

# Abstracts of Dissertations

Institute of Information and  
Communication Technologies

BULGARIAN ACADEMY OF  
SCIENCES



3 / 2023



MODELS AND METHODS  
FOR THE APPLICATION  
OF VIRTUAL AND  
AUGMENTED REALITY  
IN EDUCATION

*Plamen Petrov*

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

*Пламен Петров*

# Автореферати на дисертации

Институт по информационни и  
комуникационни технологии

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

ISSN: 1314-6351

Порецицата „Автореферати на дисертации на Института по информационни и комуникационни технологии при Българската академия на науките“ представя в електронен формат автореферати на дисертации за получаване на научната степен „Доктор на науките“ или на образователната и научната степен „Доктор“, защитени в Института по информационни и комуникационни технологии при Българската академия на науките. Представените трудове отразяват нови научни и научно-приложни приноси в редица области на информационните и комуникационните технологии като Компютърни мрежи и архитектури, Паралелни алгоритми, Научни пресмятания, Лингвистично моделиране, Математически методи за обработка на сензорна информация, Информационни технологии в сигурността, Технологии за управление и обработка на знания, Грид-технологии и приложения, Оптимизация и вземане на решения, Обработка на сигнали и разпознаване на образи, Интелигентни системи, Информационни процеси и системи, Вградени интелигентни технологии, Йерархични системи, Комуникационни системи и услуги и др.

#### Редактори

*Геннадий Агре*

Институт по информационни и комуникационни технологии, Българска академия на науките  
E-mail: [agre@iinf.bas.bg](mailto:agre@iinf.bas.bg)

*Райна Георгиева*

Институт по информационни и комуникационни технологии, Българска академия на науките  
E-mail: [rayna@parallel.bas.bg](mailto:rayna@parallel.bas.bg)

*Даниела Борисова*

Институт по информационни и комуникационни технологии, Българска академия на науките  
E-mail: [dborissova@iit.bas.bg](mailto:dborissova@iit.bas.bg)

*Настоящото издание е обект на авторско право. Всички права са запазени при превод, разпечатване, използване на илюстрации, цитирания, разпространение, възпроизвеждане на микрофилми или по други начини, както и съхранение в бази от данни на всички или част от материалите в настоящето издание. Копирането на изданието или на част от съдържанието му е разрешено само със съгласието на авторите и/или редакторите*

*The series **Abstracts of Dissertations of the Institute of Information and Communication Technologies at the Bulgarian Academy of Sciences** presents in an electronic format the abstracts of Doctor of Sciences and PhD dissertations defended in the Institute of Information and Communication Technologies at the Bulgarian Academy of Sciences. The studies provide new original results in such areas of Information and Communication Technologies as Computer Networks and Architectures, Parallel Algorithms, Scientific Computations, Linguistic Modelling, Mathematical Methods for Sensor Data Processing, Information Technologies for Security, Technologies for Knowledge management and processing, Grid Technologies and Applications, Optimization and Decision Making, Signal Processing and Pattern Recognition, Information Processing and Systems, Intelligent Systems, Embedded Intelligent Technologies, Hierarchical Systems, Communication Systems and Services, etc.*

#### Editors

*Gennady Agre*

Institute of Information and Communication Technologies, Bulgarian Academy of Sciences  
E-mail: [agre@iinf.bas.bg](mailto:agre@iinf.bas.bg)

*Rayna Georgieva*

Institute of Information and Communication Technologies, Bulgarian Academy of Sciences  
E-mail: [rayna@parallel.bas.bg](mailto:rayna@parallel.bas.bg)

*Daniela Borissova*

Institute of Information and Communication Technologies, Bulgarian Academy of Sciences  
E-mail: [dborissova@iit.bas.bg](mailto:dborissova@iit.bas.bg)

*This work is subjected to copyright. All rights are reserved, whether the whole or part of the materials is concerned, specifically the rights of translation, reprinting, re-use of illustrations, recitation, broadcasting, reproduction on microfilms or in other ways, and storage in data banks. Duplication of this work or part thereof is only permitted under the provisions of the authors and/or editor.*



**BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES**

## **Abstract of PhD Thesis**

# **MODELS AND METHODS FOR THE APPLICATION OF VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY IN EDUCATION**

*Plamen Dimitrov Petrov*

**Supervisor: Assoc. Prof. Tatiana Atanasova**

**Approved by Supervising Committee:**

Prof. Galia Angelova

Prof. Radoslav Yoshinov

Prof. Desislava Paneva-Marinova

Prof. Georgi Dimitrov

Assoc. Prof. Irina Radeva



**INSTITUTE OF INFORMATION AND  
COMMUNICATION TECHNOLOGIES**

**Department of Modelling and Optimization**

## Introduction

We live in a time where digital technologies are constantly transforming the field of education. Their rapid development makes them more and more accessible and leads to their widespread entry into all stages of the educational process. This is also leading to rapid advances in educational technology, and institutions, educational experts and educators are looking for new ways to integrate digital solutions and improve the classroom experience. Augmented reality (AR) and virtual reality (VR), two technologies that allow mixing the real and digital worlds, and even blurring the lines between them, enable the creation of even more personalized and immersive visual experiences and offer the remarkable potential for innovation.

Findings made in this work indicate that there are not many comprehensive, standards-based environments suitable for implementation specifically designed for STEM learning. On the other hand, there are many ready-made and readily available AR/VR resources. Of key importance for their beneficial use is the educational approach used.

The present dissertation analyzes existing and proposes models for the use of AR/VR in education, together with methods for evaluating the effect of their application in the educational process and the combination of these ICT technologies with other teaching techniques and scenarios, as well as with the physical environment in the classroom.

## Dissertation structure

The dissertation has four chapters.

In the **first chapter**, an analytical overview of modern directions and technologies in e-learning is made. It is motivated by the need to offer new models for the application of virtual training resources for certain target groups, as well as the need for specific methods, tools, examples of scenarios, and approaches allowing their effective application in the training process.

In the **second chapter**, the developed models for the application of augmented and virtual reality in various STEAM subjects with different educational goals and the possibilities of combining them with the project-based approach and a specially designed physical environment are presented.

The **third chapter** describes methods for evaluating the effect of the application of the developed models, taking into account the specifics of the taught subjects, as well as methods for combining AR/VR technologies with different teaching techniques and scenarios.

In the **fourth chapter**, an overview of the software environments for creating and the hardware means for using AR/VR educational materials is made. The updated and digitally adapted Bloom's Taxonomy and its implications for creating standards-based AR/VR educational resources are discussed. A SWOT analysis of the application of AR/VR technologies in education is prepared.

A summary of the obtained results is presented in the **Conclusion**. Directions for future research and development are identified. A list of scientific publications on the topic and noted citations are presented.

The dissertation contains 114 pages, 42 figures, 18 tables, and 121 bibliography sources.

## **Chapter 1 –Analysis of modern teaching models and methods**

### **1.1 Modern trends and technologies in e-learning**

In recent decades, learning has undergone major changes, from the standard classroom setting and teacher- and instructor-led learning to modern learning opportunities through gamification, artificial intelligence, and virtual reality. The development of information and communication technologies has led to the emergence of e-learning, i.e. education that is conducted, guided, and carried out with the help of electronic media.

Technology remains the leading keyword when talking about e-learning. Whether teaching children or adults, or developing corporate training courses, taking advantage of the expanded capabilities offered by new technologies is a must.

Regardless of the directions and trends in e-learning, it is based on two types of systems - a learning management system (Learning Management System - LMS) and a learning content management system (Learning Content Management System - LCMS).

Different types of training require different technologies and platforms for their implementation.

#### **1.1.1 Microlearning**

This is one of the preferred ways of learning because it allows the content to be broken down into smaller parts and makes it easier for the learner to absorb the information. Because in microlearning, the learning content consists of smaller modules, it is easier to complete them and the material to be absorbed on the fly.

#### **1.1.2 Blended learning**

Blended learning combines the strengths of both traditional and e-learning to offer the best for users. To make learning more effective, blended learning offers an educational program that combines face-to-face meetings and online lessons.

#### **1.1.3 Gamification**

One of the fastest growing areas of e-learning that uses game elements in non-game situations to improve user engagement during learning and subsequent evaluation.

It is believed that with the methods it uses, gamification can compensate for the shortcomings of other e-learning methods by engaging the attention and increasing the concentration of learners for a longer period.

#### 1.1.4 Online mentoring programs

Online mentoring programs are gaining in popularity. Combining live meetings or live video links with e-learning, they are a great way to provide personalized experience and first-hand knowledge in a particular field.

#### 1.1.5 Mobile learning

Mobile learning is a stage in the development of e-learning. The two types of training have similar characteristics. One of the things that differentiate mobile learning from e-learning is the use of mobile technologies – mobile devices and wireless communication technologies.

#### 1.1.6 Standards for eLearning

Guidelines for designing and developing content, deploying it across platforms, and ensuring interoperability across devices can be found in the eLearning Standards, a set of general rules that apply to content, software creation, and management systems (LMS).

There are two main types of eLearning standards (Fig. 1.1). Course design standards address the various aspects of course design and development, and technical standards address the deployment of courses in LMSs or other types of portals.

