работа за подобряване на STEM образование чрез проектно-базирано обучение, комбинирано с виртуална и разширена реалност, срещаме корена „реал“ три пъти – *реален проблем, виртуална реалност и разширена реалност*. Реалният проблем е роден от реалната среда, а за решаването му допринасят виртуалната и добавената реалност. Именно на тази територия, където се срещат трите „реалности“, трябва да се очаква апогеят на ефективност от комбинирането на PBL с VR и AR.

Комбинирането на виртуална и разширена реалност с PBL създава усещането за „преживяване“ за учениците, така че в този случай може да се каже, че имаме добавена стойност от друг метод на обучение. Практическият опит, придобит от двата вида технологични реалности, е сравним с опита на учениците, придобит в реалността [Gomez-del Rio, 2022]. Чрез двата вида технологични реалности те сами правят открития; размишляват върху тях, като по този начин развиват нови умения и формират аналитично мислене.

PBL (фиг. 2.10) дава възможност на учителя да разкрие възможностите на AR и VR, разгръщайки пред учениците картини от реалния живот – един реален свят, постигнат по дигитален път, който те могат да обитават и изследват в търсене и решаване на проблеми.

Много компании за образователни технологии използват виртуална реалност, за да внесат реалистични преживявания в класната стая, като същевременно подчертават способността на технологията да вдъхновява и привлича вниманието на учениците. В областта на STEM образованието напълно интерактивните виртуални лабораторни симулации са предназначени да ангажират и стимулират естественото любопитство на учениците, докато учат.



Фигура 2. 10. Основни елементи на проектния дизайн и практики за преподаване, базирани на проекти.

Като се започне от такива предположения и като се вземе предвид, че образователните нужди и начините за възприемане на информация от съвременните ученици са се променили през последните няколко години, настоящото проучване има за цел да отрази конкретно връзката между подхода на преподаване на PBL, AR/VR и STEM обучението.

2.5.3 Модел на използване на PBL и AR/VR

Моделът за комбинация на PBL с AR/VR е практически ориентиран. Целевата група са ученици от средното училище, учещи в три различни паралелки. Учениците от всеки клас са разделени на 4 групи, всяка от които се състои от 6 ученици – по 2 контролни групи и 2 експериментални групи във всяка паралелка. Участват общо 6 експериментални и 6 контролни групи. Учениците във всяка от групите имат за задача да построят къща, в която енергията се използва по устойчив начин и използват естествени материали.

Устойчивият дом е изграден по начин, който пести ресурси, оптимизира използването на енергия и вода и издържа по-дълго с използваните материали при строежа му. Проектът съчетава знания от биология, физика, математика, инженерни

науки, занаяти и приложни техники от миналото и настоящето, обединени около идеята за алтернативни източници на електроенергия, за предимствата и недостатъците на зелената енергия.

Учениците от контролните групи трябва да използват традиционни методи за групова работа, докато останалите трябва да използват PBL, AR и VR инструменти в процеса на изследването си.

В процеса на работа учениците използваха и усъвършенстват своите умения за:

- Проучване и обобщаване на най-важната информация;
- Обосноваване на лично мнение на базата на изследвания, данни и анализи;
- Изразяване и защитаване на своята гледна точка;
- Работа в екип за решаване на даден казус;
- Съпоставяне на различните видове енергия и тяхното въздействие върху

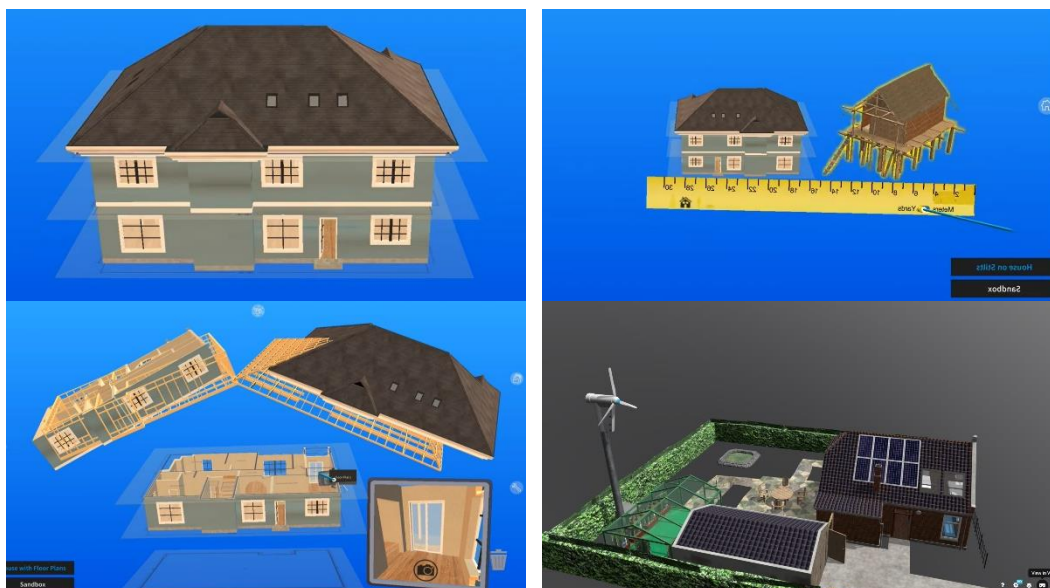
околната среда;

- Анализиране и създаване на линейни и кръгови диаграми в подкрепа на своето мнение.

Екип от трима учители подкрепяше всяка група в различните етапи от работата по проекта – един учител по природни науки, един учител по технологии и един учител по изобразително изкуство. И тримата учители имат предишен опит в PBL проекти. Учителите работиха в сътрудничество със своите колеги и планираха и изпълниха много внимателно всички стъпки в проекта. Това сътрудничество беше от голямо значение за успеха на проекта.

Всички ученици имаха добра компютърна грамотност и опит в използването на AR и VR технологии и среди – както базирани на маркери AR технологии, така и zSpace (специфично решение, съчетаващо елементи от AR и VR за създаване на реалистични изживявания, които са завладяващи и интерактивни. Системата позволява на учениците да изследват елементи и структури в 3D режим и да провеждат експерименти без необходимост от скъпо лабораторно оборудване и консумативи).

По време на работата по проекта учениците от експерименталната група използваха AR и VR технологии, за да изследват и сравнят различни конструкции на къщи и техните свойства, както и да разгледат различни напречни сечения (фиг. 2.11). Учениците изследваха различни начини на движение на въздушния поток в различни конструкции, плюсовете и минусите на естествените материали, използвани за изграждане на устойчиви къщи (фиг. 2.12), както и различните източници на възобновяема енергия.



Фигура 2.11 Изследване и преглед на структурите на къщи с помощта на AR и VR.



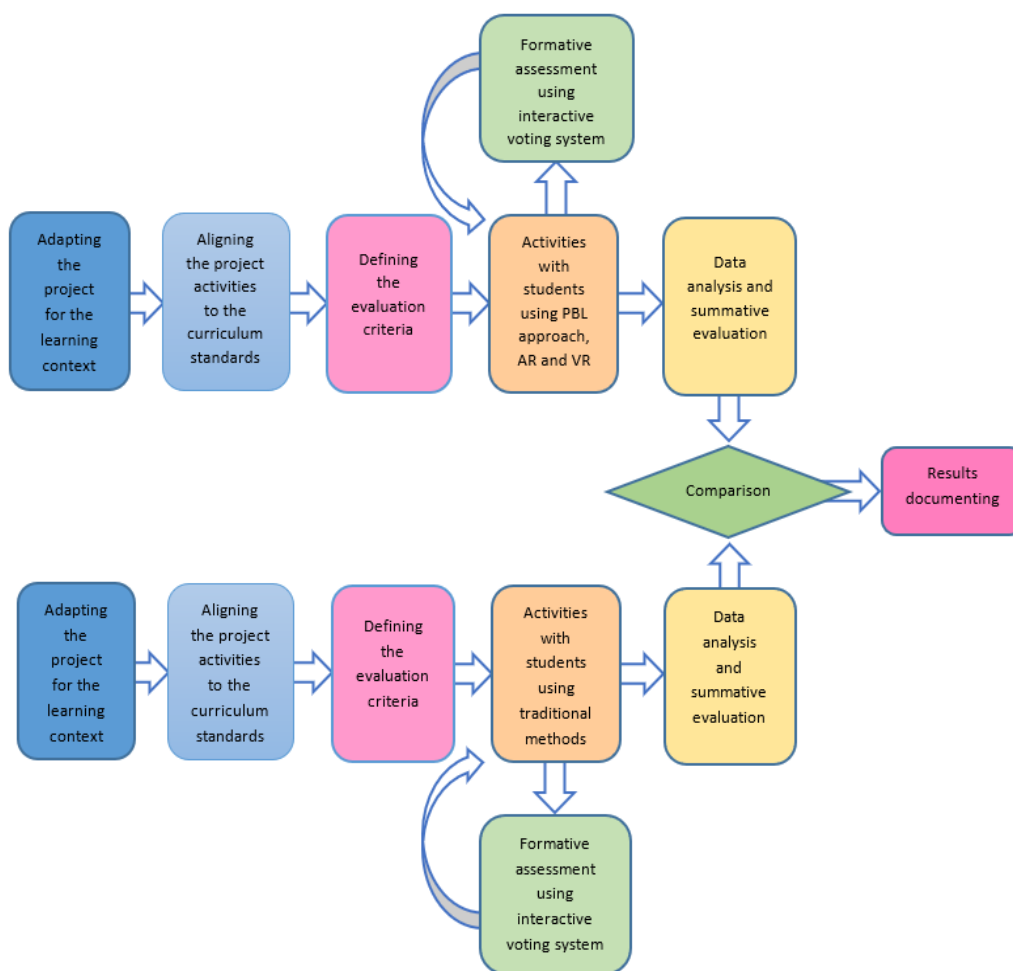
Фигура 2.12. Модел на устойчив дом, построен от експериментална група ученици.

Моделът на работния процес (фиг. 2.13) за експерименталните групи е както следва:

1. Създаване и адаптиране на проекта към учебния контекст.
2. Привеждане на проектните дейности в съответствие със стандартите на учебната програма.
3. Определяне на критериите за оценка.
4. Управление на дейностите с учениците чрез организиране на задачи и графици и осигуряване на създаването на крайни продукти чрез използване на подхода PBL, AR и VR инструменти.
5. Провеждане на тест чрез интерактивна система за гласуване.
6. Резултатите от теста се документират, данните се анализират и се правят изводи.

Работният процес за контролните групи, показан на фигура 2.12, е както следва:

1. Създаване и адаптиране на проекта към учебния контекст.
2. Привеждане на проектните дейности в съответствие със стандартите на учебната програма.
3. Определяне на критериите за оценка.
4. Управление на дейностите с учениците и осигуряване на създаването на крайни продукти чрез използване на традиционни средства за обучение и традиционни методи на групова работа.
5. Провеждане на тест чрез интерактивна система за гласуване.
6. Резултатите от теста се документират, данните се анализират и се правят изводи.



Фигура 2.13 Модел на работния процес

Валидацията на модела на съвместното използване на PBL и AR/VR е показана в глава 3 на този дисертационен труд.

2.6 Комбиниране на AR със специфични интериорни решения за обогатяване на STEM обучението

Интериорът на класната стая трябва да се разглежда концептуално като инструмент за преподаване, който стимулира и подкрепя цялостния процес на обучение, и помага за установяване на рационални и ценностни образователните задачи чрез различните изразителни средства на изкуството и дизайна.

Погрешното схващане, че наличието на най-добрите технологии в класната стая елиминира нуждата от красота и уют, е широко разпространено. Добавената реалност се счита за достатъчна, за да даде на учениците усещане за пълнота както в заобикалящата ги среда, така и в процеса на обучение. Много съвременни класни стаи със своята стерилност напомнят на строгото научно пространство, използвано от сериозни, опитни учени. Взаимодействието между физическата среда и технологията често се пренебрегва. Не се взема предвид, че в допълнение към виртуалната добавена реалност, има и материална разширена реалност, създадена от човешкото въображение, което съчетава изкуството, науката и интериорния дизайн в учебна среда – декор на учебния процес. Качественият процес на обучение съчетава традиционните с технологични средства. По същия начин, качествената класна стая трябва да комбинира комфорта с вдъхновяващия и мотивиращ потенциал на дизайна.

Тъй като придобиването на различни видове знания и умения изисква подходяща среда и инструменти, придобиването на различни видове знания в училище трябва да включва всички възможни ресурси за преподаване и обучение.

Аргументите в тази посока са от проучване, което сравнява постиженията на ученици в традиционни класни стаи със съвременно технологично оборудване и постиженията на ученици в дизайнерски стаи със същото технологично оборудване. Проучване на Университета в Салфорд [Barrett, 2016] показва, че дизайнът в класната стая може да повлияе на обучението с 25% (както положително, така и отрицателно).

Това дава основание конфигурацията учител – ученик – съдържание, в която елементите си взаимодействат двупосочно, да бъде разширена с още един /елемент – „добавена същинска реалност“, който да разшири взаимодействията и да повлияе в положителна посока на обучението. За целта трябва да се изгради оптималната материална среда, която да се превърща в естествен декор на учебния процес. Добре би било декорирането да се направи така, че да е полифункционално и да може да обслужва различни теми в STEAM обучението. Това не е продиктувано единствено от

практицизъм, а има и поведенческо-когнитивна обосновка, насочена към развиване на въображението, фокусиране на вниманието, пренастройка на мисленето, адаптиране на една и съща среда към различен учебен материал от STEAM предметните области. Веднъж изградена, тази учебна среда може да бъде надградена с AR и добавена виртуалност, в която виртуалните обектите могат да взаимодействат с обектите от реалната среда. Именно тази добавена виртуалност трябва да се превърне в „петия елемент“ (фиг. 2.14) от очертаната по-горе конфигурация учител – ученик – съдържание – декоративна учебна среда. Моделът, по-който работи петчленната конфигурация учител – ученик – съдържание – декоративна учебна среда – добавена виртуалност ще бъде разгледан в два кабинета, изградени като декорирана учебна среда.



Фигура 2.14 „Петият елемент“ при мотивация и успеваемост

За да се превърне този модел в максимално ефективен, при разработката на всеки урок се изискват следните стъпки (фиг. 2.15):

1. Определяне на образователна цел
2. Избор на педагогически модел
3. Избор на подходяща декоративна учебна среда
4. Избор на подходящи AR/VR модел и инструменти за работа
5. Оценяване и анализ на данните



Фигура 2.15 Стъпките на модела

Планирането на проектно-базиран STEAM урок се прави въз основа на комбинация от предметни области, които представят картина на света, обитаван от нас, по интересен и допълващ се начин. Планът трябва да бъде детайлно разработен, за да е добра основа за импровизации от страна на учители и ученици, да дава възможност за свободно разгръщане на въображението, без обаче да се отива към отклоняване от поставения проблем на проектно базирания урок.

Специфичните стъпки, свързани с оформлението на класните стаи, включват:

- Избор на подходяща класна стая, която най-ефектно да се трансформира в декориран кабинет по съответна STEAM предметна област.
- Избор на цветове, материали и мебели за кабинета. При този избор се подхожда като при декорирането на сцена за представление – трябва да има ясна визия за сценариите, които ще се поставят на нея. Това са проектно-базирани уроци, които биха могли да бъдат разработени и изнесени в съответното пространство.
- Избор на подходящо AR/VR оборудване.
- Създаване на 3D модел на класната стая. Създаването на такъв проект с използване на реалните размери на кабинета и мебелите в него е от ключово значение, за да се избегнат проблеми при същинската работа по преобразуване.



Фигура 2.16 Кабинет по Физика и астрономия преди (вляво) и след преобразуването (вдясно)



Фигура 2.17 Учебната стая преди (вляво) и след преобразуването (вдясно)

Като пример 1 ще вземем жълто-зелено-син кабинет по Физика и астрономия (фиг. 2.16) от столично училище, а като пример 2 – охрено-червено-син кабинет по Биология и здравно образование от същото училище (фиг. 2.17). В хода на разгръщането на действието на модела ще се разкрие полифункционалността на средата.

Концепцията за изграждането на кабинет по Физика и астрономия например е следната: подиумът е по-висок от стандартното, представлява малка сцена, от която учители и ученици представят на аудиторията своите идеи, разработки, предложения. Учителското бюро, разположено върху подиума, е под формата на стилизирана летяща чиния, а чиновете са под формата на малки учебни летящи чинии, откъдето учениците следват своя лидер. В хода на урока лидерското място се заема ту от учителя, ту от учениците, разработили и представящи своята гледна точка по поставения проблем. Така изградения кабинет допринася за фокусирането върху ученика като „действащо лице“ в обучението, като участник в образователния процес, а не като пасивен слушател и зрител. По този начин дори в моментите, когато е слушател и зрител, той е активен

слушател и зрител, който винаги може да се включи в действието. Това е основно изискване на конструктивизма като образователен подход, който е в основата на интерактивното обучение. AR/VR се използват според целите и задачите на конкретния урок.

Концепцията за изграждането на кабинет по Биология и здравно образование е аналогична, като в още по-голяма степен е застъпена свързаността между знания и умения от учебния материал със социално-емоционални компетентности, част от уменията за 21-и век. Тук целият подиум е построен като кораб, бюрото е част от корабната конструкция, където е разположена и zSpace апаратурата за добавена и виртуална реалност. Този кораб може да бъде всеки кораб, преминал през човешката история или литература, но най-често е корабът на Ной, известен като Ноев ковчег, или корабът Бигъл, на който е плавал еволюционистът Чарлз Дарвин. Чиновите са подредени под формата на галери, които съответно следват лидера от големия кораб. Островът, задължителен за кабинет по биология, също е под формата на плавателен съд. AR/VR се използват според целите и задачите на конкретния урок (фиг. 2.18).