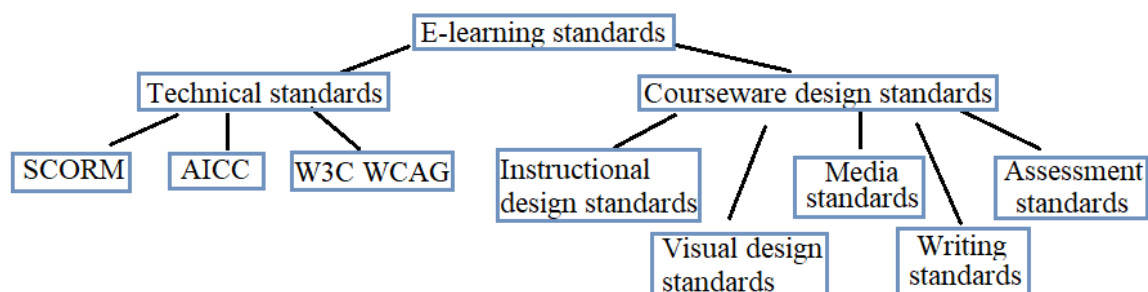


Figure 1.1 Standards for eLearning

#### 1.1.7 Personalized training

The concept of personalized learning is not new to education. Personalized learning provides a unique, highly focused learning path for each student. Individual attention from the teacher is not possible in traditional education models with large numbers of students.

#### 1.1.8 Adaptive Learning

One of the many possible approaches to personalized, highly focused learning for large numbers of learners is Adaptive Learning. It requires the use of various technological systems and tools. For the implementation of adaptive learning, knowledge and technologies from

various fields are used - including computer science, artificial intelligence, psychometrics, education, psychology, etc.

## 1.2 Virtual, augmented and mixed reality

Virtual reality technology is based on computer graphics, simulation, human-computer interfaces and others. The use of virtual reality (VR) in education can be considered the natural evolution of computer-assisted or computer-based learning. The sense of immersion achieved through virtual 3D environments [Do, 2015] offers numerous advantages [Kersten, 2020].

Virtual reality is an artificial environment that is experienced through sensory stimuli (such as sights and sounds) provided by a computer, and in which human actions partially determine what happens in the environment, as defined by the Merriam-Webster Dictionary.

Unlike virtual reality, which creates a completely artificial environment, augmented reality (AR) uses the existing environment and overlays new information on it. Augmented reality is the integration of digital information with the user's environment in real time. AR is growing in popularity because it brings elements of the virtual world into the real world, thereby enhancing the things we see, hear and feel.

Of the several existing definitions of AR, the one provided by Paul Milgram (Department of Industrial Engineering, University of Toronto) and Fumio Kishino (Department of Electronics, Information Systems and Power Engineering, Osaka University) is the most frequently cited. Different types of reality are theoretically defined, which create a continuum that, starting from the real world, leads to a completely virtual world [Arena et al, 2022]. The following environments are distinguished in it (Fig. 1.3):

- Real Environment (RE): this is the environment in which we live and which is governed by the laws of physics;
- Augmented reality (AR): physical reality in which participants also see virtual elements;
- Augmented Virtuality (AV): virtual reality in which participants also see real elements;
- Virtual reality (VR): represents a synthetic world in which the participant is fully immersed.

Milgram and Kishino [Milgram et al, 1994] introduced the reality-virtuality continuum.

Another term is also in use – Extended Reality (XR). Augmented Reality (XR) is a term that combines augmented reality, virtual reality and mixed reality experiences, meaning that all technologically enhanced realities fall under the umbrella term XR. It's a relatively new technology that blurs the line between the real and digital worlds to create even more

personalized and immersive visual experiences. This is done with the use of special headsets, glasses, joysticks and sensors, in order to improve the user's perceptions.

Based on this classification is also the classification of different types of technology.

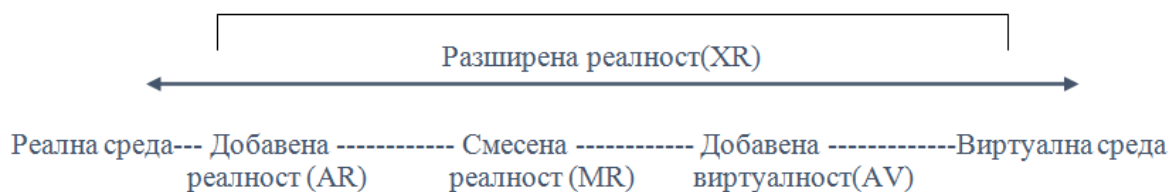


Figure 1.3 Reality-Virtuality Continuum (adapted from [Milgram et al, 1994], [Arena, 2022]).

AR can be implemented through different types of technologies, according to specific goals and applications:

- Marker Based AR
- AR without a marker (Markerless AR)
  - Location-based AR
  - Projection-based AR
  - Overlay AR
  - Contour AR.

Over time, it has become clear that there are very large opportunities for the application of AR/VR technologies in various fields dealing with diverse problems in the real world [Rebbani, 2021].

### 1.2.1 AR/VR - Virtual and Augmented Reality in Education

With the development of practical and affordable virtual reality and mixed reality, people now have the chance to experience an immersive learning experience both in classrooms [Cabero-Almenara, 2019] and informally in homes, libraries and community centers [Liu, 2017]. Many education technology companies are using virtual reality to bring lifelike experiences into the classroom while emphasizing the technology's ability to inspire and capture students' attention. It is noted that VR technologies encourage interaction and encourage active participation rather than passivity [Chandrasekera, 2018].

### 1.2.2 Goals and opportunities for using AR/VR in education

In the field of science, technology, engineering, and mathematics (STEM) education, fully interactive virtual laboratory simulations are designed to engage and stimulate students' natural curiosity as they learn [Nersesian, 2019].



The general conclusion of several studies is that augmented reality applications can improve the learning process, learning motivation and performance [Brij, 2021]. Despite the positive results, more research is needed, notes [Tzima, 2019].

### **1.2.3 Challenges and risks of using AR and VR in education**

There are certain risks in using AR and VR in education. Experts are still trying to understand the impact of VR on children's learning. The disadvantages of using virtual reality are primarily related to cost, the time required to learn how to use the hardware and software, possible health and safety effects, and dealing with potential reluctance to use and integrate new technologies into a course or curriculum.

### **1.2.4 Fields of application of AR and VR in education**

One of the things that can make AR technologies accessible is the application of the technology in different fields.

Augmented reality can be very suitable for simulations, especially in the field of STEM education [Diegmann, 2015]. As the computing power of computers has increased and their cost has decreased, the use of simulations has greatly increased. School laboratories and classrooms are beginning to be massively equipped with appropriate technological infrastructure. Especially in the field of STEM, access to quality laboratory equipment is difficult to provide en masse [Rienow, 2020], and simulations, in turn, allow students to experience processes and phenomena in a way that they would not normally be able to.

AR is growing in popularity because it brings elements of the virtual world into the real world, thereby enhancing the things we see, hear and feel.

### **1.2.5 Models for using AR/VR in education**

Any type of information, including virtual information superimposed on a real environment, can be digitized, such as text, images, video, audio, web links, and three-dimensional (3D) models. This functionality is one of the main features allowing this technique to be applied to a wide range of human activities, education is the most important among them [Panciroli, 2017].

Augmented reality can be considered a didactic tool that contributes to transforming the ways of learning. It should provide the learner with a unique experience that is not easily replicated or possible in a traditional classroom [Geroimenko, 2020]. Therefore, the main goal of AR is to add more information that is more meaningful to real objects, thus improving students' understanding of the world they observe [Del Cerro Velázquez 2018].

One model for using augmented and virtual reality in blended learning is shown in Fig. 1.5.

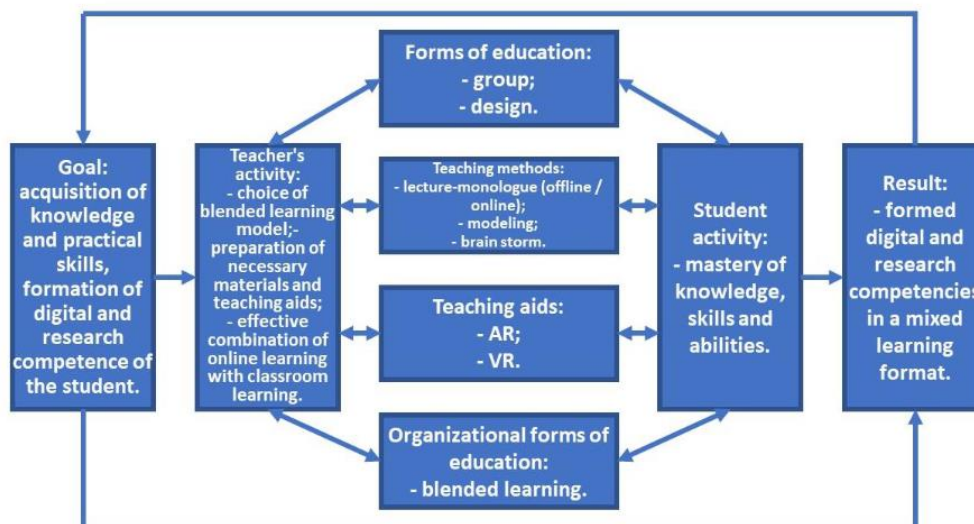


Figure 1.5 The model for using augmented and virtual reality in blended learning in secondary school [Kovalenko, 2021].