Фигура 2.18 Кабинет по Биология и здравно образование

В подподиумното пространство и в двата кабинета са изградени шкафове/трюмове, откъдето в зависимост от урока могат чрез добавена виртуалност да излизат пред учениците извънземни, животни, киборги и всичко необходимо за обогатяване на проектно базирания урок с инструментите на новите технологии. Единството между концептуално декориран кабинет, проектно базирано STEAM обучение, AR и VR превръщат класната стая в интересно пространство, където учениците са не пасивни наблюдатели, а участници във впечатляващо учебно преживяване.

Като примерни интегрирани уроци, проведени в кабинетите, могат да се посочат:

- „Вредата от светлинното замърсяване в различни области на живота“. Урокът е базиран на предметни области: Физика и астрономия, Биология и здравно образование и литература. IX и X клас.
- „Окото – устройство и функции“, базиран на Биология и здравно образование, математика и Изобразително изкуство. Съвместно между III и XI клас.
- „Парите – материя и дух“ – Химия и опазване на околната среда, Технологии и предприемачество, История и Изобразително изкуство. Всички класове от V до XII.

2.7 Изводи

Разработените модели за приложение на AR и VR технологиите в различни преподавани дисциплини показват че, добавената и виртуалната реалност могат да бъдат използвани като много ефективен инструмент за персонализиране на учебния процес и насърчаване на приобщаващото и активно учене. Използването на AR обекти положително и значително влияе върху академичните постижения [Cabero-Almenara, 2019].

Скорошни изследвания сочат, че учениците не могат да си представят живота си без смартфони и малко от тях имат желание да учат като четат материали на хартиен носител [Lytridis, 2018]. Добавената реалност вече е достъпна за всеки човек със смартфон [Simon-Liedtke, 2022]. Смартфоните вече решават четири от основните предизвикателства пред масовия потребител на AR: дълъг живот на батерията, мобилна свързаност, екосистема на приложения и кръстосано субсидиране на телекомуникационните компании [Merely, 2017]. Тази технологията дава нови начини

не само за учене, но и за интензивно творчество. Отварят се врати за въображението. Има нарастващ брой AR приложения, програми и ресурси [Birt, 2018; Bazavan, 2021], които могат да се използват в класната стая. Разработват се нови алгоритми за използване на възможностите на AR за визуално подчертаване на информация, а така се повишава и интересът към произведения на изкуството [Vert, 2019].

В резултат на това са направени следните заключения:

1. Предложен е модел за използване на виртуалната реалност в обучението по биология като част от STEM обучението. Опитът показва, че симулациите са обещаващ начин за подобряване на учебните резултати на учениците, особено по предмети STEM;

2. Предложен е модел за приложение на добавена и виртуална реалност в обучението по математика;

3. Разработен е модел за преподаването на изобразително изкуство с AR, който съдържа два модула – единият е за изследване на географско отдалечени физически пространства и произведения на изкуството без нужда от излизане от класната стая; другият е за създаване на собствени произведения чрез добавяне на виртуално измерение към всяко произведение на изкуството.

4. Предложена е методика за комбиниране на проектно-базирано обучение с инструменти за добавена и виртуална реалност.

5. Разработен е модел за интегриране на взаимодействието между физическата среда и AR/VR технологиите.

Съдържанието на тази глава е отразено в публикациите:

1. **Plamen D. Petrov**, Tatiana Atanasova, An overview of virtual and augmented realities in STEM education, ESM 2019 ESM@'2019 - The 33rd annual European Simulation and Modelling Conference. EUROSIS-ETI, ISBN: 978-9492859-09-9, EAN: 9789492859099, pp.123-128, 2019 (**Scopus**)
2. **Petrov, P.D.**; Atanasova, T.V. The Effect of Augmented Reality on Students' Learning Performance in Stem Education. *Information* 2020, 11, 209. (**WoS, Scopus**) **SJR 0.222, Q2**

3. **Petrov, P.D.**; Atanasova, T.V. Developing Spatial Mathematical Skills Through Augmented Reality and Geogebra, ICERI2020 - The 13th Annual Int. Conf. of Education, Research and Innovation, Sevilla, Spain 09-11 Nov 2020, ISBN 978-84-09-24232-0, ISSN 2340-1095, pp. 5719-5723. **(WoS, Conference Proceedings Citation Index)**
4. **Petrov, P.**, Atanasova, T., Kostadinov, G.. Enhancing Art education in school through augmented reality. 7th SWS International Scientific Conference on Social Sciences - ISCSSL 2020, SGEM World Science (SWS) Society, Austria, 2020, ISBN:978-619-7603-15-6, ISSN: 2682-9959, DOI:10.5593/sws.iscss.v2020.7.2/s13.12, 99-106
5. **Petrov, P.**, Atanasova, T. Enhancing STEM Education Through Project-Based Learning Combined with Virtual and Augmented Reality, ICERI2022 - The 15th Annual Int. Conf. of Education, Research and Innovation, Sevilla, Spain 07-09 Nov 2022 (under print) **(WoS, Conference Proceedings Citation Index)**

Глава 3 Оценяване на ефекта от прилагането на AR/VR при обучението в различни предметни области

Някои скорошни проучвания се фокусираха върху връзката между добавената реалност и STEM обучението и неговия потенциал. Ефективността на образователните пътеки, осъществявани чрез добавена реалност, представлява един от най-интересните въпроси [Panciroli, 2017].

В училището, в което това изследване беше проведено, добавената реалност беше нова технология, затова и една от целите на учителите беше да измерят ефективността на използваната система. Ето защо беше важно използваният модел да включва три важни елемента (фиг. 3.1):

- Добре дефинирани учебни цели;
- Увлекателни учебни преживявания;
- Оценяване – на резултатите на учениците и техния опит от обучението.



Фигура 3.1. Елементи за измерване на ефективността на системата.

Един възможен подход за оценка на ефективността на дадена симулация е провеждането на сравнителни тестове. Опитът, натрупан за една учебна година, показва, че виртуалните експерименти са довели до подобряване на множество аспекти в обучението спрямо постиганото с традиционните средства. Тези първоначални констатации показаха, че симулациите са обещаващ начин за подобряване на

резултатите от обучението на учениците, особено по STEM предметите. За да се докаже това, беше направен допълнителен анализ.

Оценката на това дали целите на обучението са постигнати, особено когато са направени много инвестиции в оборудване, е от решаващо значение за ефективното използване на това оборудване. Това изисква създаване на стратегия за оценка, събиране на данни за оценка и даване на препоръки за допълнителни подобрения.

Изследването оценява ефекта от работата в учебна среда, разширена с добавена реалност, и използвана за подобряване на учебния процес и задълбочаване на разбирането на учебния материал.

3.1 Оценяване на прилагането на AR/VR в STEM обучението

Участници в изследването бяха ученици от гимназията, разделени на три групи според техните направления на обучение – хуманитарни, STEM и информационни технологии (ИТ). Това са 3 отделни групи ученици със специфични интереси, които на този етап от обучението си трябваше да изучават един и същ учебен материал по биология. Участниците трябваше да изучават теми, свързани с човешката анатомия, по време на задължителните си уроци по биология. Обхванатите теми в курса включват сърце и кръвоносни съдове, сърдечна дейност, кръв и един обобщаващ – кръвоносна система. Учениците не бяха използвали никакви AR инструменти преди това проучване. Броят на участниците в групите беше както следва: 28, 28 и 24.

Въздействието върху напредъка на учениците беше измерено чрез тестове, сравняващи резултатите им преди и след използване на AR приложенията. Използвана беше AR системата е Zspace® (Фигура 3.2). Експериментите са проведени в 134. средно училище „Димчо Дебелянов“ в София, България, през 2018 г. [Opening of New STEM Laboratories Gives Sofia Pupils Room for Inspiration. <https://www.ort.org/en/news/opening-of-new-stem-laboratories-gives-sofia-pupils-room-for-inspiration>].



Фигура 3.2. Екранна снимка на модел на разширена реалност (AR) на сърцето и кръвоносните съдове

Трябва да се отбележи, че използваната AR система предоставя на учениците визуална и много реалистична среда за обучение, която традиционният начин на преподаване не може да осигури, а тестовете след употреба бяха направени, след като всяка тема беше практически разгледана два пъти – веднъж без и веднъж с използване на AR инструмент.

Microsoft Forms беше използван като онлайн инструмент за създаване на тестове, разпространението им и за събиране на данните от тях. Данните, събрани от въпросниците, бяха експортирани и анализирани с помощта на Microsoft Excel и неговите инструменти за анализ. Резултатите от всички тестове, извършени с всяка група (преди и след употреба на AR), бяха обобщени (Таблица 3.1).

Усреднени резултати от група 1, група 2 и група 3:

Таблица 3.1. Средни резултати на групите.

Група	Средни точки преди използване на AR					Средни точки след използване на AR					Промен и в %
	Тест 1	Тест 2	Тест 3	Тест 4	Средно аритметично	Тест 1	Тест 2	Тест 3	Тест 4	Средно аритметично	
Група 1	20	19	20	22	80	29	29	28	29	116	46%
Група 2	21	21	21	21	84	28	27	27	28	109	32%
Група 3	17	17	17	16	66	22	22	21	21	86	31%
Средно	19	19	19	20	77	26	26	26	26	104	36%

Резултати от данните на група 1

Таблица 3.2. Резултати от данните на група 1

Student	Точки преди използване на AR					Точки след използване на AR					Change in %
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Total	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Total	
1	17	14	17	17	65	29	29	28	27	113	73,85%
2	15	15	17	20	67	29	26	28	26	109	62,69%
3	22	21	23	25	91	32	32	31	30	125	37,36%
4	12	10	21	17	60	22	22	24	25	93	55,00%
5	22	20	18	23	83	32	31	28	29	120	44,58%
6	21	19	22	22	84	29	30	25	28	112	33,33%
7	11	8	17	14	50	20	21	24	24	89	78,00%
8	19	17	21	23	80	32	32	30	29	123	53,75%
9	23	22	23	27	95	32	32	32	29	125	31,58%
10	24	21	23	24	92	32	32	32	31	127	38,04%
11	15	17	15	19	66	27	27	27	27	108	63,64%
12	17	18	19	24	78	30	30	29	29	118	51,28%
13	20	18	20	25	83	31	30	29	31	121	45,78%
14	26	23	23	27	99	32	32	32	32	128	29,29%
15	27	27	23	30	107	32	31	32	32	127	18,69%
16	27	21	20	28	96	32	30	30	31	123	28,13%
17	17	15	19	29	80	26	27	21	28	102	27,50%
18	20	22	22	22	86	32	32	30	32	126	46,51%
19	18	14	15	14	61	24	27	27	28	106	73,77%
20	18	20	17	20	75	27	25	28	24	104	38,67%
21	20	22	20	22	84	31	32	30	32	125	48,81%
22	19	21	19	21	80	31	30	31	31	123	53,75%
23	21	19	19	19	78	29	30	27	28	114	46,15%
24	20	18	18	18	74	28	27	25	26	106	43,24%
25	19	17	19	17	72	28	29	28	26	111	54,17%
26	24	24	23	24	95	32	32	32	32	128	34,74%
27	22	18	18	18	76	26	23	27	26	102	34,21%
28	23	20	25	19	87	32	32	30	32	126	44,83%

Таблица 3.3. Резултати от група 1—средни и стандартни стойности на отклонение.

	Преди използване на AR	След използване на AR
Средна стойност	80,14	115,50
Стандартно отклонение	12,81	10,89

Вижда се, че средните стойности след използване на AR се увеличават (Таблица 3.3), но все още е необходимо да се определи дали промяната във всяка средна стойност е била значителна. Значимостта показва, че разликата между средните стойности е по-голяма от стойност, която бихме очаквали случайно. Нулевата хипотеза беше, че средната стойност на AR след употреба ще бъде равна на средната стойност на AR преди употреба. Използвано е ниво на значимост от 0,05. По този начин стойностите на p по-малки от 0,05 се считат за значими, докато стойностите на p над 0,05 се считат за незначими.

За да се определи дали средната разлика между двата набора от наблюдения е значителна, беше направен двоен t -тест. Използван е t -тест, за да се установи дали коефициентът на корелация е значително различен от нула и следователно, че има доказателства за връзка между двете променливи (Таблица 3.4).

Таблица 3.4. Група 1 - Резултати от Т-тест с коефициент.

	Преди използване на AR	След използване на AR
Средна стойност	80,14285714	115,5
Дисперсия	170,2010582	122,9259259
Брой наблюдения	28	28
Pearson корелация	0,84139693	
Хипотетична средна разлика	0	
Df	27	
t Stat	-26,53337332	
P(T<=t) one-tail	3,54139E-21	
t Critical one-tail	1,703288446	
P(T<=t) two-tail	7,08278E-21	
t Critical two-tail	2,051830516	

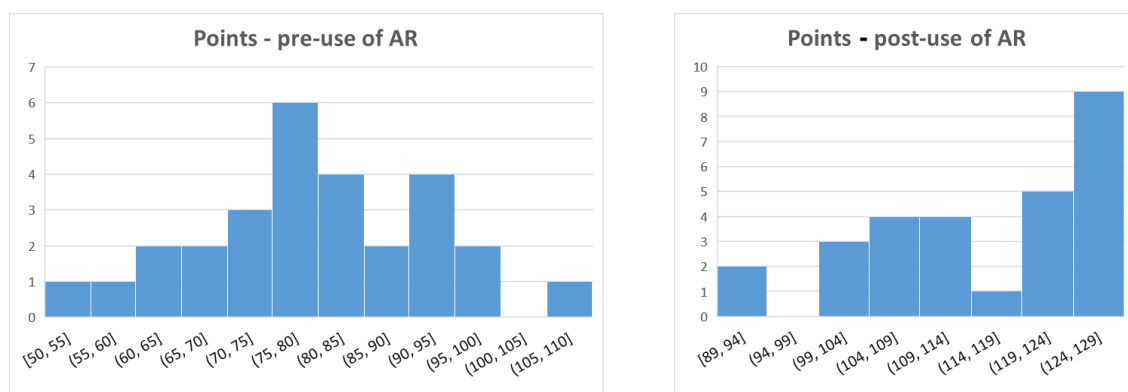
Изчислена е корелацията на Pearson. Коефициентът на корелация на Pearson (1) е статистическа мярка, известна като r стойност. Той описва степента на асоциативно влияние на променливите [Dineva, 2019]. За всеки две променливи се показва стойност, която показва силата на корелация.

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (1)$$

където n - брой двойки точки; $\sum xy$ —сума от произведенията на сдвоените резултати; $\sum x$ —сума от x точки; $\sum y$ —сума от y точки; $\sum x^2$ —сума от x резултати на квадрат; $\sum y^2$ —сума от резултатите на квадрат от y . Двете променливи x и y са количествени и непрекъснати.

Стойността 0,84 на корелационния коефициент на Pearson показва силна корелация между променливите – с нарастването на едната променлива другата променлива също има тенденция да се увеличава.

Въз основа на информацията, предоставена в таблица 2.3, беше определена значимостта на промяната в средната стойност. Хистограмите на резултатите от 1-ва група ученици са показани на фигура 3.3.



Фигура 3.3. Хистограми на резултатите от ученическа група 1.

Подобни сдвоени t-тестове бяха извършени за група 2 и група 3. Резултатите са обобщени в таблици 4 и 5. Таблица 2.6 показва коефициентите на корелация на Pearson за групи 1, 2 и 3 след всички сдвоени t-тестове. Хистограмите на резултатите на групи 2 и 3 са показани съответно на Фигура 2.5 и Фигура 2.6.

Резултати от данните на група 2

Таблица 3.5. Резултати от данните на група 2

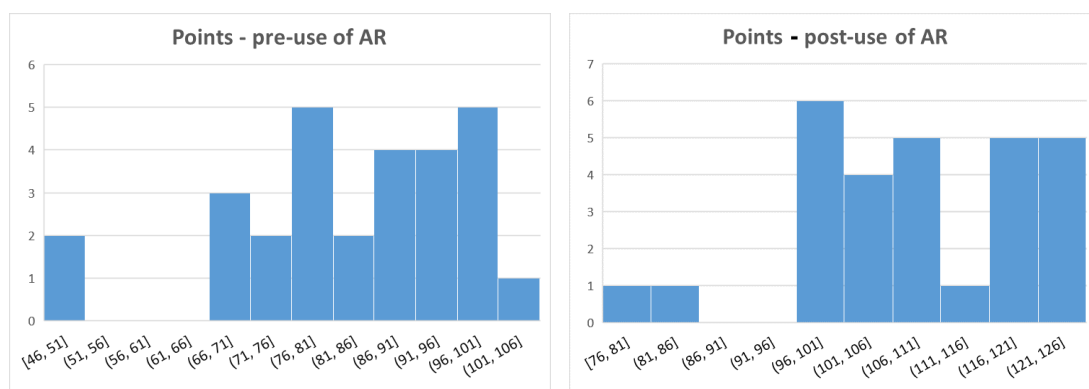
Student	Точки преди използване на AR					Точки след използване на AR					Change in %
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Total	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Total	
1	22	17	21	20	80	30	27	27	27	111	38,75%
2	22	17	18	19	76	28	23	23	24	98	28,95%
3	24	24	24	27	99	32	32	31	30	125	26,26%
4	16	16	19	19	70	27	25	23	25	100	42,86%
5	25	25	24	24	98	32	31	28	29	120	22,45%
6	24	23	24	25	96	32	28	28	29	117	21,88%
7	18	18	18	17	71	23	24	25	26	98	38,03%
8	22	18	19	19	78	27	23	26	29	105	34,62%
9	24	23	24	25	96	32	32	32	30	126	31,25%
10	12	9	13	13	47	15	17	23	28	83	76,60%
11	9	11	13	13	46	13	16	25	22	76	65,22%
12	15	20	17	19	71	22	27	23	29	101	42,25%
13	24	22	26	25	97	31	32	28	29	120	23,71%
14	25	26	25	25	101	32	32	32	30	126	24,75%
15	24	24	24	19	91	30	27	32	30	119	30,77%
16	25	21	21	28	95	28	25	28	30	111	16,84%
17	21	20	22	22	85	28	25	24	27	104	22,35%
18	20	19	19	17	75	27	24	25	25	101	34,67%
19	24	22	21	20	87	28	28	27	26	109	25,29%
20	21	21	21	20	83	27	27	28	24	106	27,71%
21	23	23	26	27	99	31	32	31	31	125	26,26%
22	22	26	24	22	94	31	31	29	30	121	28,72%
23	23	25	25	30	103	31	32	31	28	122	18,45%
24	19	20	19	19	77	25	23	25	26	99	28,57%
25	23	22	23	19	87	30	28	27	26	111	27,59%
26	21	23	21	24	89	27	29	26	31	113	26,97%
27	21	21	20	18	80	26	26	27	26	105	31,25%
28	21	19	21	20	81	27	27	29	27	110	35,80%

Таблица 3.6. Резултати от група 2 — средна стойност и стандартно отклонение.

	Преди използване на AR	След използване на AR
Средна стойност	84,00	109,36
Стандартно отклонение	14,25	12,27

Таблица 3.7. Група 2 - Резултати от Т-тест с коефициент.

	Преди използване на AR	След използване на AR
Средна стойност	84	109,3571429
Дисперсия	210,5925926	156,1640212
Брой наблюдения	28	28
Pearson корелация	0,959278606	
Хипотетична средна разлика	0	
Df	27	
t Stat	-30,920481	
P(T<=t) one-tail	6,46126E-23	
t Critical one-tail	1,703288446	
P(T<=t) two-tail	1,29225E-22	
t Critical two-tail	2,051830516	



Фигура 3.4. Хистограми на резултатите от ученическа група 2.

Резултати от данните от група 3

Таблица 3.8. Резултати от данните на група 3

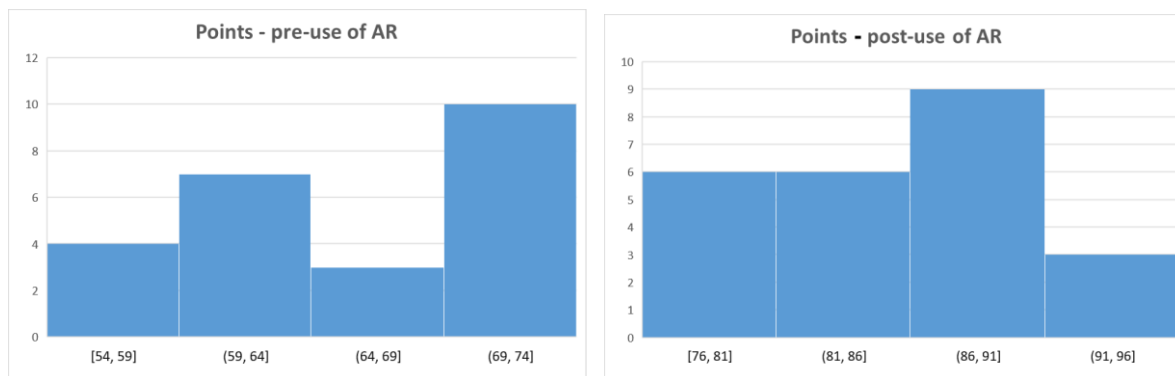
Student	Точки преди използване на AR					Точки след използване на AR					Change in %
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Total	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Total	
1	14	14	11	15	54	21	20	17	18	76	40,74%
2	15	14	14	16	59	22	20	18	21	81	37,29%
3	19	17	17	19	72	23	22	21	25	91	26,39%
4	15	15	16	17	63	24	20	19	24	87	38,10%
5	13	19	18	14	64	19	25	21	22	87	35,94%
6	13	17	14	14	58	18	23	20	23	84	44,83%
7	15	18	18	14	65	22	24	23	19	88	35,38%
8	17	18	18	15	68	21	21	23	21	86	26,47%
9	18	19	19	18	74	20	24	24	25	93	25,68%
10	12	12	17	16	57	17	17	22	22	78	36,84%
11	15	14	17	16	62	20	19	21	19	79	27,42%
12	15	18	15	17	65	19	24	21	21	85	30,77%
13	19	17	18	18	72	23	22	23	23	91	26,39%
14	18	19	17	18	72	23	23	20	23	89	23,61%
15	19	16	14	13	62	22	20	20	18	80	29,03%
16	16	16	16	13	61	23	22	21	18	84	37,70%
17	18	11	17	15	61	23	21	21	16	81	32,79%
18	19	14	16	14	63	22	22	22	18	84	33,33%
19	18	19	18	16	71	23	23	24	22	92	29,58%
20	18	20	18	15	71	24	24	23	20	91	28,17%
21	19	17	20	17	73	23	26	24	21	94	28,77%
22	17	22	18	13	70	21	23	23	19	86	22,86%
23	22	20	17	14	73	25	23	22	18	88	20,55%
24	22	16	17	17	72	25	22	22	22	91	26,39%

Таблица 3.9. Резултати от група 3 — средна стойност и стандартно отклонение.

	Преди използване на AR	След използване на AR
Средна стойност	65,92	86,08
Стандартно отклонение	5,84	4,92

Таблица 3.10. Група 3 - Резултати от Т-тест с коефициент.

	Преди използване на AR	След използване на AR
Средна стойност	65,91666667	86,08333333
Дисперсия	35,64492754	25,21014493
Брой наблюдения	24	24
Pearson корелация	0,898034854	
Хипотетична средна разлика	0	
Df	23	
t Stat	-37,30281491	
P(T<=t) one-tail	2,22094E-22	
t Critical one-tail	1,713871528	
P(T<=t) two-tail	4,44188E-22	
t Critical two-tail	2,06865761	



Фигура 3.5. Хистограми на резултатите от група 3.

Таблица 3.11. Корелации на Pearson за групи 1, 2 и 3 след t-тестове.

Група	Наблюдения	t Stat	Корелация на Pearson
Група 1	28	-26,53337332	0,84139693
Група 2	28	-30,920481	0,959278606
Група 3	24	-37,30281491	0,898034854

Може да се види, че и в трите групи използването на AR системата и средата ѝ за обучение доведе до статистически значима разлика в нивото на разбиране на учебния материал от учениците в сравнение с традиционните текстови и графично базирани инструменти за обучение.

3.2 Оценяване на ефекта от разработените модели с AR модула на Geo Gebra

Проучени се два начина за използване на AR модула:

- за персонализирано учебно изживяване, предоставено от AR модула на учениците чрез мобилното приложение Geo Gebra 3D Calculator.
- за това как учителите могат да преподават и споделят стереоскопично 3D изживяване със своите ученици чрез комбинацията от zSpace (решение „всичко в едно“ за AR образование), GeoGebra и специална zView камера.

Участниците в експеримента бяха гимназисти, обучаващи се в три различни паралелки според специалността си – чужди езици, природни науки и информационни технологии (ИТ). Това са 3 отделни групи ученици със специфични интереси, които трябва да изучават един и същи учебен материал по математика на този етап от обучението си. Участниците изучаваха теми от стереометрията по време на задължителния си курс по математика. Обхванатите 4 теми в курса включват:

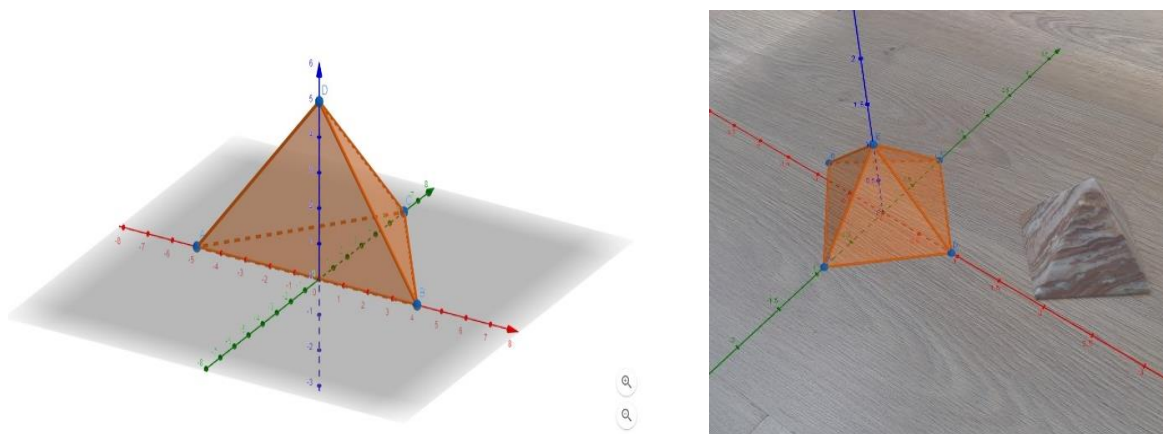
- Взаимно положение на две прави и ъгъл между тях
- Взаимно положение на права и равнина
- Взаимно положение на две равнини
- Тела – права призма, пирамида, прав кръгъл цилиндър, прав кръгъл конус, сфера и кълбо.

Учениците имаха частичен предишен опит в използването на GeoGebra. До този момент GeoGebra беше използвана като допълнителен инструмент, който им позволява да придобият друг тип опит с математиката – по по-смислен и визуален начин, особено в 2D геометрията. Опитът включваше работа с предварително подготвени от учителя интерактивни работни листове, включително симулации, видеоклипове и въпроси с избираем отговор. Самите ученици бяха работили по различни задачи след конкретни и ясни указания от преподавателя.

Всеки клас беше разделен на 2 групи с равен брой ученици – една контролна група и една експериментална група. Имаше общо 3 експериментални и 3 контролни групи. Ефектът от използването на 3D модула на GeoGebra върху представянето на учениците и развитието на техните пространствени умения беше измерен чрез сравняване на резултатите на учениците от 2-та вида групи. Един и същ учител обучаваше всички ученици. Броят на участниците в трите класа беше както следва: 26, 26 и 24.

Учениците от експерименталната група преминаха допълнителен интензивен курс за използване на 3D и AR модулите на GeoGebra. От голямо значение в този процес беше използването на системата за добавена реалност zSpace в режим "3D Grapher" заедно с 3D модула на GeoGebra. zSpace беше използван в комбинация с zView камера. Камерата zView беше избрана като инструмент, защото позволява споделяне на екрана на zSpace с много ученици. zView позволява прожектиране на изживяването на потребителя със zSpace върху втори монитор или екран.

Учениците от експерименталните групи проучиха учебния материал и направиха тестовете с помощта на 3D и AR модула (само на мобилни устройства) на GeoGebra. Учениците от контролните групи изучаваха учебния материал и направиха тест по традиционния начин – с помощта на химикал, хартия, линия и др.



Фигура 3.6. Визуализация на AR модула на GeoGebra

Резултатите от експеримента са обобщени в таблица 3.12.

Таблица 3.12 . Резултати от експериментите.

	Получени точки в контролни групи					Получени точки в експериментални групи					Разлика в %
	Тест 1	Тест 2	Тест 3	Тест 4	Общо	Тест 1	Тест 2	Тест 3	Тест 4	Общо	
Група 1	10	12	15	15	52	14	15	18	21	68	31%
Група 2	14	15	14	17	60	15	18	21	22	76	27%
Група 3	12	14	16	14	56	15	18	18	22	73	30%
Средно е	12	14	15	15	56	15	17	19	22	72	29%

И в 3-те групи се наблюдава ръст на резултата в точки. Средният процент на увеличение е почти 30.

Натрупаният опит показва, че GeoGebra може не само значително да ускори работния процес в уроците по математика и да спести много време в определени случаи, но със своите инструменти за визуализация може да бъде много полезна за учениците при разбирането на понятия, които са лесни за някои, но много трудни за други. Сред тях е работата с триизмерни обекти и, по-специално, развиването на пространствени математически умения. За много ученици е трудно да си представят същността на някои 3D тела и процеса на тяхното образуване, особено без да ги гледат или просто като гледат двуизмерен чертеж.

Трябва да се отбележи, че е необходима много допълнителна работа и предварителна подготовка на учебните материали, за да може учебният процес да протича гладко и лесно. Повече учители трябва да бъдат обучени, за да прилагат инструментите на GeoGebra в класната стая, тъй като неуспехът в това може да доведе до разочарование както при учителите, така и при учениците, и до лесен отказ от използване на софтуера.

Резултатите показват, че GeoGebra не само може значително да ускори работния процес в уроците по математика и може да бъде много полезна за учениците при разбирането на различни геометрични понятия.

3.3 Оценяване на ефекта от приложението на добавена реалност в обучението в областта на изкуствата

Това изследване представя резултати от приложението на AR в преподаването на изобразително изкуство според учебната програма за средните училища в България.

3.3.1 Изследване на физически пространства и произведения на изкуството в класната стая.

Първият тип приложение, което беше изследвано в проучването, позволява на учениците да изследват физически пространства и произведения на изкуството, докато са в класната стая.

Участниците бяха ученици от пети клас, обучаващи се в три различни паралелки. Това са три отделни групи ученици, които трябва да изучават един и същи учебен материал по предмета изобразително изкуство.

Задачите, които бяха поставени на учениците, се отнасяха до изследване на древни артефакти, на конкретна художествена галерия и на конкретна картина. Задачите бяха част от следните теми от учебната програма:

- „Праисторическото изкуство и изкуството на древен свят”
- „Изкуство и виртуална среда”
- „Информационни страници за изкуство”.

Съгласно указанията в учебната програма на учениците трябва да се предостави възможност да:

- посещават художествени галерии, музеи и изложби по местоживееене, в региона и в интернет;
- правят изводи за културата от определена епоха въз основа на информацията, получена от обект;
- планират и организират работата по зададена задача;
- правят изводи за живота на хората в древния свят;
- изразяват лично мнение и оценка за произведение на изкуството;
- разглеждат информационни страници за известни художници и навигират в тях.

Всеки клас беше разделен на две групи с равен брой ученици – една контролна група и една експериментална група. Имаше три експериментални и три контролни групи общо. Ефектът от използването на AR при преподаване на предмета изобразително изкуство върху представянето на учениците беше измерен чрез сравняване на резултатите на учениците от двата типа групи. Един и същ учител обучаваеше всички ученици. Броят на участниците в три класа бяха както следва: 24, 22 и 22.

Приложението, използвано за изследване на физически пространства и произведения на изкуството, беше *Google Arts & Culture*. Имаше няколко причини за това решение – то е безплатно, достъпно е както за iOS, така и за Android и позволява много различни интерактивни преживявания. Сред тях са възможностите за изследване на колекции, музеи и галерии, както и възможността да се види как изглеждат произведенията на изкуството в реален размер.

С помощта на инструмента с добавена реалност *Art Projector* може да се експериментира чрез смартфон или таблет и може да се вдъхне живот на културни обекти с AR проектиране на 3D модели в реалния свят чрез камерата на устройството.

Проведени са отделни занятия с учениците от контролните и експерименталните групи. Участниците в експерименталните групи трябваше да инсталират предварително приложението *Google Arts & Culture* на своите смартфони или планшети. Допълнително беше проведен кратък курс за това как да се използва приложението.

И с двата вида групи бяха проведени уроци от учителя по един и същи начин и върху един и същ материал. След това на всички ученици беше поставена една и съща допълнителна задача – да се изследват древен артефакт, конкретна галерия и конкретна картина.

Учениците от експерименталните групи използваха смартфони/планшети и *Google Arts & Culture* за изпълнение на задачите. Същите задачи трябваше да бъдат изпълнени и от учениците от контролните групи по традиционни начини – чрез текстове, снимки и видео.

Microsoft Forms беше използван като онлайн инструмент за създаване на тестове и събиране на данните и от двете групи. Данните, събрани от въпросниците, бяха експортирани и анализирани с помощта на *Microsoft Excel* и неговите инструменти за анализ.

3.3.2 Създаване на собствени произведения

Вторият вид приложение, което беше проучено, позволява на учениците да създават свои собствени AR обекти чрез добавяне на виртуално измерение към всяко произведение на изкуството, включително създадено от самите тях – анимации, видео и музика. Конкретното приложение, което беше тествано, е *UniteAR* [<https://www.unitear.com/>]. Това е SaaS платформа за добавена реалност, която позволява на потребителите да създават свои собствени AR изживявания буквално с три щраквания.

Това упражнение беше за всички ученици. Една от основните цели беше да се измери промяна в ангажираността на учениците в часа по изкуство при използване на AR приложение. Те трябваше да нарисуват картина и да оставят свободно място върху нея, за да се създаде виртуален обект, който да бъде поставен там по-късно.

Както често се случва в часовете по изобразително изкуство, има и по-добри и по-уверени ученици в рисуването, както и такива, които не се справят много успешно. В този случай уменията за рисуване не бяха от първостепенно значение, тъй като всички ученици можеха да обогатят своите рисунки чрез добавяне на изображения, аудио, видео, 3D обекти или 360-градусово панорамно видео към своите рисунки. Така учениците създадоха голямо разнообразие от произведения и успяха да използват максимално своя потенциал и креативност.