The taxonomy of the types of VR platforms used in education is closely related to the level of immersion and hardware requirements [Kamińska, 2019]. They are [Jumani, 2022]:

- Non-immersive VR systems
- Semi-immersive VR systems and platforms
- Fully immersive VR structures.

3D augmented reality technology can be used as a learning media with mobile phones or desktop computers. Augmented reality models vary as follows:

- 3D only
- 3D simulators
- 3D animation
- 3D video and multimedia,

with each model adapted to specific research objectives [Afandi, 2019].

An educational system using VR and AR in the work of [Osipova, 2019] means an ordered set of interconnected elements of electronic educational resources, forms and means for planning and conducting, monitoring, analyzing, and correcting the educational process aimed at improving the effectiveness of student learning (Fig. 1.8).

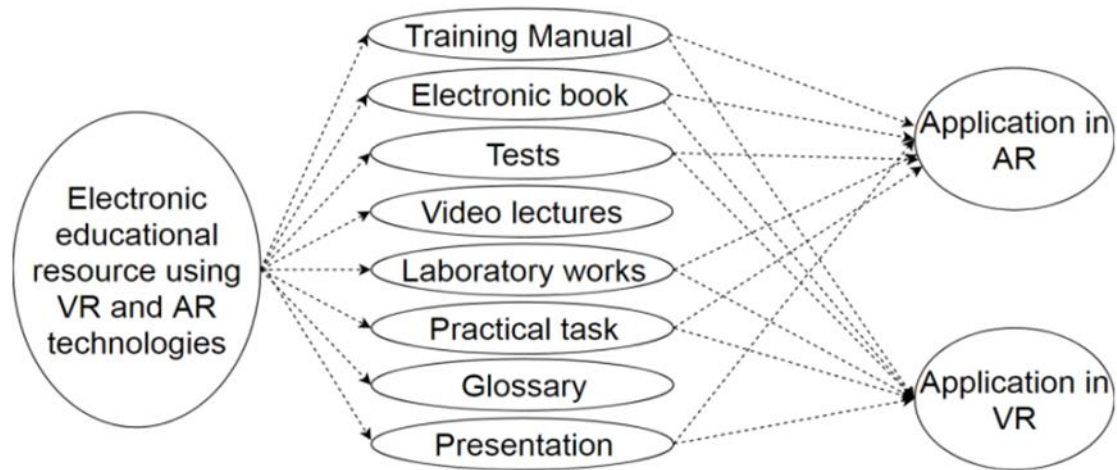


Figure 1.8 A model of a learning system using VR and AR [Osipova et al, 2019]).

### 1.3 Conclusions

As a result of the analytical review, the following conclusions can be drawn: Virtual (VR), augmented (AR) and mixed reality (MR) are modern tools that enable the renewal and upgrading of models and methods of teaching and knowledge acquisition. Combining AR/VR technologies in education enables a new approach to learning that usually complements traditionally used methods. There is a need to offer new ideas, tools, scenario examples and opportunities for virtual learning resources for specific target groups. Considering the advantages, disadvantages and functionalities of AR/VR technologies, it is important to determine when these technologies are appropriate and for what learning purposes, as well as for what teaching scenarios.

### 1.4 The objective and tasks of the dissertation

Based on the analysis of the state of the research, the aim of the dissertation is formulated:

**To propose models and methods for using augmented and virtual reality in education.**

For this purpose, the following tasks are defined:

1. To develop a model for the use of augmented and virtual reality in STEM education, taking into account the different educational goals and specifics of individual subjects
2. To propose a model for the combination of augmented and virtual reality with a physical learning environment.
3. To develop a model for combining augmented and virtual reality with project-based learning in a unified teaching scenario.

4. To propose methods for evaluating the effect of combining a learning environment mediated by augmented reality, implemented to improve the learning process and the understanding of learning material for certain learning goals.

## Chapter 2 – Models for the application of augmented and virtual reality in education

The following definitions are used in this dissertation: •

“A theoretical model is a description or representation used to understand how a particular system or process works” [[https://www.lexico.com/definition/theoretical\\_model](https://www.lexico.com/definition/theoretical_model)]. A theoretical model is a framework that researchers create to structure a research process and plan how to approach a particular research question. The model allows us to determine the objectives of the study.

The term "Method" is defined as a certain systematic procedure for achieving or approaching something.

This chapter offers models for the application of augmented reality in the teaching of biology, mathematics and the arts. The specifics of each discipline are reflected in the offered models. In addition to the application of AR/VR tools in the teaching of specific subject areas, this dissertation proposes a model of combining augmented and virtual reality technologies with different teaching techniques, environments and scenarios. The aim is to investigate the impact of AR tools on students' learning outcomes.

### 2.1. AR/VR tools

One of the most successful examples of an AR system is zSpace®. In 2015, zSpace® Inc. introduced an all-in-one solution for education consisting of a virtual reality monitor and a PC (fig. 2.1). The system provides students with a realistic learning environment that is NGSS (Next Generation Science Standards) compliant.



Figure 2.1: zSpace® all-in-one solution

Zspace® consists of several training applications and simulations.

### 2.2 A Model for Application of AR/VR in STEM Education

The proposed model for using augmented reality is realized through the workflow (Fig. 2.2) of the same experiment for the 3 groups and the four taught topics.

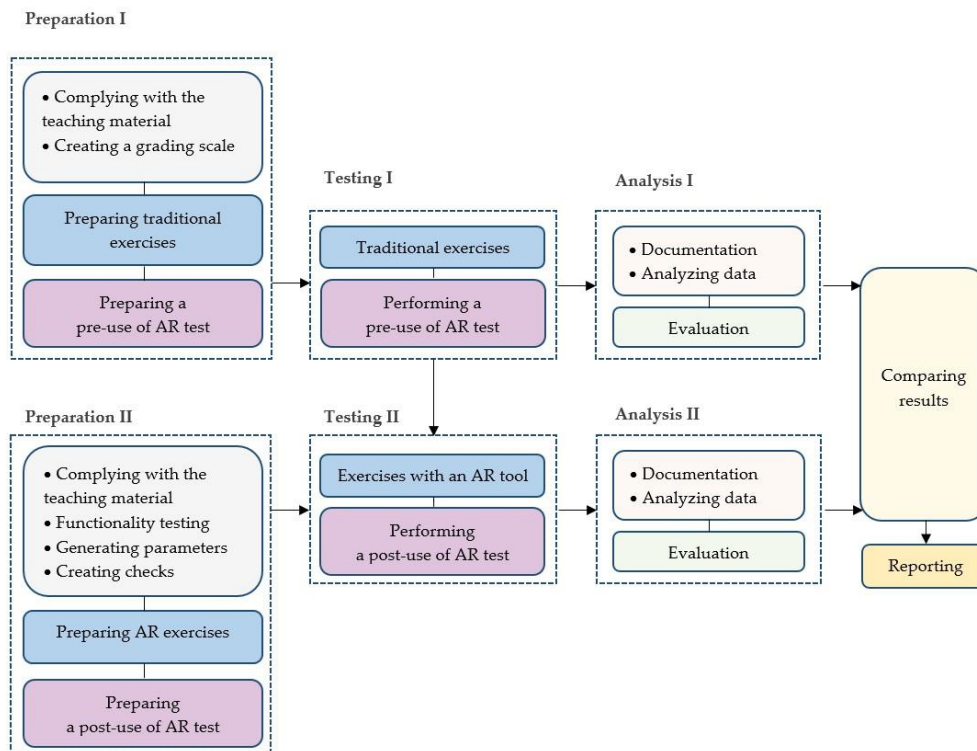


Figure 2.2 A model for using augmented reality in STEM education.

### 2.3 A model for the application of augmented and virtual reality in mathematics education

This part of the dissertation presents a study that aims to investigate the effect of using the Augmented Reality module of GeoGebra (an interactive application designed for learning mathematics and science) on the development of students' spatial mathematical skills through augmented reality.

#### 2.3.1 GeoGebra Augmented Reality (AR) module.

GeoGebra is a well-known dynamic mathematical software for learning and teaching mathematics. GeoGebra 3D is a tool for the visualization of curves and surfaces in three-dimensional space, aimed at facilitating the understanding of abstract and applied geometric concepts [Trigueros, 2019]. The Augmented Reality (AR) application helps visualize mathematical figures and bodies generated by GeoGebra 3D by placing them on a user-selected surface. Tim Brzezinski [Brzezinski] provides many examples of AR modeling.

### 2.3.2 Application of AR GeoGebra.

Two ways to use the AR module are being explored:

- achieving a personalized student learning experience provided by GeoGebra's AR module through the GeoGebra 3D Calculator mobile application.
- a proposal for how teachers can teach and share a stereoscopic 3D experience with their students through the combination of zSpace (an all-in-one solution for AR education), GeoGebra and a dedicated zView camera.