Таблица 3.13 . Резултати от експериментите.

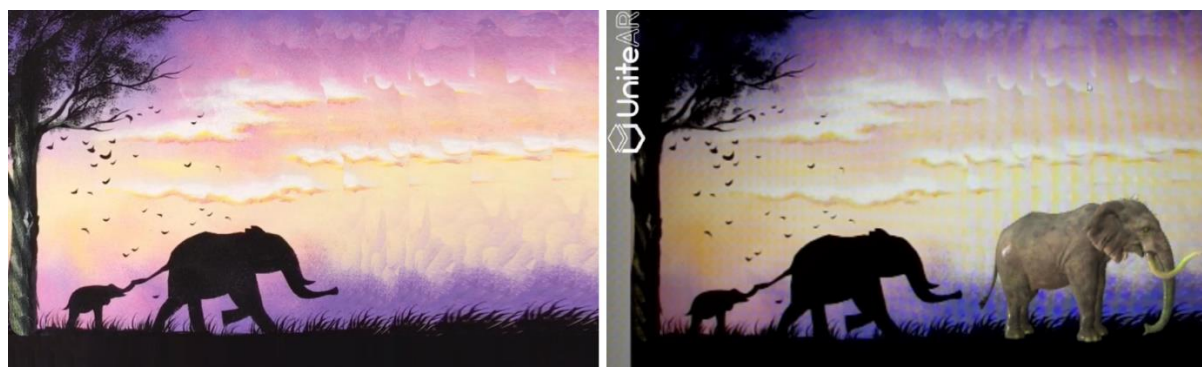
Група	Точки на контролни групи				Точки на експериментални групи				Промяна в %
	Тест 1	Тест 2	Тест 3	Общо	Тест 1	Тест 2	Тест 3	Общо	
Група 1	9	11	12	32	11	13	14	38	19%
Група 2	12	13	11	36	13	15	16	44	22%
Група 3	13	11	13	37	15	14	15	44	19%
Средно	11	12	12	35	13	14	15	42	20%

Следните фигури показват някои примери от работата на учениците, извършена с помощта на AR приложение в часовете по изобразително изкуство

((фиг. 3.7), (фиг. 3.8).



Фигура 3.7 Работа на учениците, извършена с помощта на AR приложение в уроци по изобразително изкуство



Фигура 3.8 Работа на ученик от 5-ти клас с AR приложение

Първият експеримент е валидиран чрез извадка от 68 участници. Изследванията могат да бъдат разширени, но е необходима много допълнителна работа, свързана с предварителната подготовка, за да протича лесно и гладко учебният процес.

Опитът показва, че един качествен AR инструмент, осигуряващ мултидисциплинарен подход, с възможности за персонализиране и с много инструменти за визуализация, може да бъде много полезен за учениците – да планират самостоятелно работата си, да правят изводи и да се научат да изразяват своето мнение като оценяват предмети, свързана с изкуството.

Вторият експеримент показва, че средната ангажираност на учениците се е увеличила с 27%. Тя е измерена чрез анкетни карти, изготвени от учителя по изобразително изкуство в сътрудничество с училищен психолог. За някои от учениците, които не бяха уверени в своите умения за рисуване, увеличението на ангажираността достигна 38%.

Натрупаният опит показва, че използването на Google Arts & Culture дава не само всички тези възможности, но също така предоставя уникално персонализирано учебно изживяване и възможности за работа в екип. Един допълнителен инструмент на приложението – „Постижения“ – се оказва много мотивиращ за учениците. Ясно е се видя колко много някои от учениците се нуждаят от насърчаване в ежедневната си работа в клас. Въпреки това, както показва изследването [Tzima, 2019], AR технологията все още не е широко разпространена, има бариери и ограничения пред нейното внедряване в образованието.

Експериментите в това проучване показаха повишаване както на постиженията на учениците в процеса на изучаване на предмета изобразително изкуство, така и в нивото на ангажираност, особено за учениците които не бяха уверени в уменията си за рисуване. Възможността за създаване на AR продукти, обогатени с мултимедия, подобриха творческия процес при учениците, мотивираха ги да направят по-добри рисунки и накара нетърпеливите да завършат работата си до край.

Някои от срещнатите предизвикателства бяха свързани с работа с приложенията. Въпреки че бяха направени кратки обучения за това как да се използва приложението, децата, подтикнати от своето нетърпение и от възможността за самостоятелна работа, както и от желанието си веднага да споделят какво се случва на екраните им, понякога създаваха пречки пред реда в класната стая. Друг важен извод е, че работата с устройства с по-голям екран значително опростява процеса на работа с AR приложения, тъй като

повечето операции изискват работа с две ръце, жестове с много докосвания и фини настройки.

Натрупаният опит показва, че AR е чудесен начин за персонализиране на процеса на обучението и насърчаване на приобщаващо, активно учене в класната стая по предмета изобразително изкуство. AR дава страхотни възможности за персонализиране, може да насърчи любопитството, да вдъхнови критичното мислене, да повиши креативността у учениците и тяхното ниво на ангажираност.

Работата с AR приложенията превърна учениците в истински разказвачи на истории.

3.4 Оценяване на ефекта от комбинирането на проектно-базирано обучение с AR/VR

Експерименталните резултати показаха, че интегрирането на такъв динамичен подход в класната стая като проектно-базираното обучение с подходящи приложения за AR/VR, може да отключи и стимулира креативността, да повиши както постиженията на учениците, така и тяхната мотивация за учене. Въпреки предизвикателствата, свързани с предварителната подготовка на работата по проекта, тази комбинация е много ефективен начин за подобряване на разбирането и запомнянето на учебния материал чрез по-висока степен на лична ангажираност от страна на ученика и благодарение на възможностите за повторение.

Проектно-базираният подход се оказва много подходящ, особено при работа върху сложни проблеми, изискващи знания от различни области. Внимателно планираната и подпомагана работа в екип, допълнена от използването на съвременни инструменти за визуализация, симулация и експериментиране е много добра комбинация, превръщаща ученето в приключение и преживяване.

Нашият експеримент, в допълнение към подобрените образователни резултати, показва как чрез комбинацията от PBL, AR и VR учениците могат да станат по-независими и уверени, тъй като могат да експериментират, да правят грешки и да се учат от тях в среда, в която са лесно поправими. Инструментите за AR и VR направиха обучението много по-смислено и визуално за учениците и те успяха да манипулират различни елементи от структурата на къща и да видят връзките между тях. В допълнение към това, задържането на вниманието се увеличи значително, особено за учениците с

по-ниски резултати, тъй като за тях беше по-лесно да бъдат активни участници в работата в клас.

Разбира се, както при всеки педагогически подход, PBL поставя различни предизвикателства пред учителите. Дори когато всички етапи на работа са внимателно планирани и всички ресурси са осигурени, учителите могат да се сблъскат с апатия на учениците, ниска производителност, лошо качество и незавършени проекти. Много от тях бяха успешно преодолені в този проект благодарение на доброто ниво на компютърна грамотност сред учениците и интерактивността и степента на ангажираност и автономност, които AR и VR технологиите предоставят.

Експериментът е валидиран с помощта на извадка от 72 участници. Изследването обаче може да се разшири в бъдеще, но е необходима много допълнителна работа и предварителна подготовка, за да може учебният процес да протича гладко и лесно. Повече учители трябва да бъдат обучени да прилагат PBL, AR и VR в класната стая, тъй като недостатъчната подготовка може да доведе до разочарование както при учителите, така и на учениците.

Резултатите от експеримента са обобщени в таблица 3.14. По време на работата по проекта бяха използвани два вида оценяване – текущо и крайно. При текущите оценки бяха използвани рубрики и формуляри за оценяване чрез скала. Крайното оценяване беше направено чрез оценка на крайните продукти на екипите и на техните презентации.

Учениците от експерименталните група показаха много добро ниво на знания, особено в процеса на разграничаване на различните видове енергия и тяхното въздействие върху околната среда, причините за това въздействие, в разбирането на структурите на различните видове къщи и на процесите, протичащи по време на топлообмен. Освен това те бяха много уверени по време на презентациите си. Причините за това бяха по-активната и разнообразна работа във всеки екип, както и многобройните и разнообразни възможности за детайлно запознаване с различни структури и симулации на процеси.

Таблица 3.14. Резултати от текущото оценяване (ТО) и крайното оценяване (КО).

	Средни точки за контролни групи					Средни точки за експериментални групи					Промяна в %
	ТО 1	ТО 2	ТО 3	ТО	Общо	КО 1	КО 2	КО 3	КО	Общо	
Група 1	16	12	14	17	59	14	15	18	21	68	15
Група 2	15	13	14	16	58	17	18	17	18	70	21
Група 3	10	12	13	14	49	15	18	17	18	68	39
Група 4	16	15	17	17	65	16	16	17	17	66	2
Група 5	9	10	12	11	42	14	12	15	16	57	36
Група 6	11	11	10	9	41	18	15	15	17	65	59
Средно	13	12	13	14	52	15	16	16	18	66	28

Ръст на точките се наблюдава при всичките 6 групи. Средният процент на увеличение е 28%.

3.5 Изводи

Целта на това изследване беше да се проучи въздействието на различни AR инструменти върху резултатите на учениците. Проучването показва значително подобрене в разбирането на учениците по изследваните въпроси.

В съответствие с други проучвания, AR/VR технологията не само може да улесни процесите на преподаване, но и да ги направи по-интересни и мотивиращи. Въз основа на анализа на данните за ефективността на обучението чрез използването на AR може да се потвърди, че интегрирането на тази технология в учебния процес има значително влияние върху резултатите на учениците.

По време на нашите изследвания се уверихме от многото ползи от използването на zSpace при преподаването на STEM дисциплини, особено на биологията. Сред тях са лекотата на използване, високото ниво на персонализиране и възможността за използване на много различни приложения. Беше показано, че zSpace® може да се използва за персонализирано обучение, подпомагащо разбирането на сложни концепции от различни теми. AR технология като zSpace® предлага потапящо изживяване, което в същото време позволява сътрудничество и това можеше да се види ясно по време на упражненията, при които учениците работеха в групи по трима. Резултатите от експериментите показаха значителни подобрения в разбирането на учебния материал, когато добавената реалност беше част от процеса на обучение.

Изследването показва, че AR, особено когато се използва в обучението по природни науки, позволява на учениците да изследват, практикуват и взаимодействат със съдържанието, без да се притесняват за финансови или етични проблеми като скъпи консумативи или наранявания на животни. Технологията предоставя много възможности за експерименти, и то в безопасна среда. Като цяло инструментите за виртуална, разширена и смесена разширена реалност осигуряват всички тези възможности. В същото време опитът показва, че хората трудно могат да станат по-образовани, ако разчитат само на технологиите. Ясно е, двете трябва да вървят ръка за ръка, и да се търси „златното сечение“ между тях.

Описани са резултатите, постигнати от учениците при работа с мобилното приложение GeoGebra 3D Calculator, заедно с възможностите за персонализирано обучение, които то предоставя, и предизвикателствата в учебния процес. Разгледана е и възможността за преподаване чрез системата за добавена реалност zSpace в режим "3D Grapher", с 3D модула на GeoGebra.

Извършени бяха изследвания, свързани с използването на инструменти за добавена реалност при обучението в областта на изкуствата – както такива, които позволяват обучаващите се да разглеждат произведения на изкуството на мобилните си устройства, така и такива, позволяващи обогатяването на произведения на изкуството чрез добавяне на виртуални измерения към тях. Резултатите показват че, използването на добавена реалност може да бъде много ефективен инструмент за персонализиране на учебния процес и насърчаване на приобщаващото и активно учене, а ангажираността на обучаващите е повишена с 27% спрямо измерената при използване на традиционни методи на обучение.

В резултат на това са направени следните заключения:

1. Предложена е методика за оценяване на приложението и въздействието на инструменти за добавена и виртуална реалност в образованието по предметите биология, математика и изобразително изкуство.
2. Предложен е метод за комбинираното използване на PBL с добавена и виртуална реалност.

Съдържанието на тази глава е отразено в публикациите:

1. **Plamen D. Petrov**, Tatiana Atanasova, An overview of virtual and augmented realities in STEM education, ESM 2019 ESM@'2019 - The 33rd annual European Simulation and Modelling Conference. EUROSIS-ETI, ISBN: 978-9492859-09-9, EAN: 9789492859099, pp.123-128, 2019 (**Scopus**)
2. **Petrov, P.D.**; Atanasova, T.V. The Effect of Augmented Reality on Students' Learning Performance in Stem Education. *Information* 2020, 11, 209. (**WoS, Scopus**) **SJR 0.222, Q2**
3. **Petrov, P.D.**; Atanasova, T.V. Developing Spatial Mathematical Skills Through Augmented Reality and Geogebra, ICERI2020 - The 13th Annual Int. Conf. of Education, Research and Innovation, Sevilla, Spain 09-11 Nov 2020, ISBN 978-84-09-24232-0, ISSN 2340-1095, pp. 5719-5723. (**WoS, Conference Proceedings Citation Index**)
4. **Petrov, P.**, Atanasova, T., Kostadinov, G.. Enhancing Art education in school through augmented reality. 7th SWS International Scientific Conference on Social Sciences - ISCSS 2020, SGEM World Science (SWS) Society, Austria, 2020, ISBN:978-619-7603-15-6, ISSN: 2682-9959, DOI:10.5593/sws.iscss.v2020.7.2/s13.12, 99-106
5. **Petrov, P.**, Atanasova, T. Enhancing STEM Education Through Project-Based Learning Combined with Virtual and Augmented Reality, ICERI2022 - The 15th Annual Int. Conf. of Education, Research and Innovation, Sevilla, Spain 07-09 Nov 2022 (under print) (**WoS, Conference Proceedings Citation Index**)

Глава 4. Реализация на образователни материали със средствата на AR/VR

Ползите и възможностите от използването на виртуална реалност (VR) в образованието са обект на изследване от няколко десетилетия. Описания на отделни VR приложения могат да бъдат намерени в литературата, но няма структуриран анализ на тези приложения. Въпреки че въвеждането на VR технологиите в образователния процес носи редица предизвикателства и бариери, проучванията (Papanastasiou et al., 2019) потвърждават положителни ефекти върху подобряването на ученето чрез множество сензорни характеристики.

Един от големите въпроси, който стои пред преподавателите от различните STEM дисциплини, е кое приложение или коя среда за симулация и експерименти да използват за конкретни образователни нужди, както и коя среда за разработка да използват, в случай, че решат сами да създадат образователен ресурс.

Изследванията в настоящата работа показват значимо повишаване на резултатите на учениците и на тяхната мотивация както при работа с различни AR/VR ресурси и среди за експериментиране, така и при комбинирането на тези технологии с различни методи на преподаване. Изследванията показват още, че в процеса на използване на такива ресурси и среди има и много предизвикателства, свързани основно с предварителната подготовка на уроците и доброто ниво на владение на технологиите.

И тъй като за преподавателите е от особено значение да знаят кой ресурс и коя среда за симулации или за разработка да използват, в тази част е направена класификация на AR/VR технологиите от гледна точка на необходимия хардуер и на различните сценарии за употреба.

В началото ще разгледаме различните видове реалности. Класификацията им е от голямо значение при избора на технология, който преподавателят ще направи, тъй като в някои случаи има големи разлики в употребата и възможностите, които те предоставят – както по отношение на възможностите за различни симулации, така и по отношение на нивата на реализъм, на потапяне в средата и на взаимодействието между виртуални и реални обекти.

Добре известно е, че начинът, по който обработваме информация и конструираме реалността за себе си, е уникален за всеки един от нас и зависи от гените ни, от моментното състояние на сетивата ни, от предишния ни опит и от много други фактори.

Така се оформя начинът, по който възприемаме света. Често пъти тази наша реалност, а именно – начинът, по който възприемаме света, може да бъде объркана с физическия свят. За да бъдат разбрани разглежданите технологии по-добре, тук ще разглеждаме реалността като конструкция, която всеки създава за себе си въз основа на това, което възприема от своите сетива, независимо откъде идва възприятието – от цифровия или от физическия свят. Всъщност технологиите за разширена реалност добавят още един слой към възприятията ни, което прави преживяванията още по-интензивни. За да работят добре всички тези технологии, те трябва да бъдат чувствани като истински. Разликите между тях са в това, дали разчитат на физически или цифрови елементи [Tremosa, 2022].

Развитието на AR/VR технологиите, заедно с намаляването на размера и повишаването на изчислителната мощ на различни устройства, позволи създаването на множество AR/VR мобилни приложения и ресурси, които могат да бъдат използвани в различните области на STEM образованието. Бяха създадени и пълноценни среди за симулации и експерименти, както и множество среди за разработка на AR/VR ресурси.

От ключово значение за бързото развитие на тези технологии и ресурси са характеристиките на AR и VR системите и възможностите, които те предоставят на потребителя, а именно:

VR: виртуален свят, потапящо преживяване, сензорна обратна връзка и интерактивност.

AR: възможност за комбиниране на цифрови и физически светове, взаимодействия в реално време и точна 3D идентификация на виртуални и реални обекти.

4.1 VR средства за реализация на обучение

Основните елементи на VR са (фиг. 4.1):

- Визуална система
- Система за проследяване
- Интерактивна система
- Реалистична потапяща среда
- Система за сензорно управление



Фигура 4.1 Основни елементи на VR

4.1.1 Хардуер, необходим за използване на VR

За използването на виртуална реалност са нужни специални очила/шлемове за виртуална реалност – VR headset/gear. VR шлемовете са устройства, които напълно покриват очите на потребителя. Те осигуряват потапящо и завладяващо изживяване, използвайки висококачествена 3D графика за представяне на визуално съдържание.

Шлемовете имат екран, на който може да се прожектират образи, генерирани от компютър. Има и варианти, при които за генериране на образи се използва екран на смартфон, поставен в шлема. Тези образи се възприемат от човешкото зрение през стереоскопични лещи, които предоставят леко различна картина за всяко око, като по този начин се получава усещането за триизмерност.

За по-реалистично и завладяващо преживяване шлемовете могат да се използват допълнителни контролери (входно-изходни устройства) и сензори – както вътрешни, така и външни. Те позволяват на потребителя да взаимодейства възможно най-пълноценно с виртуалната среда, синхронизират реакциите му с нея и подобряват цялостното му изживяване. Примери за такива сензори са акселерометър, жирокоп, магнитометър и сензор за близост.

Примери за входно-изходни устройства, използвани с VR, са:

- Кибер ръкавици
- Джойстик

- Тракпад (тъчпад)
- Видео камера
- Вентилатор

Популярни примери за VR комплекти са:

- Meta (Oculus) Quest 2
- HP Reverb G2
- Valve Index
- Sony PlayStation VR.

Има и шлемове (фиг. 4.2), които за да бъдат използвани, имат нужда от връзка с високопроизводителен компютър. Това може да бъде персонален компютър, мобилен компютър или игрална конзола.



Фигура 4.2 Шлемове за VR [Source: Popsci.com]

В сферата на образованието най-популярни са шлемовете, използвани с мобилен телефон, както и тези, известни като „всичко в едно“ – автономни шлемове, съдържащи всичко необходимо за провеждането на конкретен урок, и позволяващи централизирано управление от страна на учителя.

4.2 AR средства за реализация на обучение

Когато говорим за добавена реалност (AR), трябва да имаме предвид двата основни вида AR технологии – базирана на маркери и без маркери. Изборът на технология определя възможностите и ограниченията при работа с конкретния вид AR.

Базирана на маркери AR (Marker Based AR)

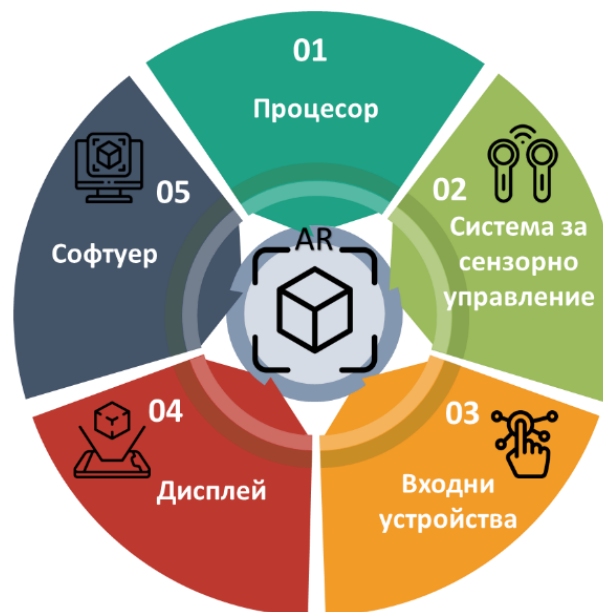
За създаването на такъв тип AR се използва разпознаване на изображения (маркери). Коректното разпознаване води до появата на дигитален обект, който вече е програмиран в използваното AR устройство или приложение. Най-често това се случва като се използват камерата на смартфон и приложение, инсталирано на него. Чрез камерата се търси маркер и при откриването му той се сравнява с въведените в неговата база данни. При намиране на съвпадение, устройството използва специален алгоритъм и определя как да разположи в пространството AR изображението. Този тип AR позволява дигитализацията на различни каталози, книги, списания и други, и позволява добавяне на дигитална информация към описаните там обекти.

AR без маркер (Markerless AR)

При този тип AR дигиталният 3D модел може да се постави директно в пространството, без да е нужно предварително зададено изображение, което да го активира. Потребителят може да се движи около модела и да го заобикаля от всичките му страни и да се ориентира в реалният му мащаб.

Основните елементи на AR са (фиг. 4.3):

- Процесор
- Система за сензорно управление
- Входни устройства
- Дисплей
- Софтуер



Фигура 4.3 Основни елементи на AR

4.2.1 Хардуер, необходим за използване на AR

Използването на добавена реалност е възможно чрез различни крайни устройства.

Първата група AR устройства включва смартфони и планшети, способни да работят с добавена реалност. Те използват камера и други сензори, за да показват във физическото пространство цифрови обекти и информация, чувствителни към контекста. Цифровите и физическите елементи се сливат на дисплея на смартфона или планшета. Използването на добавена реалност чрез смартфони получи широко разпространение след появата на няколко мобилни AR интерфейса като ARKit, ARCore, Spark AR, Snap AR и други.

В областта на STEM обучението този начин на употреба на AR е най-разпространеният поради ниската си цена и наличието на голям брой готови ресурси.

Втората група AR устройства са шлемовете с добавена реалност. Те позволяват на потребителите да виждат какво има пред тях, но в допълнение наслагват и цифрова информация. Те позволяват и пространствено проследяване и 3D картографиране на околната среда. Примерни устройства от тази група са Microsoft HoloLens и Magic Leap.

Третата група AR устройства включва системи, състоящи се от няколко елемента – компютърна система, екран, камера, очила и различни видове сензори. Всичко това е комбинирано със специално разработен софтуер, позволяващ изучаването и интерактивното взаимодействие със сложни 3D структури, както и провеждането на различни симулации и експерименти. Една такава система, на която се базира част от изследванията в тази работа, е zSpace® [zspace.com].

Минималният хардуер, необходим за стартиране на AR приложение, се състои от камера, която рамкира външния свят, екран или обектив, който се използва за прожектиране на поточно видео и изчислителни ресурси (компютър, смартфон или микроконтролери като цяло), необходими за управлението на видео частта и откриването на обектите, присъстващи в действителната сцена.

4.3 Софтуерни инструменти и платформи за AR/VR

Многобройните приложения на AR изискват специфичен софтуер и хардуер. Софтуерът използва координатите от реалната среда от камерите или други устройства, като целта е да се предаде информация за позиция на обекта в XML файл с използване на ARML (Augmented Reality Markup Language). Функционалните блокове на ARML

позволяват сливането между реални и виртуални светове, като уточняват връзката между тях. Това позволява включването на виртуални обекти.

Таблица 4.1. Инструменти и платформи за виртуална реалност

VR съдържание	Web базирани средства	Софтуерни инструменти за моделиране	Платформа за разработка
<i>360° видео</i>	InstaVR.co CenarioVR Cupix Viar360	Pano2VR Present4d	Unity
<i>3D симулация</i>	Amazon Sumerian CenarioVR Cupix BrioVR	SketchUp Studio 3ds Max Maya Powertrak Vroom Unigine	Unity CryEngine

С нарастващото разпространение и успеха на AR приложенията в различни области, има и нарастваща необходимост от разработване на нови подходи и технологии за осигуряване на качеството на тези приложения [Tramontana, 2022].

Разработени са различни и многобройни VR продукти. При избора им е необходимо да се вземат предвид множество критерии: цена, оборудване, функционалност и наличие на приложения за тях. Сред критичните фактори за решението за избор на продукт са лекотата на използване на VR (38%), следвана от маркетинга на съответния продукт (26%), видовете съдържание (25%) и VR системното ниво (11%). Относно типа съдържание, проучването установи, че образователното съдържание (24,0%) и интерактивните игри (23,9%) са сред най-популярните, следвани от електронната търговия (20,8%), пътеводителите (19,7%) и филмите за възрастни (11,7%).

4.3.1 Среди за разработка на приложения за VR и AR

В последните години се появило множество среди за разработка на приложения за VR и AR. Сред тях има предназначени както за начинаещи, така и за напреднали и за професионалисти, а някои от тях са и веб базирани.

*Някои от най-популярните среди за разработка на **VR** са:*

1. Unity 3D
2. Unreal Engine 4
3. Blender
4. CryEngine
5. Amazon Lumberyard
6. CryEngine
7. AppGameKit
8. Oculus Medium 2.0
9. A-Frame
10. React 360

*Сред най-използваните среди за разработка на **AR** са:*

1. Apple ARKit
2. Google ARCore
3. Wikitude
4. EasyAR
5. Vuforia
6. MixedReality Toolkit
7. AR.js
8. Adobe Aero
9. Augmented Pro
10. DeepAR

Създаването на добре проектирани интерактивни преживявания, базирани на стандарти и подходящи за използване в учебна среда е предизвикателство за учители без опит и без умения за програмиране. Идентифицирането на софтуер, подходящ за

употреба от такива учители, е важна задача. Изследване [Dengel, 2022] идентифицира списък с приложения, с графичен потребителски интерфейс, лесни за употреба и позволяващи създаването на интерактивно съдържание. Авторите правят преглед на 835 документа, като от 80 статии, идентифицирани като подходящи, в изследването са включени 43 рецензирани статии от ACM Digital Library, DBLP, IEEEExplore, Scopus, Web of Science, Google Scholar и различни други източници. Те идентифицират 69 различни среди за създаване на AR и ги класифицират по отношение на тяхната достъпност, степента им на изисквани познания по програмиране и тяхната интерактивност.

Заклучението е, че има само няколко инструмента за създаване на образователни AR приложения, насочени към нуждите на учителите. Те са:

1. Vuforia Studio
2. Blippar
3. AWE
4. AR Media Studio
5. Areeka

4.4 Насоки от таксономията на Блум за създаване на интерактивни AR/VR образователни приложения

При наличието на много и различни варианти за употребата на виртуална и добавена реалност, за повечето учители е трудно да изберат най-добрата технология и да намерят най-доброто ѝ приложение за конкретния случай.

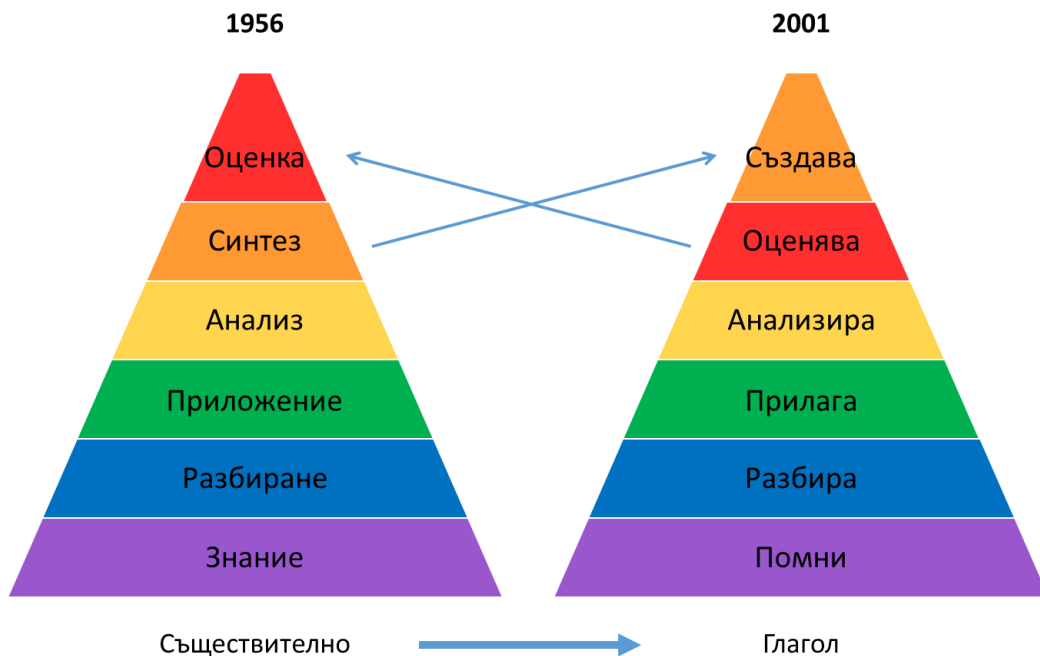
От друга страна, преподавателите са добре запознати с таксономията на Блум – йерархичен модел на мисловните умения. Тя играе съществена роля в теорията на обучението, защото позволява:

- Правилно да се определят и степенуват целите и задачите на обучението;
- Разностранно да се планират дейностите в процеса на обучението;
- Да се обособяват познавателните структури в обучението;
- Да се формулират проблеми и да се поставят задачи пред обучаемите;
- Да се подбират оценъчни инструменти, адекватни на поставяните цели;
- По резултатите от обучението и изпитаните от обучаемите трудности да се коригира процеса на обучение.



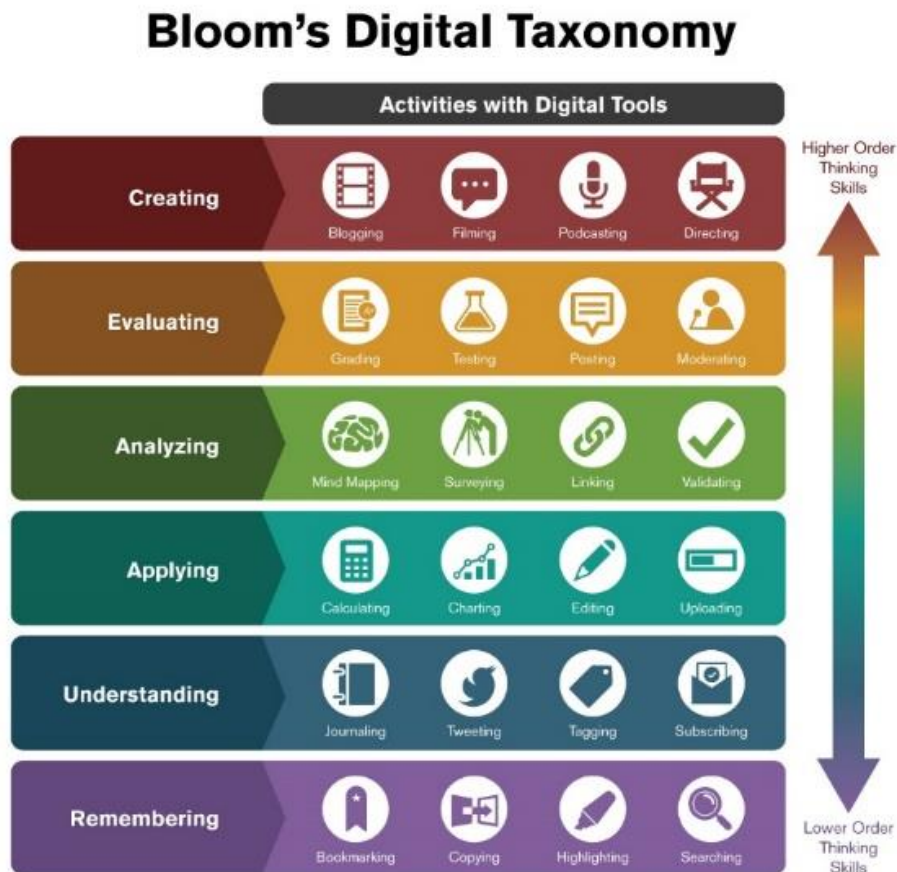
Фигура 4.4 Обновена версия на Таксономия на Блум

Обновена версия на Таксономия на Блум [valamis.com, 2022] отразява навлизането на новите технологии и позволява да се изяснят учебните цели при прилагане на AR/VR (фиг. 4.4 и фиг. 4.5)



Фигура 4.5 Развитие на Таксономията на Блум

Таксономията на Блум е приложена и към дигиталния свят от Андрю Чърч през 2007 г. Чърч като посочва глаголи и примери за дигитално фокусирани дейности, които могат да бъдат структурирани според различните нива на мислене.



Фигура 4.6 Таксономията на Блум, приложена към дигиталния свят [Harapnuik, (2021)]

С нарастващото разпространение и успех на AR/VR приложенията в различни области, се появи и нарастваща необходимост от разработване на нови подходи и технологии за осигуряване на качеството на тези приложения [Tramontana, 2022].

Таксономията на Блум предоставя насоки и за създаване на интерактивни AR/VR образователни приложения. От друга страна, ако към тези приложения се добавят и описания, показващи кой ресурс, кой инструмент и коя дейност на кое ниво в йерархията на Блум биха могли да се използват според образователните стандарти, то това значително би подпомогнало преподавателите да вземат информиран избор и да осигурят ефективно и персонализирано обучение.

Един отличен пример за симбиозата между AR система, внимателно проектиран и реализиран софтуерен пакет, образователни стандарти, разработка на конкретни уроци и упражнения към тях и описание на това, с кое приложение кои стандартни се покриват, е zSpace®. В Таблица 4.2 са показани специфични zSpace приложения и дейности, свързани с покриването на образователните стандарти на ниво клас [zSpace & Standards-Based Instruction, 2020].

Таблица 4.2

Стандарт	Описание на стандарта	Дейност (код за стартиране)	Приложение
3.2.6 B2	прави разлика между потенциална и кинетична енергия	верижна реакция (A398)	Newton's park
		енергия, инерция и импулс (A441)	Newton's park
3.2.6 B3	обяснете ефекта на топлината върху движението на частиците, като опишете какво се случва с частиците по време на промяна на фазата	ефектите на енергията върху състоянията на материята (A091)	zSpace Studio
3.2 A4	описват как водата на земята се върти в различни форми и на различни места, включително под земята и в атмосферата	изследване на соленоводни и сладководни биоми (A316)	zSpace Studio

4.5 SWOT анализ на приложението на AR/VR технологии в образованието

Резултатите показват, че използването на XR технологията в началното и средното образование е многостранно, може да повлияе положително на резултатите от обучението на учениците, допринася за повишаване на мотивацията, ангажираността и интереса [Galati 2019; Simon-Liedtke, 2022; Yin, 2022]. Симулацията на реалност

осигурява по-силно въздействие върху обучаемите спрямо традиционните материали; по-добро практическо надграждане на теоретичните знания и икономия на материали и безопасност. Трябва да се отчита както рискът за социална изолация, така и традиционните препятствия пред всяка иновация като цена на придобиване, степен на използваемост и страх от новото [Цонева, 2019].