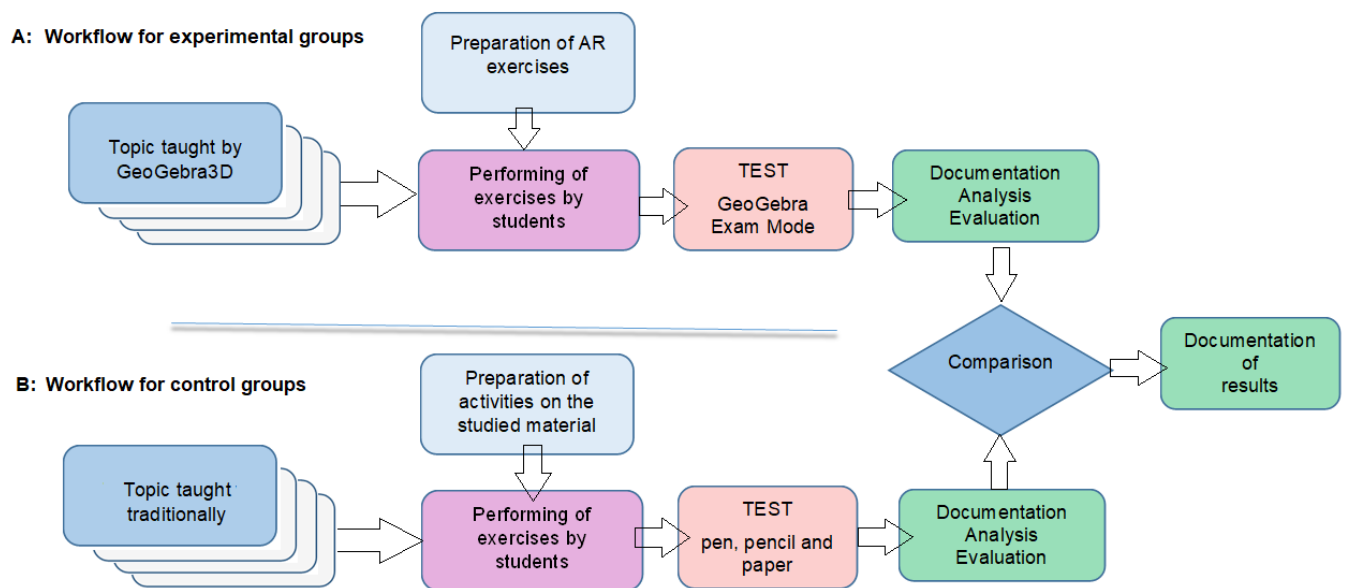


Figure 2.7. A general pattern for using the AR module

The experiment (Fig. 2.7) was validated with 76 participants, the results are shown in the next chapter.

### 2.4 A model for the application of augmented reality in arts education

Augmented reality is based on the concept of experience. The use of AR in education and its wider adoption can truly transform the learning experience.

The model proposed in this dissertation for the use of AR in teaching art classes contains 2 modules. One is to explore physical spaces and artwork in the classroom through the Google Arts & Culture AR application (Fig. 2.8). The other module allows students to create their own AR works by adding a virtual dimension to any artwork, including their own, through animations, video and music. The particular application that can be used is UniteAR. This model was developed (Fig. 2.9):

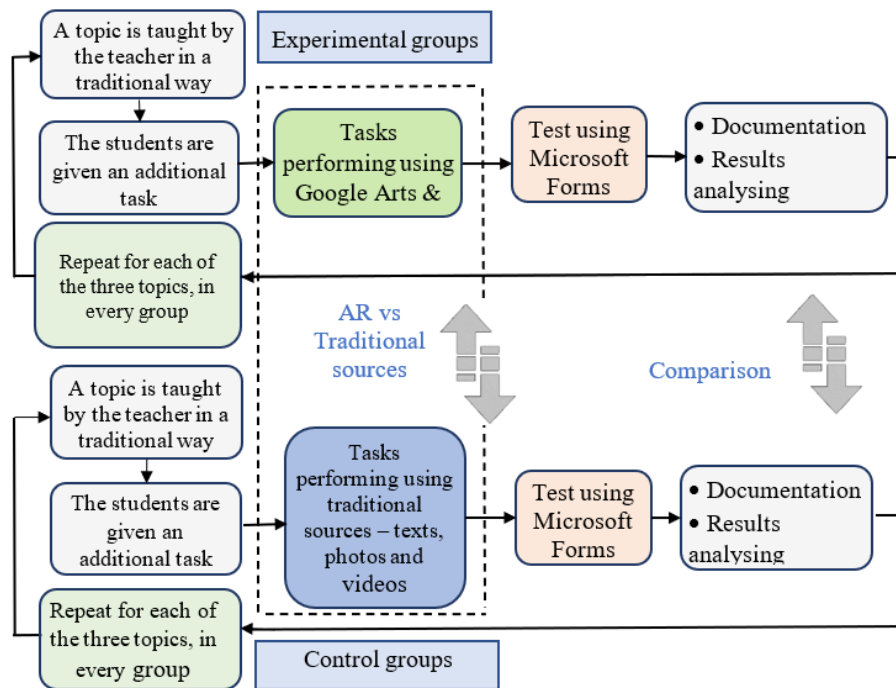


Figure 2.9. A Model of Application of Augmented Reality in Art Education

As various studies have shown, effective arts education, including arts integration across subject areas, promotes active, problem-based inquiry, data collection, evaluation, and communication.

## 2.5 Combination of project-based learning with AR/VR technologies

### 2.5.1 Project-based learning

Project-based learning (PBL) is a learning method in which students acquire knowledge and skills by working over an extended period of time to explore and respond to an authentic, engaging, and complex question, problem, or challenge [Savery, 2006]. In project-based learning, students work in groups to solve really challenging problems that are very often interdisciplinary.

One of the great advantages of PBL is that children learn by becoming "travellers" who travel the world of science, discovering a variety of topics from different subjects, rather than focusing only on a specific lesson being taught at the moment.

### 2.5.2 Combining PBL with VR and AR

In working to improve STEM education through project-based learning combined with virtual and augmented reality, we encounter the root "real" three times—*real problem, virtual reality, and augmented reality*. The real problem is born from the real environment, and virtual and augmented reality contribute to its solution. It is in this territory, where the three "realities"

meet, that the apogee of effectiveness should be expected from combining PBL with VR and AR.

Starting from such assumptions and taking into account that the educational needs and ways of perceiving information of modern students have changed in the last few years, the present study aims to specifically reflect the relationship between the teaching approach of PBL, AR/ VR and STEM learning.

### 2.5.3 Model of usage of PBL and AR/VR

The model for combining PBL with AR/VR is hands-on. The target group is secondary school students studying in three different classes. Students from each class are divided into 4 groups, each of which consists of 6 students - 2 control groups and 2 experimental groups in each class. The students in each of the groups have the task of building a house in which energy is used in a sustainable way and using natural materials.

The project combines knowledge from biology, physics, mathematics, engineering sciences, crafts and applied techniques from the past and present, united around the idea of alternative sources of electricity, about the advantages and disadvantages of green energy.

During the work on the project, the students of the experimental group used AR and VR technologies to explore and compare different house structures and their properties, as well as to look at different cross-sections (Fig. 2.11). Students investigated different ways of air flow in different structures, the pros and cons of natural materials used to build sustainable houses (Fig. 2.12).

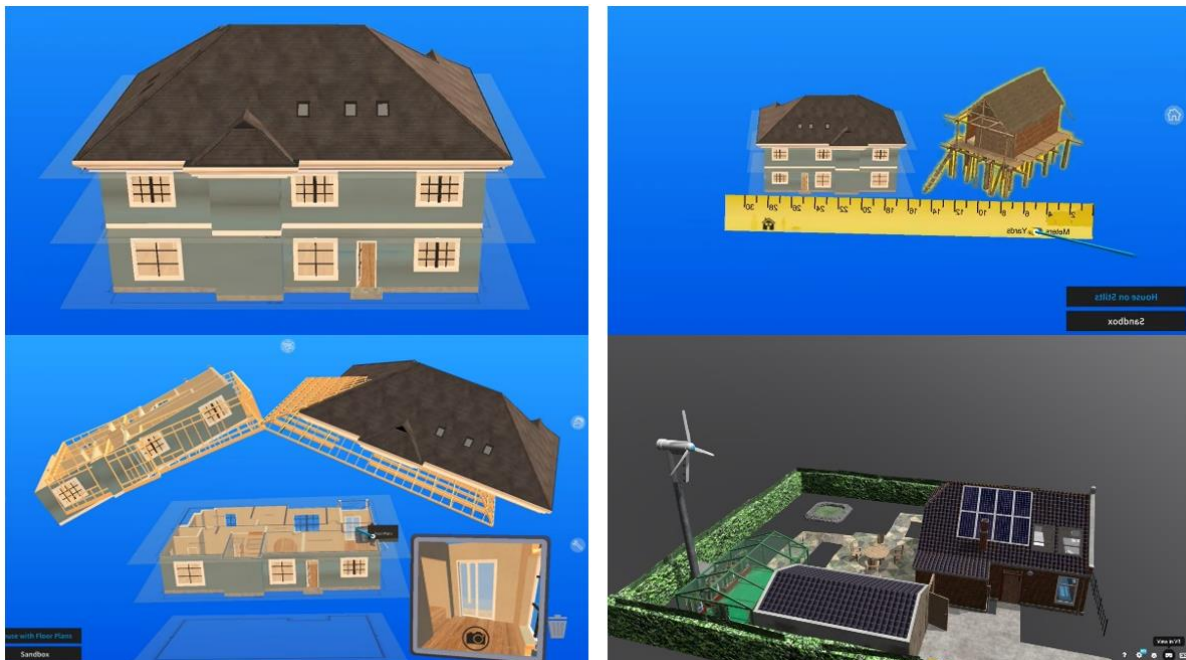


Figure 2.11 Exploring and viewing house structures using AR and VR.