Следният анализ позволява да се оценят силните и слабите страни на приложенията на AR/VR технологиите в образованието (Таблица 4.3).

Таблица 4.3

Силни страни	<ul style="list-style-type: none"> • доказани ползи при обучението; • повишено ниво на ангажираност на учениците; • възможности както за индивидуална работа, така и в екип; • усещане за потапяне – от голямо значение за взаимодействието с изследваните обекти; • приложение в различни предметни области; • гъвкавост и адаптивност.
Възможности	<ul style="list-style-type: none"> • съществуват и се разработват нови, готови за употреба устройства; • учителите могат сами да разработват приложения с помощта на съществуващите среди.
Барииери	<ul style="list-style-type: none"> • висока цена на комплектите с висока производителност и качествен софтуер – пречка при закупуване на голям брой; • необходимост от допълнително обучение както на преподавателите, така и на учениците; • несъвместимост на различните системи по отношение на хардуер и софтуер; • липса на достатъчно разработки за ученици с увреждания; • липса на унифицирани стандарти за разработка на учебни програми, които са съвместими между различни образователни институции по отношение на съдържание, изпълнение, обучение и постигане на резултат; • техническа поддръжка; • потенциални психологически проблеми;

	<ul style="list-style-type: none"> • физически дискомфорт (световъртеж).
Слаби страни	<ul style="list-style-type: none"> • много от приложенията са проектирани да бъдат използвани по-скоро като допълнение към съществуващия учебен процес, отколкото като самостоятелни среди за обучение; • поставя много нови изисквания и неизвестни към учителите – избор на платформа, специфично учебно съдържание и ефективно изпълнение на педагогическите цели; • оптиката, използвана в масовия VR хардуер, има много ограничения • разработването на собствено AR/VR приложение с помощта на налични инструменти или среди за разработка отнема много време и ресурси; • прекомерно разчитане на игровизацията и етични съображения; • предизвикателство с управлението на класната стая при внедряване на VR; • време за обучение – силно зависимо от предишния опит, характеристиките на културната среда, съществуващите използвани методики.

Все още за сценариите за уроци с AR/VR няма достатъчно натрупан практически опит и те не осигуряват това взаимодействие, което упражненията в реалния живот предоставят. Образователната виртуална среда изисква предварително обучение за работа с такива среди, за да могат потребителите ефективно да използват новите системи [Yin, 2022].

4.6 Изводи

В тази глава е направен преглед на AR/VR хардуерни и софтуерни средства и системи за реализация на обучителни материали. В изследователската рамка на AR/VR са разработени различни направления на изследователските цели – от развитието на таксономията на обучението през създаването на учебно съдържание за различни области и тяхното въздействие върху образователните цели. Показано е, че съществува

голямо многообразие от фрагментирани AR/VR средства и ресурси, но е налице нарастваща необходимост от разработване на нови подходи и технологии за осигуряване на качеството на тези приложения, както и на тяхното стандартизиране. Проучени са силните и слабите страни на приложенията на AR/VR технологиите в образованието в представен SWOT анализ.

В тази глава е обобщен практическият опит на автора на този дисертационен труд от проведените множество експерименти в реална среда с различни AR/VR приложения, който оформя заключения, че тези приложения се нуждаят от описания, показващи кой ресурс, кой инструмент и коя дейност на кое ниво в йерархията на Блум биха могли да се използват според образователните стандарти. Това значително би подпомогнало преподавателите да вземат информиран избор и да осигурят ефективно и персонализирано обучение.

Заклучение - Резюме на получените резултати

Нивото на съвременната изчислителна техника, необходима за използването на AR/VR, заедно с повсеместното разпространение на мобилните устройства и мощните настолни компютърни системи, осигуряват нови функционалности, които могат да се използват в преподаването. В дисертационния труд подробно са изследвани модели и методи за приложение на добавена и виртуална реалност в обучението. Проведени са множество експерименти в реална среда с различни AR/VR средства, среди и методи на преподаването за постигане на редица учебни цели.

Направен е качествен и количествен анализ на ефекта от използване на предложените модели с използване на добавена и виртуална реалност. За постигане на различни учебни цели в различни дисциплини на преподаване, както и за различни възрастови групи ученици, бяха разработени съответните модели. Проведените експерименти в реална учебна среда показаха, че симулациите са обещаващ начин за подобряване на учебните резултати на учениците, особено по STEM предмети. Оценяването на нивото на постигане на учебните цели чрез използването на виртуална и добавена реалност, комбинирано с различни подходи в преподаването, е извършено със статистически методи.

В тази дисертация се предлага приложението на AR/VR технологии в обучението да бъде оценено в три направления:

- използване на AR/VR като допълнителни технологични средства
- комбиниране на AR/VR технологии с различни методи и сценарии на преподаване
- комбиниране на AR/VR технологии с физическо обкръжение/среда.

С оглед на работата, извършена в дисертацията, и изводите, получени в хода на изследванията и изложени по-горе, могат да бъдат формулирани следните **научно-приложни резултати**:

1. Разработен е модел за използване на добавена реалност в STEM обучение. Моделът позволява лесно адаптиране към спецификата на различните STEM дисциплини, като насърчава творчеството и екипната работа.
2. Разработен е модел за използване на добавена реалност в обучението по математика. Моделът позволява използването на различни технологии за добавена реалност, което го прави подходящ за приложение както в класната

стая, така и извън нея. Дава възможност за използване на различни образователни подходи.

3. Предложен е модел за използване на добавената реалност в обучение по изкуства. Моделът позволява използването както на добавена, така и на виртуална реалност. Това го прави гъвкав и приложим за много широк кръг от дейности в обучението по изобразително изкуство. Дава възможност за използване на различни образователни подходи, насърчава творчеството, откривателството и работата в екип.
4. Разработен е модел за комбиниране на проектно-базирано обучение с добавена и виртуална реалност. Моделът е практически ориентиран и позволява използването на мултидисциплинарен подход в работата с учениците. Работата върху реален проблем с помощта на двата вида реалности създава истинско усещане за преживяване и успешно адресира важен, но труден за решаване проблем като този с мотивацията на учениците.
5. Предложени са методи за оценка на внедряване на технологичните средства за добавена и виртуална реалност за определени цели на обучението.

Насоки за бъдещи изследвания

Основните насоки за бъдещи изследвания върху тематиката на дисертацията включват:

- Изследване на възможностите на AR/VR за подобряване на дистанционното обучение
- Интегриране на AR/VR в обучението по предмета „Технологии предприемачество“
- Интегриране на AR/VR в обучението по ветеринарна медицина
- Изследване на възможностите на VR за подобряване на уменията на учениците за общуване, вземане на решения и работа в екип
- Създаване на методи и модели за използване на холографска AR в образованието

Публикации по темата на дисертационния труд

1. **Petrov, P.D.**; Atanasova, T.V. The Effect of Augmented Reality on Students' Learning Performance in Stem Education. *Information* 2020, 11, 209. **Scopus SJR 0.222, Q2**
<https://doi.org/10.3390/info11040209>
2. **Petrov, P.D.**, Atanasova, T.V. Developing Spatial Mathematical Skills Through Augmented Reality and Geogebra, ICERI2020 - The 13th Annual Int. Conf. of Education, Research and Innovation, Sevilla, Spain 09-11 Nov 2020, ISBN 978-84-09-24232-0, ISSN 2340-1095, pp. 5719-5723 (**WoS Conference Proceedings Citation Index**)
3. **Petrov, P.**, Atanasova, T., Kostadinov, G.. Enhancing Art education in school through augmented reality. 7th SWS International Scientific Conference on Social Sciences - ISCSS 2020, SGEM World Science (SWS) Society, Austria, 2020, ISBN:978-619-7603-15-6, ISSN: 2682-9959, DOI:10.5593/sws.iscss.v2020.7.2/s13.12, 99-106 (**e-library, Biblioteka WSB we Wrocławiu**)
4. **P. Petrov**, T. Atanasova, An Overview of Virtual and Augmented Realities in STEM Education, ESM 2019 **ESM@'2019** - The 33rd annual European Simulation and Modelling Conference. EUROSIS-ETI, ISBN: 978-9492859-09-9, EAN: 9789492859099, pp.123-128, 2019 (**Scopus**)
5. **P. Petrov**, T. Atanasova, G. Kostadinov. Types, Technologies and Trends in E-Learning, *Information technologies and control (ITC)*, vol. 3, 2019. Online ISSN: 2367-5357 DOI: 10.7546/itc-2019-001 (**ACM Digital Library**)
6. **Plamen Petrov**, Tatiana Atanasova, Digital Twins with Application of AR and VR in Livestock Instructions, *Problems of Engineering Cybernetics and Robotics*, Bulgarian Academy of Sciences 2021, Vol. 77, pp. 39-50 p-ISSN: 2738-7356; e-ISSN: 2738-7364
<https://doi.org/10.7546/PECR.77.21.05>
7. **Petrov, P.D.**, Atanasova, T.V. Enhancing STEM Education Through Project-Based Learning Combined with Virtual and Augmented Reality, ICERI2022 - The 15th Annual Int. Conf. of Education, Research and Innovation, Sevilla, Spain 07-09 Nov 2022 (under print), ISSN 2340-1095 (**WoS Conference Proceedings Citation Index**)

Забелязани цитирания

Petrov, P., Atanasova, T.: The Effect of Augmented Reality on Students' Learning Performance in Stem Education. Information (Switzerland), 11, 4, MDPI, 2020, ISSN:2078-2489, DOI:<https://doi.org/10.3390/info11040209>, 209-220. **(WoS, Scopus) SJR 0.222, Q2**

Цитира се в:

1. Saleem Basha, D., Abbas, M., Khalfan Al Masruri, D., Saadi, S. A., Al Azri, R., Adnan, M., & Yusufi, M. G. IMPACT OF AUGMENTED REALITY ASSISTED LANGUAGE LEARNING ON STUDENTS ACADEMIC ACHIEVEMENTS AT TERTIARY LEVEL IN SULTANATE OF OMAN. JOURNAL OF CRITICAL REVIEWS, ISSN- 2394-5125 , 2020, VOL 7, ISSUE 17: 2821-2828, doi:10.31838/jcr.07.17.354, @2020 [Линк](#)
2. A. Kašela, Š. Korečko and B. Sobota, "Extended Reality in Youth Education: a Literature Review, " 2021 19th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA), 2021, pp. 169-174, doi: 10.1109/ICETA54173.2021.9726589., @2021 [Линк](#)
3. A.V. Kolsanov, O.A. Gelashvili, S.S. Chaplygin, A.K. Nazaryan. "Effectiveness of virtual reality simulator in training emergency medical care skills" January 2021, Operativnaya khirurgiya i klinicheskaya anatomiya (Pirogovskii nauchnyi zhurnal) 5(3):23 Колсанов А.В., Гелашвили О.А., Чаплыгин С.С., Назарян А.К. Эффективность тренажера виртуальной реальности при отработке навыков оказания экстренной медицинской помощи. Оперативная хирургия и клиническая анатомия. 2021;5(3):23-29., @2021 [Линк](#)
4. Afnan Aljumaiah, Yasser Kotb, "The Impact of Using zSpace System as a Virtual Learning Environment in Saudi Arabia: A Case Study", Education Research International, vol. 2021, Article ID 2264908, 12 pages, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/2264908>, @2021 [Линк](#)
5. Ardi Nugroho, "Efektifitas Laboratorium Virtual Dalam Pembelajaran Praktikum Analisis Farmasi Pada Mahasiswa Farmasi Saat Pandemic Covid-19", Refleksi Pembelajaran Inovatif Vol 3, No 1 (2021): Volume 3 Nomor 1 Tahun 2021, @2021 [Линк](#)
6. Blagoev, I., Vassileva, G., & Monov, V. (2021). A model for e-learning based on the knowledge of learners. Cybernetics and Information Technologies, 21(2), 121-135. doi:10.2478/cait-2021-0023, @2021 [Линк](#)
7. Çetin, H., Türkan, A. The Effect of Augmented Reality based applications on achievement and attitude towards science course in distance education process. Educ Inf Technol (2021)., @2021 [Линк](#)
8. Chong U., Alimardanov S. (2021) Audio Augmented Reality Using Unity for Marine Tourism. In: Singh M., Kang DK., Lee JH., Tiwary U.S., Singh D., Chung WY. (eds) Intelligent Human Computer Interaction. IHCI 2020. Lecture Notes in Computer Science, vol 12616. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68452-5_31, @2021 [Линк](#)
9. El Kouzi M., McArthur V. (2021) FLCARA: Frog Life Cycle Augmented Reality Game-Based Learning Application. In: Zaphiris P., Ioannou A. (eds) Learning and Collaboration Technologies: Games and Virtual Environments for Learning. HCII 2021. Lecture Notes in Computer Science, vol 12785. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77943-6_2, @2021 [Линк](#)
10. Hasnain Hyder, Gulsher Baloch, Khawaja Saad, Nehal Shaikh, Abdul Baseer Buriro and Junaid Bhatti, "Particle Physics Simulator for Scientific Education using Augmented Reality" International Journal of Advanced Computer Science and Applications(IJACSA), 12(2), 2021. <http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2021.0120284>, @2021 [Линк](#)

11. O. Kurniawan, N. T. S. Lee and N. Sockalingam, "Is Augmented Reality Robot as Effective as Physical Robot in Motivating Students to Learn Programming?", " 2021 IEEE International Conference on Engineering, Technology & Education (TALE), 2021, pp. 1-8, doi: 10.1109/TALE52509.2021.9678820., @2021 [Линк](#)
12. Qi Cao, Bee Teck Png, Yiyu Cai, Yigang Cen, Di Xu. "Interactive Virtual Reality Game for Online Learning of Science Subject in Primary Schools". Proc. IEEE International Conference on Teaching, Assessment, And Learning for Engineering (TALE 2021), Wuhan, China, December 2021, @2021
13. Ratna Farwati, Kartika Metafisika, Indah Sari, Debora Suryani Sitingjak, Dian Farkhatus Solikha, Solfarina Solfarina. "STEM Education Implementation in Indonesia: A Scoping Review". International Journal of STEM Education for Sustainability , Volume 1, pp 11-32; <https://doi.org/10.53889/ijses.v1i1.2>, @2021 [Линк](#)
14. Sarminah Samad, Mehrbakhsh Nilashi, Rabab Ali Abumalloh, Fahad Ghabban, Eko Supriyanto, Othman Ibrahim. "Associated Advantages and Challenges of Augmented Reality in Educational Settings: A Systematic Review", Journal of Soft Computing and Decision Support Systems, Vol 8, No 1, 12-17 (2021), @2021 [Линк](#)
15. Sembayev, T; Nurbekova, Z and Abildinova, G. "The Applicability of Augmented Reality Technologies for Evaluating Learning Activities" 2021 | INTERNATIONAL JOURNAL OF EMERGING TECHNOLOGIES IN LEARNING 16 (22) , pp.189-207, @2021 [Линк](#)
16. Seng Yue Wong, Zuraidah Abdullah, Muhamad Saiful Haq Hussin, Nahrizul Adib Kadri, Unaizah Obaidallah, Nashrul Mohd Zubir, Influence of Augmented Reality (AR) Technology via Mobile Application for Knowledge Transfer Program in Fourth Industrial Revolution Era, ASEAN J. of Community Engagement , Vol. 5 (2021) , No. 1, @2021 [Линк](#)
17. Sukhdeve, Pooja Siddharth. "Implementing Augmented Reality Into Immersive Virtual Learning Environments: Implementation of Augmented Reality Technologies in Immersive Education Programs." Implementing Augmented Reality Into Immersive Virtual Learning Environments, edited by Donna Russell, IGI Global, 2021, pp. 102-118. <http://doi:10.4018/978-1-7998-4222-4.ch006>, @2021 [Линк](#)
18. TAVARES, Joyce; CORTIZ, Diogo. A study of Augmented Reality as a teaching and learning technology in the field of Design. In: WORKSHOP DE TESES E DISSERTAÇÕES - SIMPÓSIO DE REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA (SVR), 23. , 2021, Evento Online. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2021 . p. 13-14., @2021 [Линк](#)
19. Tegoan N, Wibowo S, Grandhi S. Application of the Extended Reality Technology for Teaching New Languages: A Systematic Review. Applied Sciences. 2021; 11(23):11360., @2021 [Линк](#)
20. Tiede, J., Mangina, E. & Grafe, S. (2021). Evaluation Design Methodology for Piloting Two Educational Augmented Reality STEM Apps in European Elementary Schools. In T. Bastiaens (Ed.), Proceedings of EdMedia + Innovate Learning (pp. 185-190). United States: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE)., @2021
21. Tripathy, Maruti Kumar and Bhujendra Nath Panda. "Adaptability and Awareness of Augmented Reality in Teacher Education", Educational Quest: An Int. J. of Education and Applied Social Sciences: Vol. 12, No. 2, pp. 107-114, August 2021 DOI: 10.30954/2230-7311.2.2021.7, @2021
22. Widyanti, R. et al. "Physics teachers' perceptions and anxieties about the use of technology-integrated learning resources on magnetic field material: A preliminary research on augmented reality-integrated STEM learning." Journal of Physics: Conference Series 1796 (2021), @2021 [Линк](#)
23. Xueying Wu, You Yang, Review and Prospects of Research on VR Digital Technologies Education Abroad, Innovation and Practice of Teaching Methods, SYNERGY PUBLISHING