Figure 2.12 A model of a sustainable home built by an experimental group of students.

The workflow model (Fig. 2.13) for the experimental groups is as follows:

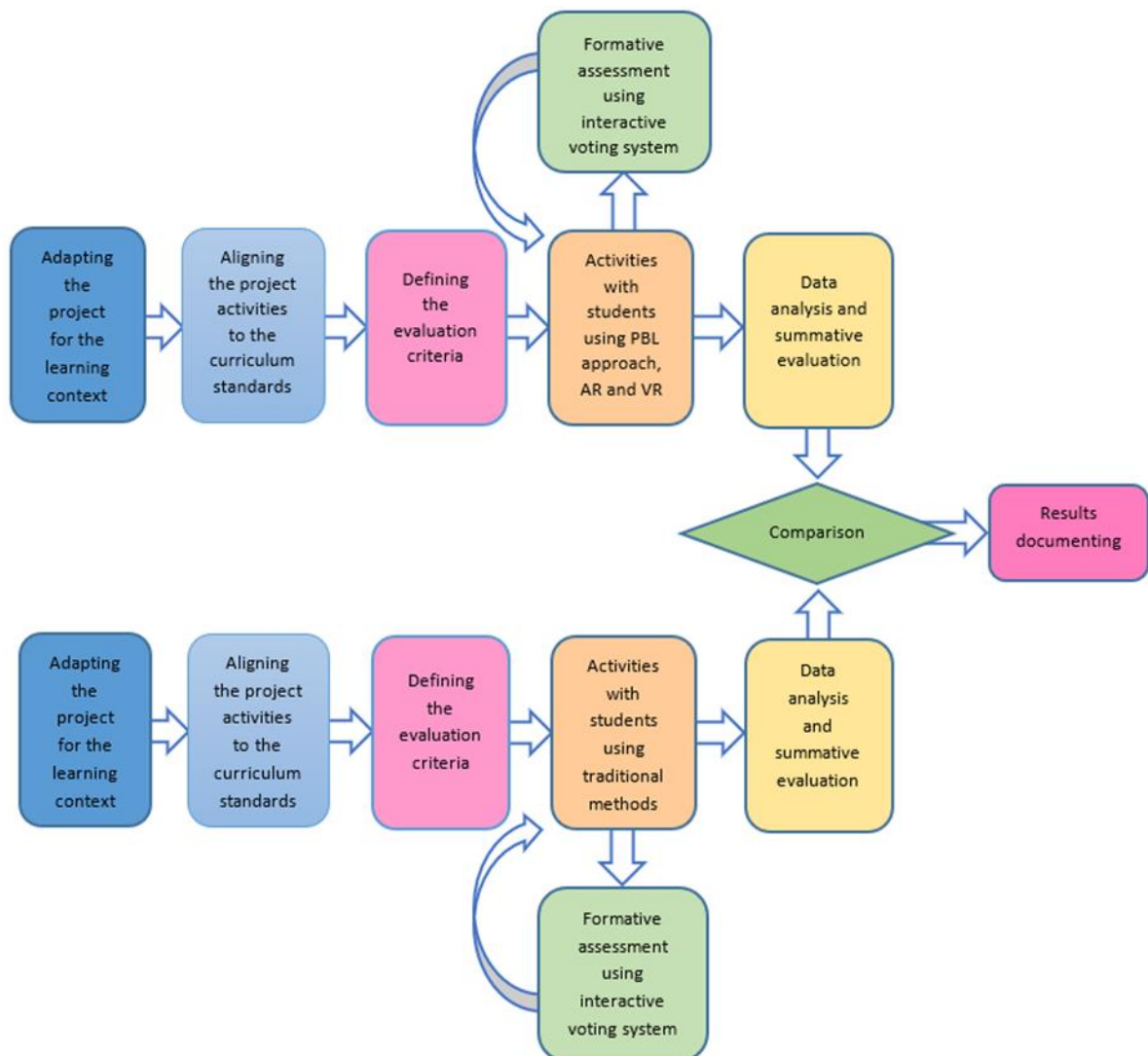


Figure 2.13 The workflow model

## 2.6 Combining AR with specific interior solutions to enrich STEM learning

The interior of the classroom should be conceptualized as a teaching tool that stimulates and supports the entire learning process, and helps establish rational and valuable educational tasks through the various expressive means of art and design.

The misconception that having the best technology in the classroom eliminates the need for beauty and cosiness is widespread. Augmented reality is considered sufficient to give students a sense of completeness both in their surroundings and in the learning process.

The model in which the five-member configuration teacher - student - content - decorative learning environment - added virtuality works will be examined in two classrooms built as a decorated learning environment.



Figure 2.14 The "Fifth Element" in motivation and success

To make this model as effective as possible, the following steps are required in the development of each lesson (Fig. 2.15):



Figure 2.15 The steps of the model



*Figure 2.16 The classroom of Physics and Astronomy before (left) and after the conversion (right)*



*Figure 2.17 The classroom before (left) and after the conversion (right)*



*Figure 2.18 Biology and Health Education Cabinet*

## 2.4 Conclusions

The developed models for the application of AR and VR technologies in various taught disciplines show that the use of augmented and virtual reality can be a very effective tool for personalizing the learning process and promoting inclusive and active learning.

As a result, the following conclusions were drawn:

1. A model for using virtual reality in biology education as part of STEM education is proposed. Experience shows that simulations are a promising way to improve student learning outcomes, especially in STEM subjects;
2. A model for the application of augmented and virtual reality in mathematics education is proposed
3. A model for teaching fine art with AR was developed, which contains two modules - one is for exploring geographically remote physical spaces and artistic works without leaving the classroom, the other is for creating your own artistic works by adding a virtual dimension to any work of art.
4. A methodology for combining project-based learning with the application of augmented and virtual reality tools is proposed.
5. A model for integrating the interaction between the physical environment and AR/VR technologies has been developed.

### **Chapter 3 Evaluating the Effect of AR/VR Application in Learning in Different Subject Areas**

One possible approach to evaluating the effectiveness of a given simulation is to run benchmark tests.

Evaluating whether training objectives have been achieved, especially when a lot of investment has been made in equipment, is critical to the effective use of that equipment. This requires creating an evaluation strategy, collecting evaluation data, and making recommendations for further improvements.

The study evaluates the effect of working in a learning environment augmented with augmented reality and used to improve the learning process and deepen the understanding of the learning material.

#### **3.1 Assessing the application of AR/VR in STEM education**

Participants in the study were high school students, divided into three groups according to their fields of study - humanities, STEM and information technology (IT). These are 3 separate groups of students with specific interests who, at this stage of their studies, had to study the same study material in biology. Participants were required to study course material related to human anatomy during their compulsory biology classes. The number of participants in the groups was as follows: 28, 28 and 24.

The impact on students' progress was measured by tests comparing their results before and after using the AR applications. The AR system used was Zspace® (Figure 3.2).

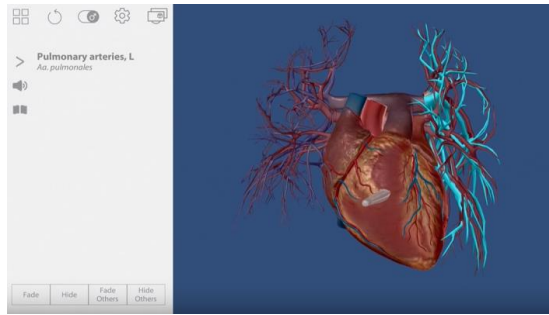


Figure 3.2. Screenshot of an augmented reality (AR) model of the heart and blood vessels

Pearson correlation was calculated:

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

Where  $n$ —number of pairs of scores;  $\sum xy$ —sum of the products of paired scores;  $\sum x$ —sum of  $x$  scores;  $\sum y$ —sum of  $y$  scores;  $\sum x^2$ —sum of squared  $x$  scores;  $\sum y^2$ —sum of squared  $y$  scores. The two variables  $x$  and  $y$  are quantitative and continuous.

The histograms of the results of the 1st group of students are shown in figure 3.3.

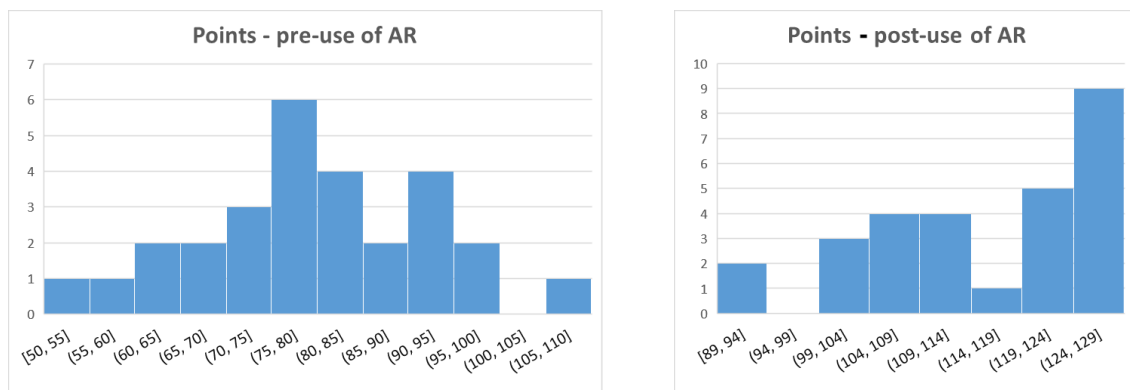


Figure 3.3. Histograms of student group 1 results.

It can be seen that in all three groups, the use of an AR system and environment resulted in a statistically significant difference in students' level of understanding of the learning material compared to traditional text-based and graphic-based learning tools.

### 3.2 Evaluating the effect of the developed models with GeoGebra's AR module

Two ways of using the AR module were explored:

- for a personalized learning experience provided by the AR module to students through the GeoGebra 3D Calculator mobile application.

- through the combination of zSpace (an all-in-one solution for AR education), GeoGebra and a dedicated zView camera.

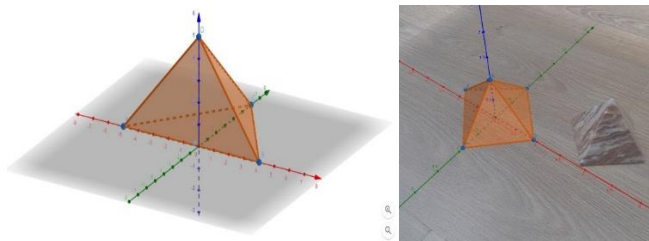


Figure 3.6. A preview of GeoGebra's AR module

In all 3 groups, there was an increase in the score in points. The average percentage increase is almost 30%.

### 3.3 Evaluating the effect of the application of augmented reality in education in the field of arts

This study presents results of the application of AR in the teaching of fine arts according to the curriculum for secondary schools in Bulgaria.

#### 3.3.1 Exploring physical spaces and artwork in the classroom.

The first type of app that was explored in the study allows students to explore physical spaces and artwork while in the classroom.

The tasks that were set for the students related to researching ancient artefacts, a specific art gallery and researching a specific painting.

The app used to explore physical spaces and artwork while in the classroom was *Google Arts & Culture*.

#### 3.3.2 Creation of own works

The second type of application that was studied allows students to create their own AR objects by adding a virtual dimension to any artwork, including self-created animations, videos, and music. The specific application that was tested is UniteAR [<https://www.unitear.com/>]. It is an augmented reality SaaS platform that allows users to create their own AR experiences in literally three clicks.

The following figures show some examples of student work done using an AR application in art classes ( (Fig. 3.7), (Fig. 3.8).

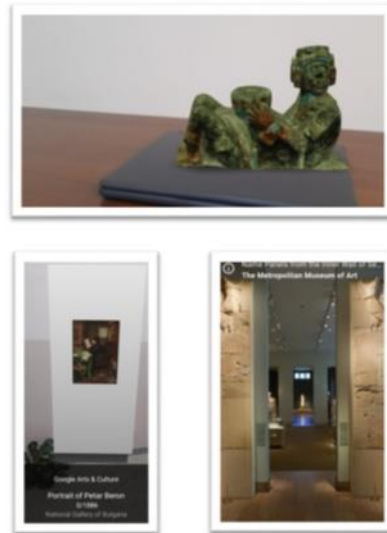


Figure 3.7 Student work done using an AR application in art classes

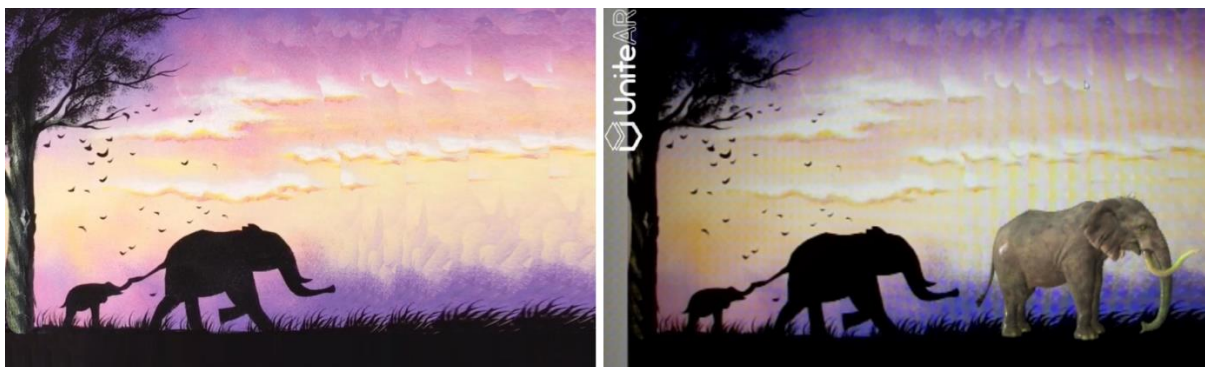


Figure 3.8 A 5th grade student's work with an AR application

Experience shows that a quality AR tool, providing a multidisciplinary approach, with customization options and with many visualization tools, can be very useful for students - to independently plan their work, draw conclusions and learn to express their opinions, by appreciating art-related subjects.

The second experiment showed that average student engagement increased by 27%.

### 3.4 Evaluating the effect of combining project-based learning with AR/VR

Experimental results have shown that integrating such a dynamic classroom approach as project-based learning with appropriate AR/VR applications can unlock and stimulate creativity, increase both student achievement and their motivation to learn.

An increase in points was observed in all 6 groups. The average percentage increase is 28%.

### 3.5 Conclusions

The aim of this research was to investigate the impact of different AR tools on student outcomes. The study showed a significant improvement in students' understanding of the research questions.

In line with other studies, AR/VR technology can not only facilitate teaching processes, but also make them more interesting and motivating. Based on the analysis of data on the effectiveness of learning through the use of AR, it can be confirmed that the integration of this technology into the learning process has a significant impact on student results.

The research showed that AR, especially when used in science education, allows students to explore, practice and interact with content without worrying about financial or ethical issues such as expensive supplies or animal injury. The technology provides many opportunities for experimentation, and in a safe environment. In general, virtual, augmented, and mixed augmented reality tools provide all of these capabilities.

The results achieved by students using the GeoGebra 3D Calculator mobile application are described, along with the personalized learning opportunities it provides and the learning challenges. The possibility of teaching through the augmented reality system zSpace in "3D Grapher" mode, with the 3D module of GeoGebra, was also explored.

Research has been conducted related to the use of augmented reality tools in arts education. The results show that the use of augmented reality can be a very effective tool for personalizing the learning process and promoting inclusive and active learning, and the engagement of learners is increased by 27% compared to that measured using traditional learning methods.

As a result, the following conclusions were drawn:

1. a methodology for evaluating the application and impact of tools for augmented and virtual reality in education in the subjects of biology, mathematics and fine arts is proposed.
2. a method for the combined use of PBL with augmented and virtual reality is proposed.

## Chapter 4. Implementation of educational materials with the means of AR/VR

One of the big questions facing STEM educators is which application or simulation and experimentation environment to use for specific educational needs, and which development environment to use if they decide to create an educational resource themselves. .

Of key importance for the rapid development of these technologies and resources are the characteristics of AR and VR systems and the opportunities they provide to the user, namely:



VR: virtual world, immersive experience, sensory feedback and interactivity.

AR: the ability to combine digital and physical worlds, real-time interactions and accurate 3D identification of virtual and real objects.

#### 4.1 VR tools for training implementation



Figure 4.1 Basic elements of VR

##### 4.1.1 Hardware required to use VR

To use virtual reality, you need special glasses/helmets for virtual reality - VR headset/gear. VR helmets are devices that completely cover the user's eyes. They provide an immersive and captivating experience.

In the field of education, the most popular are helmets used with a mobile phone, as well as those known as "all-in-one" - autonomous helmets that contain everything needed to conduct a specific lesson and allow centralized control by the teacher.

#### 4.2 AR means for the implementation of training

When we talk about augmented reality (AR), we have to keep in mind the two main types of AR technologies – tag-based and tag-free. The choice of technology determines the possibilities and limitations when working with the particular type of AR.