- PTE, ISSN:2630-483X, Vol. 4, No 9 (2021) pp.23-31, <https://doi.org/10.26549/jxffcxsy.v4i9.7249>, @2021 [Линк](#)
24. Yegorina, D., Armstrong, I., Kravtsov, A., Merges, K., & Danhoff, C. (2021). Multi-user geometry and geography augmented reality applications for collaborative and gamified STEM learning in primary school. *Review of Education*, 9, e3319. <https://doi.org/10.1002/rev3.3319>, @2021 [Линк](#)
 25. Elbeshti M., Elawed M., Bribesh F., Abushafa M. (2022) Science Education in Libya. In: Huang R. et al. (eds) *Science Education in Countries Along the Belt & Road. Lecture Notes in Educational Technology*. Springer, Singapore., @2022 [Линк](#)
 26. GABARDA MÉNDEZ, V.; COLOMO MAGAÑA, E.; RUIZ PALMERO, J.; CÍVICO ARIZA, A. *Aprendizagem de matemática aprimorada por tecnologia na Europa: uma revisão de literatura. Texto Livre, Belo Horizonte-MG, v. 15, p. e40275, 2022. DOI: 10.35699/1983-3652.2022.40275*, @2022 [Линк](#)
 27. Gattullo, M.; Laviola, E.; Boccaccio, A.; Evangelista, A.; Fiorentino, M.; Manghisi, V.M.; Uva, A.E. Design of a Mixed Reality Application for STEM Distance Education Laboratories. *Computers* 2022, 11, 50., @2022 [Линк](#)
 28. Gerardo Reyes-Ruiz. "Flipped Learning: Augmented reality as an innovative and efficient technology for language learning in a Flipped Learning pedagogical model". *Pixel-Bit. Media and Education Magazine*, N° 65 -September (2022) DOI: 10.12795/pixelbit.93478, @2022 [Линк](#)
 29. Hamid Rastegari. "Metaverse Effect on virtual education in Post-Corona". *Proceedings 2th National conference on health knowledge production, confronting COVID 19 and governing thepost-corona world. Islamic Azad University, Najafabad Branch Department of Software Engineering*, @2022 [Линк](#)
 30. Ivanova M. (2022) Science Education in Bulgaria. In: Huang R. et al. (eds) *Science Education in Countries Along the Belt & Road. Lecture Notes in Educational Technology*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-6955-2_21, @2022 [Линк](#)
 31. Laviola E. et al. *Mixed Reality in STEM Didactics: Case Study of Assembly Drawings of Complex Machines*. In: Rizzi C., Campana F., Bici M., Gherardini F., Ingrassia T., Cicconi P. (eds) *Design Tools and Methods in Industrial Engineering II. ADM 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91234-5_16, @2022 [Линк](#)
 32. Liao, X.; Luo, H.; Xiao, Y.; Ma, L.; Li, J.; Zhu, M. Learning Patterns in STEAM Education: A Comparison of Three Learner Profiles. *Educ. Sci.* 2022, 12, 614. <https://doi.org/10.3390/educsci12090614>, @2022 [Линк](#)
 33. Lim, K. (2022), *Expanding Multimodal Artistic Expression and Appreciation Methods through Integrating Augmented Reality*. *Int J Art Des Educ*. <https://doi.org/10.1111/jade.12434>, @2022 [Линк](#)
 34. Malek Jdaitawi, Ashraf Kan'an, Belal Rabab'h, Ayat Alsharua, Mohamed Johari, Wafa Alashkar, Ahmed Elkilany, and Ahmed Abas. "The Importance of Augmented Reality Technology in Science Education: A Scoping Review" *IJIET* 2022 Vol.12(9): 956-963 ISSN: 2010-3689 doi: 10.18178/ijiet.2022.12.9.1706, @2022 [Линк](#)
 35. Malek Jdaitawi, Belal Sadiq, Ayat Al Sharua, Ahmed Elkilany, Marwa Kholif and Yasser Rady, Does Flipped Learning Success in Enhancing Education Outcomes, *International Journal of Early Childhood Special Education*, March 2022, 14(1):1201-1206, DOI: 10.9756/INT-JECSE/1411.221137, @2022 [Линк](#)
 36. Nabila, Nur Izza; Junaini, Syahrul Nizam. "PrismAR: A mobile Augmented Reality Mathematics Card Game for Learning Prism", January 2022, *IJCDS Journal* 11(1):217-225, @2022 [Линк](#)

37. Nurhayati, Rusdi, and Hanum Isfaeni, "The Application of Mobile Augmented Reality to Improve Learning Outcomes in Senior High Schools," *International Journal of Information and Education Technology* vol. 12, no. 7, pp. 691-695, 2022. doi: 10.18178/ijiet.2022.12.7.1672, @2022 [Линк](#)
38. Pasalidou, C., Fachantidis, N. (2022). Designing a Shared Workspace for Learning Using Augmented Reality and Social Robots. In: Stephanidis, C., Antona, M., Ntoa, S. (eds) *HCI International 2022 Posters. HCII 2022. Communications in Computer and Information Science*, vol 1582. Springer, Cham., @2022 [Линк](#)
39. Vicente Gabarda Méndez · Ernesto Colomo Magaña · Julio Ruiz-Palmero · Francisco David Guillen-Gamez, Technology-mediated mathematics learning in compulsory education: a bibliometric analysis, *PUBLICACIONES*, 52(1):35-55 DOI: 10.30827/publicaciones.v52i1.22298, @2022 [Линк](#)
40. Nastaran Mohammadhossein, Alexander Richter, Stephan Lukosch, Benefits of Using Augmented Reality in Learning Settings: A Systematic Literature Review, *Forty-Third International Conference on Information Systems*, Copenhagen, December @2022 [Линк](#)

Petrov, P., Atanasova, T.: *Developing Spatial Mathematical Skills Through Augmented Reality and Geogebra. ICERI2020 - The 13th Annual International Conference of Education, Research and Innovation, IATED Digital Library, 2020, ISBN:978-84-09-24232-0, 5719-5723*

Цитира се в:

1. Ivaylo Blagoev, Gergana Vassileva, Vladimir Monov. A Model for e-Learning Based on the Knowledge of Learners, *CYBERNETICS AND INFORMATION TECHNOLOGIES • Volume 21, No 2, pp.121-135, Sofia • 2021 Print ISSN: 1311-9702; Online ISSN: 1314-4081 DOI: 10.2478/cait-2021-0023, @2021 [Линк](#)*

Участие в проекти

1. Национална Научна Програма „Информационни и Комуникационни Технологии За Единен Цифров Пазар в Науката, Образованието и Сигурността (ИКТвНОС), **задача 2.1.2.**
2. Национална Научна Програма „Интелигентно животновъдство” (Инте-Живо), **РП 5 и РП 11.**

Декларация за оригиналност на резултатите

Декларирам, че дисертацията съдържа оригинални резултати, получени, при проведени от мен научни изследвания с подкрепата и съдействието на научния ми ръководител.

Резултатите, които са получени, описани и/или публикувани от други учени, са коректно и подробно цитирани в библиографията.

Настоящият дисертационен труд не е прилаган за придобиване на научна степен в друго висше училище, университет или научен институт.

Подпис: 

/Пламен Петров/

Благодарности

Бих желал да изразя най-искрени благодарности към своя научен ръководител доц. д-р Татяна Атанасова за нейните ценни съвети от научно и практическо естество, за личния ѝ пример и за мотивацията през годините, както и за огромната цялостна подкрепа, която ми даваше, и която спомогна за моето научно развитие и реализацията на настоящия дисертационен труд.

Благодаря!

Библиография

1. Дойчинова Р., Начева И. (2015) Електронното Обучение: Дефиниции и Разновидности. Нови Медии, Аудитории, Бизнесмоделни, Катедра по журналистика и масови комуникации, Шуменски университет „Епископ Константин Преславски“, Шумен, ISBN: 978-619-00-0354-0
2. Лебамовски П., Петков Е. (2017) Анализ на Технологии, Подходи и Методики за 3D Обучение на Ученици в Стереометрия, *Eastern Academic Journal*, Issue 4, pp. 76-86, ISSN: 2367-7384
3. Петров П., Атанасова Т., Костадинов Г. (2020) Изграждане на Платформи за Споделяне на Общодостъпни Образователни Ресурси, Сб. Доклади от Годишна Университетска Научна Конференция, В. Търново, Електронно издание, Изд. комплекс на НВУ „Васил Левски“ ISSN 2367-7481, стр. 2090-2097.
4. Цонева М., Янков Т. (2019) Добавена или Виртуална Реалност в Образователния Процес, *Knowledge-International Journal*, Vol.35.2, pp.437-442, ISSN: 1857-923X
5. Afandi B., Kustiawan I. and Herman N. D. (2019) Exploration of the augmented reality model in learning, *Annual Conference of Science and Technology Journal of Physics: Conference Series* 1375 012082 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1375/1/012082
6. Afnan, Muhammad K., Khan N., Lee M.-Y., Imran A.S., Sajjad M. (2021) School of the Future: A Comprehensive Study on the Effectiveness of Augmented Reality as a Tool for Primary School Children's Education. *Appl. Sci.*, 11, 5277. <https://doi.org/10.3390/app11115277>
7. Ahmed T., Hossain M. J., Chiriyakhana V.R. (2020) A Virtual Zoo Using Google Cardboard, *SN Computer Science*, <https://doi.org/10.1007/s42979-020-00363-0>, 1:341.
8. Aitamurto T., Boin J-B., Chen K., Cherif A., Shridhar Sk. (2018) The Impact of Augmented Reality on Art Engagement: Liking, Impression of Learning, and Distraction, Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018, J. Y. C. Chen and G. Fragomeni (Eds.): VAMR 2018, LNCS 10910, pp. 153-171. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91584-5_13
9. Amanatidis N. (2022) Augmented Reality in Education and Educational Games Implementation and Evaluation: A Focused Literature Review, *Computers and Children* 1(1), em002 e-ISSN: 2754-091X <https://www.computersandchildren.com/>
10. Amir M.F., Fediyanto N. , Rudyanto H.E., Nur Afifah D.S., Tortop H.S., (2020) Elementary students' perceptions of 3Dmetric: A cross-sectional study, *Heliyon*, 6 e04052
11. Arduini, G., Chiusaroli, D. (2020). Experiential learning with Augmented Reality. En REDINE (Coord.), *Contribuciones de la tecnología digital en el desarrollo educativo y social.* (pp. 178-187). Eindhoven, NL: Adaya Press
12. Arena F., Collotta M., Pau G., Termine F. (2022) An Overview of Augmented Reality. *Computers*, 11, 28. <https://doi.org/10.3390/computers11020028>
13. Атанасова Т. (2014) Modelling of Complex Objects in Distance Learning Systems. First International Conference - "Innovative Teaching Methodology", Tbilisi, Georgia, 180-190.

14. Augmented And Virtual Reality Differences And Application In School Programs, <https://elearningindustry.com/augmented-and-virtual-reality-differences-application-school-programs>
15. Augmented Reality Can be a Reality in Your Art Classroom. <https://theartofeducation.edu/2015/03/26/augmented-reality-can-be-a-reality-in-your-art-classroom/>
16. Augmented reality in the classroom. <https://www.unitear.com/augmented-reality-in-education>
17. Avellar G.M.N., Barbosa E. F. (2019) Virtual and Augmented Reality in the Teaching and Learning of Programming: A Systematic Mapping Study, Proc. of the VIII Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE 2019), pp.664-673, DOI: 10.5753/cbie.sbie.2019.664
18. Bäck R., Plecher D. A., Wenrich R., Dorner B. and Klinker G. (2019) Mixed Reality in Art Education, IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), Osaka, Japan, 2019, pp. 1583-1587, doi: 10.1109/VR.2019.8798101.
19. Baird, D. (2017) Augmented Reality Apps for Education, <https://virtualrealitypop.com/aredu-educational-augmented-reality-apps-5e6599529807>.
20. Barrett, P.; Barrett, L.; Zhang, Y. (2016) Teacher s' Views of Their Primary School Class Rooms. <https://usir.salford.ac.uk/id/eprint/36129/1/1-s2.0-S0360132315000700-main.pdf>.
21. Bazavan L.-C., Roibu H., Petcu F. B., Cismaru S. I. and George B. N. (2021) Virtual Reality and Augmented Reality in Education, 30th Annual Conference of the European Association for Education in Electrical and Information Engineering (EAEEIE), 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/EAEEIE50507.2021.9531005.
22. Birt J., Stromberga Z., Cowling M., Moro C. (2018) Mobile Mixed Reality for Experiential Learning and Simulation in Medical and Health Sciences Education. *Information*, 9, 31.
23. Blagoev I., Vassileva G., Monov V. (2021) A Model for e-Learning Based on the Knowledge of Learners, *Cybernetics and Information Technologies*, Vol. 21, No 2, pp.121-135, Sofia, Print ISSN: 1311-9702; Online ISSN: 1314-4081 DOI: 10.2478/cait-2021-0023
24. Blagoev, I, Monov, V. (2018) Criteria and Methodology for the Evaluation of e-Learning Management Systems based on the Specific Needs of the Organization. *International Journal of Education and Information Technologies*, 12, North Atlantic University Union (NAUN), ISSN:2074-1316, 134-141.
25. Bloom, B.S. (1956) Taxonomy of Educational Objectives, Handbook: The Cognitive Domain. David McKay, New York.
26. Boyles, B. (2017) Virtual Reality and Augmented Reality in Education, https://www.usma.edu/cfe/Literature/Boyles_17.pdf.
27. Brij Y., Belhadaoui H., (2021) Virtual and Augmented Reality in school context: A literature review, ICCSRE'2021, E3S Web of Conferences 297, 01027 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202129701027>
28. Brzezinski T. Augmented Reality: Ideas for Student Explorations, (on-line resources) Retrieved from <https://www.geogebra.org/m/RKYFdQJy>
29. Cabero-Almenara J., Fernandez-Batanero J.M., Barroso-Osuna J. (2019) Adoption of augmented reality technology by university students, *Heliyon*, vol. 5, issue 5, E01597.
30. Chandrasekera T. (2018) Augmented Reality, Virtual Reality and their effect on learning style in the creative design process, *Design and Technology Education: An International Journal*, 23.1, pp.55-75.

31. Chen, C. J. (2006) The design, development and evaluation of a virtual reality based learning environment. *Australasian Journal of Educational Technology*, vol. 22, no. 1. <https://doi.org/10.14742/ajet.1306>
32. Contero M. & López D. (2013) Delivering Educational Multimedia Contents through an Augmented Reality Application: a Case Study on its Impact on Knowledge Acquisition and Retention. *Turkish Online Journal of Educational Technology*. 12, 20.
33. D'Angelo C., Rutstein D., Harris C., Bernard R., Borokhovski E., Haertel G. (2013) Simulations for STEM Learning: Systematic Review and Meta-Analysis (Executive Summary); SRI International: Menlo Park, CA, USA.
34. de Lange R. & Lodewijk M. (2017) Virtual Reality & Augmented Reality in primary education - a literary review and exploratory research, Virtual Reality Learning Lab, Universiteit Leiden.
35. Del Cerro Velázquez F., Morales Méndez G. (2018) Augmented Reality and Mobile Devices: A Binominal Methodological Resource for Inclusive Education (SDG 4). An Example in Secondary Education. *Sustainability*, 10, 3446.
36. Dengel A., Iqbal M. Z., Grafe S., Mangina E. (2022) A Review on Augmented Reality Authoring Toolkits for Education, *Frontiers in Virtual Reality* Vol. 3, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frvir.2022.798032>, doi:10.3389/frvir.2022.798032, ISSN=2673-4192
37. Diegmann, Ph., Schmidt-Kraepelin M., Eynden S., and Basten D. (2015) Benefits of Augmented Reality in Educational Environments - A Systematic Literature Review, *Wirtschaftsinformatik Proceedings*, 103. <https://aisel.aisnet.org/wi2015/103>
38. Dineva K., Atanasova T. (2019) Regression Analysis on Data Received from Modular IoT System. In Proceedings of the European Simulation and Modelling Conference ESM'2019, EUROSIS-ETI, Palma de Mallorca, Spain, 28–30 October, pp. 114–118.
39. Do, K. (2015) 3D Technology at ISTE Cyber Science 3D. 2015. <https://vivedlearning.com/3dtechnology-at-iste-2015-3/>.
40. Freitas A., Rossi B., Pereira S., Dos Santos M., Dos Santos C. and Pereira M. (2019) Project-Based Learning as a Tool for Sounding Perception and Developing Socio-Emotional Skills in 4th-Grade Students. *Creative Education*, vol. 10, 1444-1455. doi:10.4236/ce.2019.107106.
41. Galati F., Bigliardi B., Deiana A., Filippelli S., Petroni A. (2019) Pros and Cons of Augmented Reality in Education, Proceedings of EDULEARN'19 Conference, Palma, Mallorca, Spain, pp.9165-9168, ISBN: 978-84-09-12031-4
42. Garzón, J., Pavón, J., Baldiris, S. (2017) Augmented Reality Applications for Education: Five Directions for Future Research. In: De Paolis, L., Bourdot, P., Mongelli, A. (eds) Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics. AVR 2017. Lecture Notes in Computer Science, vol 10324. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60922-5_31
43. Geroimenko, V.(Ed.) (2020) Augmented Reality in Education, A New Technology for Teaching and Learning, Springer Series on Cultural Computing.
44. Gomez-del Rio T., Rodriguez J. (2022) Design and assessment of a project-based learning in a laboratory for integrating knowledge and improving engineering design skills, *Education for Chemical Engineers*, vol. 40, pp. 17-28.
45. Harapnuik D. (2021) Bloom's Digital Taxonomy, <https://www.harapnuik.org/?p=8505>
46. Heilig M. (1962) US Patent #3,050,870, <http://www.mortonheilig.com/SensoramaPatent.pdf>
47. Hernández, C.; Duque, E. (2018) Creative Workshop Based on Augmented Reality for the Strengthening of Creativity through the Learning of the Design Thinking Methodology. *Proceedings*, 2, 1359.