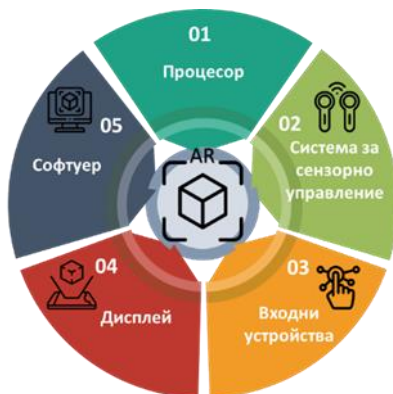


Figure 4.3 Basic elements of AR

#### **4.2.1 Hardware required to use AR**

The use of augmented reality is possible through various end devices.

The first group of AR devices includes smartphones and tablets capable of working with augmented reality.

The second group of AR devices are augmented reality helmets. They allow users to see what's in front of them, but they also overlay digital information.

The third group of AR devices includes systems consisting of several elements - computer system, screen, camera, glasses and various types of sensors. All this is combined with specially developed software, allowing the exploration and interactive interaction with complex 3D structures, as well as conducting various simulations and experiments. One such system on which some of the research in this work is based is zSpace® [zspace.com].

#### **4.3 AR/VR Software Tools and Platforms**

The many applications of AR require specific software and hardware. The software uses the coordinates of the real environment from cameras or other devices, and the goal is to transmit information about the position of the object in an XML file using ARML (Augmented Reality Markup Language).

With the increasing spread and success of AR applications in various fields, there is also a growing need to develop new approaches and technologies to ensure the quality of these applications [Tramontana, 2022].

##### **4.3.1 Development environments for VR and AR applications**

In recent years, numerous VR and AR application development environments have emerged. Among them, there are those designed for both beginners, advanced and professionals, and some of them are also web-based.

*Some of the most popular VR development environments are:*

1. Unity 3D
2. Unreal Engine 4
3. Blender
4. React 360

*Among the most used AR development environments are:*

1. Apple ARKit
2. Google ARCore
3. EasyAR
4. Vuforia

Identifying software suitable for use by such teachers is an important task.

The bottom line is that there are only a few tools for creating educational AR applications targeting the needs of teachers. They are:

1. Vuforia Studio

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

#### 4.4 Bloom's Taxonomy Guidelines for Creating Interactive AR/VR Educational Applications

With the availability of many different options for the use of virtual and augmented reality, it is difficult for most teachers to choose the best technology and find its best application for the specific case.

An updated version of Bloom's Taxonomy [valamis.com, 2022] reflects the entry of new technologies and allows to clarify the learning objectives when applying AR/VR (Fig. 4.5)

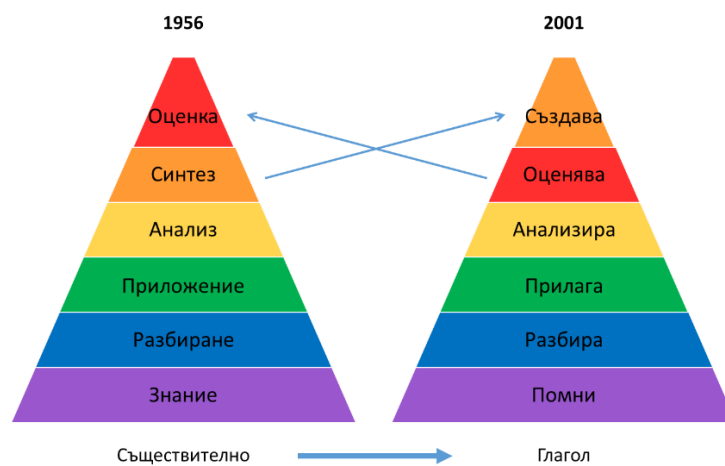


Figure 4.5 Development of Bloom's Taxonomy

#### 4.5 SWOT analysis of the application of AR/VR technologies in education

The results show that the use of XR technology in primary and secondary education is multifaceted, can positively affect the learning outcomes of students, contributes to increasing motivation, engagement and interest [Galati 2019; Simon-Liedtke, 2022; Yin, 2022]. Reality simulation provides a stronger impact on learners than traditional materials; better practical upgrading of theoretical knowledge and economy of materials and safety.

#### 4.6 Conclusions

This chapter summarizes the hands-on experience of the author of this thesis from conducting numerous experiments in a real environment with various AR/VR applications, which forms the conclusions that these applications need descriptions showing which resource, which tool and which activity on which level in Bloom's hierarchy could be used according to educational standards. This would greatly assist educators in making informed choices and providing effective and personalized learning.

## **Conclusion - Summary of the obtained results**

The level of modern computing required to use AR/VR, together with the ubiquity of mobile devices and powerful desktop computing systems, provide new functionalities that can be used in teaching. In the dissertation, models and methods for applying augmented and virtual reality in education are studied in detail. Numerous real-world experiments have been conducted with various AR/VR tools, environments and teaching techniques to achieve a range of learning objectives.

A qualitative and quantitative analysis of the effect of using the proposed models using augmented and virtual reality was made. To achieve different learning goals in different teaching disciplines, as well as for different age groups of students, corresponding models were developed. Experiments conducted in a real learning environment have shown that simulations are a promising way to improve student learning outcomes, especially in STEM subjects. The evaluation of the level of achievement of learning objectives through the use of virtual and augmented reality, and with different approaches in teaching, was carried out with statistical methods.

In this dissertation, it is proposed that the application of AR/VR technologies in education be evaluated in three directions:

- use of AR/VR as additional technological means;
- combining AR/VR technologies with different teaching methods and scenarios;
- combining AR/VR technologies with physical surroundings/environment.

In view of the work carried out in the dissertation and the conclusions obtained in the course of the research and presented above, the following scientific and applied results can be formulated:

1. A model has been developed for using augmented reality in STEM education. The model allows for easy adaptation to the specifics of different STEM disciplines, encouraging creativity and teamwork.

2. A model has been developed for the use of augmented reality in mathematics education. The model allows the use of various augmented reality technologies, making it suitable for application both in the classroom and outside. Enables the use of different educational approaches.

3. A model for using augmented reality in art education is proposed. The model allows the use of both augmented and virtual reality. This makes it flexible and applicable to a very wide range of activities in art education. It enables the use of different educational approaches, encourages creativity, discovery and teamwork.

4. A model for combining project-based learning with augmented and virtual reality was developed. The model is practically oriented and allows the use of a multidisciplinary approach in working with students. Working on a real problem using both types of realities

creates a real sense of experience and successfully addresses an important but intractable problem such as student motivation.

5. Methods for evaluating the implementation of technological means for augmented and virtual reality for certain educational purposes are proposed.

### **Directions for future research**

The main directions for future research on the topic of the dissertation include:

- Exploring the potential of AR/VR to enhance distance learning.
- Integration of AR/VR in the course "Technology Entrepreneurship".
- Integrating AR/VR into veterinary education.
- Exploring the potential of VR to improve students' communication, decision-making and teamwork skills.
- Creating methods and models for using holographic AR in education.

## Publications on the subject of the dissertation

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 - 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 (**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**)

## Citations

**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**

## Cited in:

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](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](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 Sitinjak, 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/jxffcxysj.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](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](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 Alsharoa, Mohamed Johari, Wafa Alashkar, Ahmed Elkilany, and Ahmed Abas. "The Importance of Augmented Reality Technology in Science Education: A Scoping Review" IJJET 2022 Vol.12(9): 956-963 ISSN: 2010-3689 doi: 10.18178/ijjet.2022.12.9.1706, @2022 [Линк](#)
  35. Malek Jdaitawi, Belal Sadiq, Ayat Al Sharoa, 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. HCI 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

**Cited in:**

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](#)

**Participation in projects**

1. National Scientific Program "Information and Communication Technologies for a Single Digital Market in Science, Education and Security (ICTvNOS), task 2.1.2.
2. National Scientific Program "Intelligent Livestock Breeding" (Inte-Zivo), WP 5 and WP 11.

## Bibliography

1. 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
2. Arena F., Collotta M., Pau G., Termine F. (2022) An Overview of Augmented Reality. *Computers*, 11, 28. <https://doi.org/10.3390/computers11020028>
3. Augmented And Virtual Reality Differences And Application In School Programs, <https://elearningindustry.com/augmented-and-virtual-reality-differences-application-school-programs>
4. 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/>
5. Augmented reality in the classroom. <https://www.unitear.com/augmented-reality-ineducation>
6. Bloom, B.S. (1956) Taxonomy of Educational Objectives, Handbook: The Cognitive Domain. David McKay, New York.
7. 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>
8. Brzezinski T. Augmented Reality: Ideas for Student Explorations, (on-line resources) Retrieved from <https://www.geogebra.org/m/RKYFdQJy>
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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
13. 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>
14. Do, K. (2015) 3D Technology at ISTE Cyber Science 3D. 2015. <https://vivedlearning.com/3dtechnology-at-iste-2015-3/>.
15. Galati F., Bigliardi B., Deiana A., Filippelli S., Petroni A. (2019) Pros and Cons of Augmented Reality Ini Education, Proceedings of EDULEARN'19 Conference, Palma, Mallorca, Spain, pp.9165-9168, ISBN: 978-84-09-12031-4
16. Geroimenko, V.(Ed.) (2020) Augmented Reality in Education, A New Technology for Teaching and Learning, Springer Series on Cultural Computing.