48. Herpich F., Felipe Becker Nunes F. B., Giani Petri G., Tarouco L.M.R. (2019) How Mobile Augmented Reality Is Applied in Education? A Systematic Literature Review, *Creative Education*, Vol. 10 No. 7.
49. Hite, R.L. (2016) Perceptions of Virtual Presence in 3-D, Haptic-Enabled, Virtual Reality Science Instruction. (Under the Direction of M. Gail Jones). <https://repository.lib.ncsu.edu/bitstream/handle/1840.16/10986/etd.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
50. How Mobile Augmented Reality Is Applied in Education? A Systematic Literature Review, <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=93878>
51. Ibili E. and Sahin S. (2015) The effect of augmented reality assisted geometry instruction on students' achievement and attitudes, *Teaching Mathematics and computer science*, vol. 13, no. 2, 177–193, DOI: 10.5485/TMCS.2015.0392, <http://tmcs.math.klte.hu>
52. Jantjies M., Moodley T., Maart R. (2018) Experiential learning through virtual and augmented reality in higher education, Association for Computing Machinery (ACM), DOI:10.1145/3300942.3300956
53. Jensen L. & Konradsen F. (2018) A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies*. Vol. 23. 1-15. 10.1007/s10639-017-9676-0.
54. Jumani A. Kh., Siddique W. A., Laghari A. A., Abro A., Khan A. A. (2022) Virtual Reality and Augmented Reality for Education, In book: Multimedia Computing Systems and Virtual Reality, CRC Press.
55. Kamińska D., Sapiński T., Wiak S., Tikk T., Haamer R.E., Avots E., Helmi A., Ozcinar C., Anbarjafari G. (2019) Virtual Reality and Its Applications in Education: Survey. *Information*, 10, 318. <https://doi.org/10.3390/info10100318>
56. Kapoor V., Naik P. (2020) Augmented Reality-Enabled Education for Middle Schools, *SN Computer Science*, <https://doi.org/10.1007/s42979-020-00155-6>, 1:166.
57. Kaufmann H., Collaborative Augmented Reality in Education, <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.12.2215&rep=rep1&type=pdf>
58. Kaufmann H., Schmalstieg D. (2003). Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality. *Computer Graphic* 27 (3), 339–345.
59. Kencevski K., Zhang Y. (2019). VR and AR for Future Education. In: Zhang, Y., Cristol, D. (eds) *Handbook of Mobile Teaching and Learning*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2766-7_136
60. Kennedy, E. (2018) Can Virtual Reality Revolutionize Education? CNN. 1 November 2018. <https://edition.cnn.com/2018/11/01/health/virtual-reality-education/index.html>
61. Kersten, T.P., Edler, D. (2020) Special Issue “Methods and Applications of Virtual and Augmented Reality in Geo-Information Sciences”. *PFG* 88, 119–120. <https://doi.org/10.1007/s41064-020-00109-w>
62. Kirkpatrick D. (1954) *Evaluating Human Relations Programs for Industrial Foremen and Supervisors*, Doctoral dissertation.
63. Kirova D., Aliev S., (2018) Virtual, Added And Mixed Reality - Innovative Practices In The Education Process, Сборник с доклади на Втора варненска конференция за електронно обучение и управление на знанието: Комуникация във виртуална среда Ed.: Ivan Merdjanov, Varna, ISBN (online): 978-619-221-196-7, стр.44-50
64. Klimova A., Bilyatdinova A., Karsakov A. (2018) Existing Teaching Practices in Augmented Reality, *Procedia Computer Science*, Vol. 136, pp. 5-15, ISSN 1877-0509, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.232>.

65. Kovalenko V.V., Marienko M.V., Sukhikh A.S. (2021) Use of Augmented and Virtual Reality Tools in a General Secondary Education Institution in the Context of Blended Learning, ISSN: 2076-8184. *Information Technologies and Learning Tools*, Vol 86, №6, DOI: 10.33407/itlt.v86i6.4664
66. Krajčovič M., Gabajová G., Matys M., Furmannová B., Dulina L'. (2022) Virtual Reality as an Immersive Teaching Aid to Enhance the Connection between Education and Practice. *Sustainability*, 14, 9580. <https://doi.org/10.3390/su14159580>
67. Kramarenko T. H., Pylypenko O. S. and Zaslavskiy V. I. (2019) “Prospects of using the augmented reality application in STEM-based Mathematics teaching”, Proc. AREdu, The 2nd International Workshop on Augmented Reality in Education, Kryvyi Rih, Ukraine, March 22, 2019, pp. 130-144, <http://ceur-ws.org/Vol-2547/paper10.pdf>
68. Larmer J., Mergendoller J., & Boss S. (2015) Setting the standard for project based learning.
69. Lee K. (2011) Augmented Reality in Education and Training, AECT Convention *Proceedings*, pp.403-410.
70. Lim K. (2022) Expanding Multimodal Artistic Expression and Appreciation Methods through Integrating Augmented Reality. *Int J Art Des Educ*. <https://doi.org/10.1111/jade.12434>
71. Liu D., Dede C., Huang R., Richards J. (Eds.) (2017) *Virtual, Augmented, and Mixed Realities in Education*, Springer Singapore.
72. Liyuan L. (2020) The application of virtual reality and augmented reality technology in the field of Education, AINIT 2020, *Journal of Physics: Conference Series* 1684 012109 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1684/1/012109
73. Lopez L. F., Ferrandis E.M. M., Castillo A.M. G., Palomino S. V. (2021) Problem- and project-based learning in conservation-restoration training programs, ICERI2021 *Proceedings*, pp. 969-976.
74. Lytridis C., Tsinakos A., Kazanidis I. (2018) ARTutor—An Augmented Reality Platform for Interactive Distance Learning. *Educ. Sci.*, 8, 6.
75. Martínez-Sevilla Á., Ureña C., and Recio T. (2018) Augmented Reality, Maths Walks and GeoGebra, Extended Abstract for a contributed talk at CAGDME 2018, Retrieved from https://www.uc.pt/en/congressos/cadgme2018/ficheiros/CADGME-2018_paper_61
76. Martin-Gutierrez J., Mora C. E., Añorbe B., González-Marrero A. (2017) Virtual Technologies Trends in *Education Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, vol. 13, no. 2, pp. 469-486.
77. McLellan H. (1996) Virtual realities. In D. H. Jonassen (Ed.), *Handbook of research for educational communications and technology*.
78. McNamara A. M. (2011) Enhancing art history education through mobile augmented reality, VRCAI '11: Proceedings of the 10th International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications in Industry, pp. 507–512, <https://doi.org/10.1145/2087756.2087853>
79. Mekacher, L. (2019) Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR): The Future of Interactive Vocational Education and Training for People with Handicap. *PUPIL: International Journal of Teaching, Education and Learning*, vol. 3, no. 1, DOI-<https://dx.doi.org/10.20319/pijtel.2019.31>
80. Merely T. (2017) The reality of VR/AR growth. <https://techcrunch.com/2017/01/11/the-reality-of-vrar-growth>
81. Milgram P. and Kishino F. (1994) A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, vol. 77, no. 12, pp. 1321-1329.

82. Milgram P., Takemura H., Utsumi A. & Kishino F. (1994) Augmented Reality: A class of displays on the reality virtuality continuum. *SPIE Telemanipulator and Telepresence Technologies*, 2351, pp. 282–292.
83. Mori B., (2020) Gamification: To Engage Is to Learn, In: *Virtual and Augmented Reality in Education, Art, and Museums*, Guazzaroni G. and Pillai A.S. (Eds.), DOI: 10.4018/978-1-7998-1796-3, ISBN13: 9781799817963
84. Nersesian E., Spryszynski A., Lee M.J. (2019) Integration of Virtual Reality in Secondary STEM Education. In *Proceedings of the 2019 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC)*, Princeton, NJ, USA, 16 March 2019; pp. 83–90.
85. Oh S.Y., Bailenson, J. (2017) *Virtual and Augmented Reality; The International Encyclopaedia of Media Effects*; John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, NY, USA, pp. 1–16.
86. ORT (2018) Opening of New STEM Laboratories Gives Sofia Pupils Room for Inspiration. <https://www.ort.org/en/news/opening-of-new-stem-laboratories-gives-sofia-pupils-room-for-inspiration/>.
87. Osipova N., Kravtsov H., Gnedkova O., Lishchuk T., Davidenko K. (2019) Technologies of Virtual and Augmented Reality for High Education and Secondary School, *Proceedings of the ICTERI 2019 - 15th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. Volume II: Workshops*, Kherson, Ukraine, June 12-15, 2019. pp.121-131.
88. Panciroli C., Macaуда A., Russo, V. (2017) Educating about Art by Augmented Reality: New Didactic Mediation Perspectives at School and in Museums. *Proceedings*, 1, 1107, doi:10.3390/proceedings1091107.
89. Pantelidis V. S. (2010) Reasons to use virtual reality in education and training courses and a model to determine when to use virtual reality. *Themes in Science and Technology Education*, vol. 2 (1/2), 59-70.
90. Petrov P., Atanasova T. (2019) An overview of virtual and augmented realities in STEM education, *ESM 2019 - The 33rd annual European Simulation and Modelling Conference, EUROSIS-ETI, 2019*, pp.123-128.
91. Petrov P., Atanasova T. (2020a) The Effect of Augmented Reality on Students' Learning Performance in STEM Education. *Information 2020*, vol. 11, issue 4, 209; <https://doi.org/10.3390/info11040209>
92. Petrov P., Atanasova T. (2020b) Developing Spatial Mathematical Skills Through Augmented Reality and Geogebra, *ICERI2020 - The 13th Annual Int. Conf. of Education, Research and Innovation, Sevilla, Spain 09-11 Nov 2020*, ISBN 978-84-09-24232-0, ISSN 2340-1095, pp. 5719-5723
93. Petrov P., Atanasova T. (2021) Digital Twins with Application of AR and VR in Livestock Instructions, *Problems of Engineering Cybernetics and Robotics*, Bulgarian Academy of Sciences, vol. 77, pp. 39-50 p-ISSN: 2738-7356; e-ISSN: 2738-7364 <https://doi.org/10.7546/PECR.77.21.05>
94. Petrov P., Atanasova T., Kostadinov G. (2019) Types, Technologies and Trends in E-Learning, *Information technologies and control (ITC)*, vol. 3, Online ISSN: 2367-5357 DOI: 10.7546/itc-2019-001
95. Petrov P., Atanasova T., Kostadinov, G. (2020c) Enhancing Art education in school through augmented reality. 7th SWS International Scientific Conference on Social Sciences - ISCSS 2020, SGEM World Science (SWS) Society, Austria, 2020, ISBN:978-619-7603-15-6, ISSN: 2682-9959, DOI:10.5593/sws.iscss.v2020.7.2/s13.12, 99-106

96. Petrov, P., Atanasova, T. (2022) Enhancing STEM Education Through Project-Based Learning Combined with Virtual and Augmented Reality, ICERI2022 - The 15th Annual Int. Conf. of Education, Research and Innovation, Sevilla, Spain 07-09 Nov 2022 (under print)
97. Rebbani Z., Azougagh D., Bahatti L., Bouattane O. (2021) Definitions and Applications of Augmented/Virtual Reality: A Survey, *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, vol. 9. no. 3, pp. 279 – 285, ISSN 2347 - 3983
98. Rienow A., Lindner C., Dedring T. et al. (2020) Augmented Reality and Virtual Reality Applications Based on Satellite-Borne and ISS-Borne Remote Sensing Data for School Lessons. *PFG* 88, pp. 187–198. <https://doi.org/10.1007/s41064-020-00113-0>
99. Rukmani S., Vasimalairaja M. (2021) Effectiveness Of Augmented Reality To Enhance Lateral Thinking Of High School Students, *xIlkogretim Online - Elementary Education Online*; vol. 20, issue 5, pp.4375-4381 <http://ilkogretim-online.org> doi: 10.17051/ilkonline.2021.05.481
100. Saad A., Zainudin S. (2022) A review of Project-Based Learning (PBL) and Computational Thinking (CT) in teaching and learning, *Learning and Motivation*, Vol. 78, 101802, <https://doi.org/10.1016/j.lmot.2022.101802>.
101. Savery J. R., (2006) Overview of Problem-based Learning: Definitions and Distinctions. *Journal of Problem-based Learning*, vol. 1, no.1.
102. School Rooms of the Future—Center for Natural Sciences Opened in Our School. <https://www.hebrewschool-bg.org/2018/11/27/opening-new-stem-laboratories-gives-sofia-pupilsroom-inspiration/>.
103. Simon-Liedtke, J.T., Baraas, R.C. (2022) The Need for Universal Design of eXtended Reality (XR) Technology in Primary and Secondary Education. In: Chen, J.Y.C., Fragomeni, G. (eds) *Virtual, Augmented and Mixed Reality: Applications in Education, Aviation and Industry*. HCII 2022. Lecture Notes in Computer Science, vol 13318. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06015-1_9
104. Smilan C., de Eça T.T., Kakourou-Chroni G. (2006) Art Education at the intersection of creativity: Integrating art to develop multiple perspectives for identifying and solving social dilemmas in the 21st century, *Worlds Arts Alliance*, vol. 12, <http://www.unesco.org/culture/en/artseducation/pdf/fpcathysmilan104.pdf>
105. Smutny P. (2022) Learning with virtual reality: a market analysis of educational and training applications, *Interactive Learning Environments*, DOI: 10.1080/10494820.2022.2028856
106. Solak E. & Cakir R. (2016) Investigating the Role of Augmented Reality Technology in the Language Classroom. *Croatian Journal of Education*. 18. 1067. 10.15516/cje.v18i4.1729.
107. Tomaschko M., Hohenwarter M. (2019) Augmented Reality in Mathematics Education: The Case of GeoGebra AR, In book: *Augmented Reality in Educational Settings*, DOI:10.1163/9789004408845_014
108. Tramontana P., De Luca M. and Fasolino A. R. (2022) An Approach for Model Based Testing of Augmented Reality Applications, *Joint Proceedings of RCIS 2022 Workshops and Research Projects Track*, May 17-20, Barcelona, Spain
109. Tremosa L. (2022) Beyond AR vs. VR: What is the Difference between AR vs. MR vs. VR vs. XR? <https://www.interaction-design.org/literature/article/beyond-ar-vs-vr-what-is-the-difference-between-ar-vs-mr-vs-vr-vs-xr>
110. Trigueros J.M. Alonso, Cantón A., Castrillón M., Fox D.J., Gil O., Ortega D., Pérez S., Rosado E., Vázquez-Gallo M.J. (2019) 3D Explora: a GeoGebra book for visualizing curves and surfaces in 3D, *Proceedings of the INTED2019* pp. 1007-1011.

111. Tzima S., Styliaras G., Bassounas A. (2019) Augmented Reality Applications in Education: Teachers Point of View, *Education Sciences*, vol. 9, issue 2, 99, <https://doi.org/10.3390/educsci9020099>
112. Valamis Learning Solution, (2022) Bloom's Taxonomy: Revised Levels, Verbs for Objectives, <https://www.valamis.com/hub/blooms-taxonomy>
113. Velázquez D.C., F.; Morales G.M., (2018) Augmented Reality and Mobile Devices: A Binominal Methodological Resource for Inclusive Education (SDG 4). An Example in Secondary Education. *Sustainability*, vol. 10, 3446. doi: 10.3390/su10103446
114. Vert S., Andone D., Vasiu R. (2019) Augmented and Virtual Reality for Public Space Art, ITM Web of Conferences 29, <https://doi.org/10.1051/itmconf/20192903006>
115. Virtual Reality (VR). Merriam-Webster.com Dictionary, Merriam-Webster. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/VR>
116. Woolley, B. (1992). *Virtual worlds: A journey in hype and hyperreality*. Oxford, England: Blackwell.
117. Yin W. (2022) An Artificial Intelligent Virtual Reality Interactive Model for Distance Education, Hindawi, *Journal of Mathematics*, Vol. 2022, Article ID 7099963, 7 pages, <https://doi.org/10.1155/2022/7099963>
118. Youngblut, C. (1997). Educational uses of virtual reality technology. Executive report. Reprinted from Educational uses of virtual reality technology (IDA Document Report Number D-2128). Alexandria, VA: Institute for Defense Analyses, 1998. VR in the Schools, 3(1).
119. Yung R., Khoo-Lattimore C. (2019) New Realities: A Systematic Literature Review on Virtual Reality and Augmented Reality in Tourism Research, *Current Issues in Tourism*, vol. 22, issue 17 pp. 2056-2081. <https://doi.org/10.1080/13683500.2017.1417359>
120. zSpace & Standards-Based Instruction (2020) https://cdn.zspace.com/downloads/documentation/standards-based-learning/State_by_State_Standards_-_NGSS_Elementary.pdf
121. zSpace. Learning through AR/VR Experiences. <https://zspace.com/>