17. 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.
18. 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/info100318>
19. 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>
20. Kirkpatrick D. (1954) *Evaluating Human Relations Programs for Industrial Foremen and Supervisors*, Doctoral dissertation.
21. 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
22. Liu D., Dede C., Huang R., Richards J. (Eds.) (2017) *Virtual, Augmented, and Mixed Realities in Education*, Springer Singapore.
23. 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.
24. 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.
25. 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.
26. 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/>.
27. 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.
28. Panciroli C., Macauda 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.
29. 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.
30. 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>
31. 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

32. 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>
33. 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
34. 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
35. 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)
36. 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
37. 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>
38. Savery J. R., (2006) Overview of Problem-based Learning: Definitions and Distinctions. *Journal of Problem-based Learning*, vol. 1, no.1.
39. 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/>.
40. 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](https://doi.org/10.1007/978-3-031-06015-1_9)
41. 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
42. 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.
43. 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>
44. Valamis Learning Solution, (2022) Bloom’s Taxonomy: Revised Levels, Verbs for Objectives, <https://www.valamis.com/hub/blooms-taxonomy>
45. Virtual Reality (VR). Merriam-Webster.com Dictionary, Merriam-Webster. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/VR>
46. 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>

47. zSpace & Standards-Based Instruction (2020)  
[https://cdn.zspace.com/downloads/documentation/standards-based-learning/State\\_by\\_State\\_Standards\\_-\\_NGSS\\_Elementary.pdf](https://cdn.zspace.com/downloads/documentation/standards-based-learning/State_by_State_Standards_-_NGSS_Elementary.pdf)
48. zSpace. Learning through AR/VR Experiences. <https://zspace.com/>



**БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ**

## **АВТОРЕФЕРАТ НА ДИСЕРТАЦИЯ**

за присъждане на образователна и научна степен “доктор” по  
докторска програма “Информатика”

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

*Пламен Димитров Петров*

**Ръководител: Доц. Татяна Атанасова**

**Научно жури:**

Проф. Галя Ангелова

Проф. Радослав Йошинов

Проф. Десислава Панева-Маринова

Проф. Георги Димитров

Доц. Ирина Радева



**Институт по информационни и  
комуникационни технологии**

**Секция „Моделиране и оптимизация”**

## 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 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.

Проучванията, 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 тяхната ползотворна употреба се оказва използваният образователен подход

Настоящият дисертационен труд анализира съществуващи **и предлага 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 учебителни ресурси за определени целеви групи, както и необходимостта от конкретни методи, инструменти, примери за сценарии и подходи, позволяващи ефективното им прилагане в учебителния процес.

Във **втора глава** са представени разработените модели за приложение на добавената 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 забелязани 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.

Технологиите си остават ключов фактор, 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 възможностите, които предлагат новите технологии, е задължително.

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

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

#### 1.1.1 Микрообучение (Microlearning)

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.

#### 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 присъствено обучение и онлайн уроци.

### 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.

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.

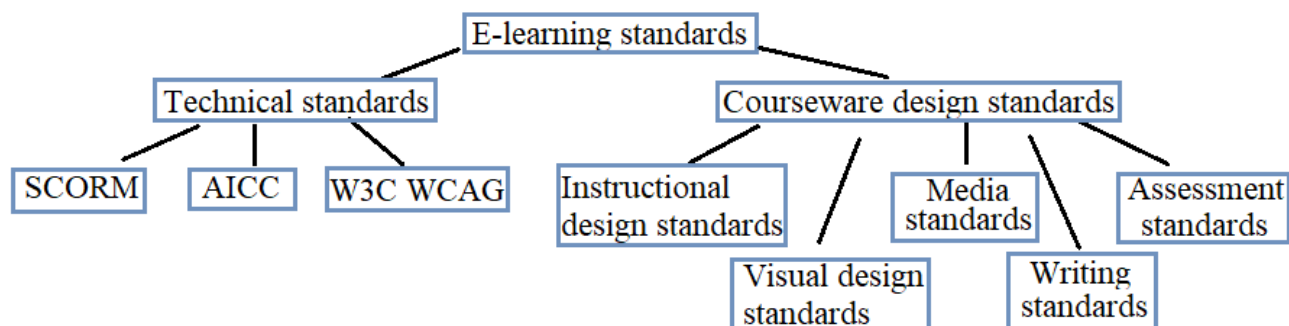
### 1.1.5 Мобилно обучение (Mobile learning)

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.

### 1.1.6 Стандарти за електронно обучение

Насоките за проектиране и разработване на съдържание, разполагането му в платформи и осигуряването 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

### 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.

### 1.1.8 Адаптивно обучение (Adaptive Learning)

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

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

## 1.2 Виртуална, добавена и смесена реалност

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. Усещането за потапяне, постигнато чрез виртуални 3D среди [Do, 2015], предлага множество предимства [Kersten, 2020].

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.

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.

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). Теоретично 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):

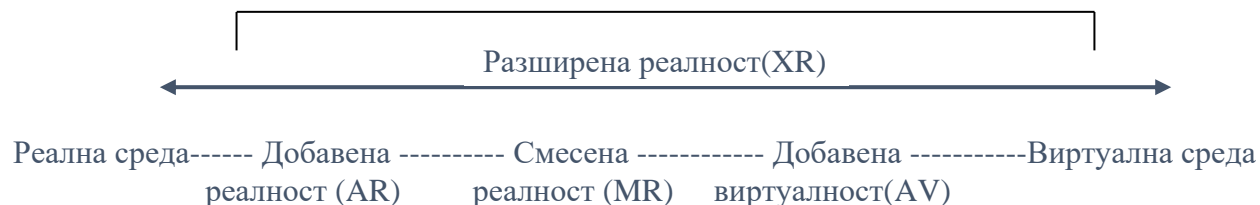
- Реална среда (RE): това е средата, в която живеем, и която се управлява от законите на физиката;
- Добавена реалност (AR): физическа реалност, в която участниците виждат и виртуални елементи;
- Разширена виртуалност (AV): виртуална реалност, в която участниците виждат и реални елементи;
- Виртуална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

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

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).

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

### 1.2.1 AR/VR - Виртуална и добавена реалност в образованието

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].

### 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].

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 рискове 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.

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.

### 1.2.4 Области на приложение на AR и VR в образованието

Едно от нещата, които могат да направят AR технологиите достъпни, е приложението им 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.

Популярността на AR нараства, защото пренася елементи от виртуалния свят в реалния свят, като по този начин подобрява нещата, които виждаме, чуваме и чувстваме.

## 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. Тази 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. 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 повече информация, която е по-значима, към реалните обекти, като по този начин подобрява разбирането на учениците за света, който наблюдават [Del Cerro Velázquez 2018].



Фигура 1.5 Моделът за използване на добавена и виртуална реалност при смесеното 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.

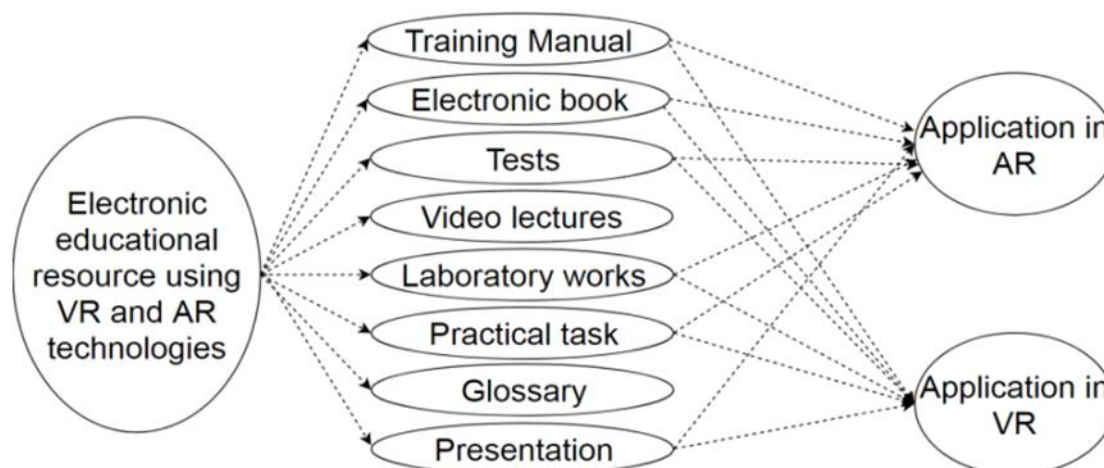


3D технологията на разширената реалност може да се използва като медия за обучение с мобилни телефони или настолни компютри. Моделите с добавена реалност варират както следва:

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

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

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]

### 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 модели и методи 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 съвременни модели и методи на преподаване 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 добавената и виртуалната 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, медирана от разширена 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](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 подхождат към конкретен изследователски въпрос.

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 добавената 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 инструменти върху учебните резултати на учениците.

## 2.1. AR/ VR инструменти

Един от най-успешните примери за AR система е zSpace®. 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).

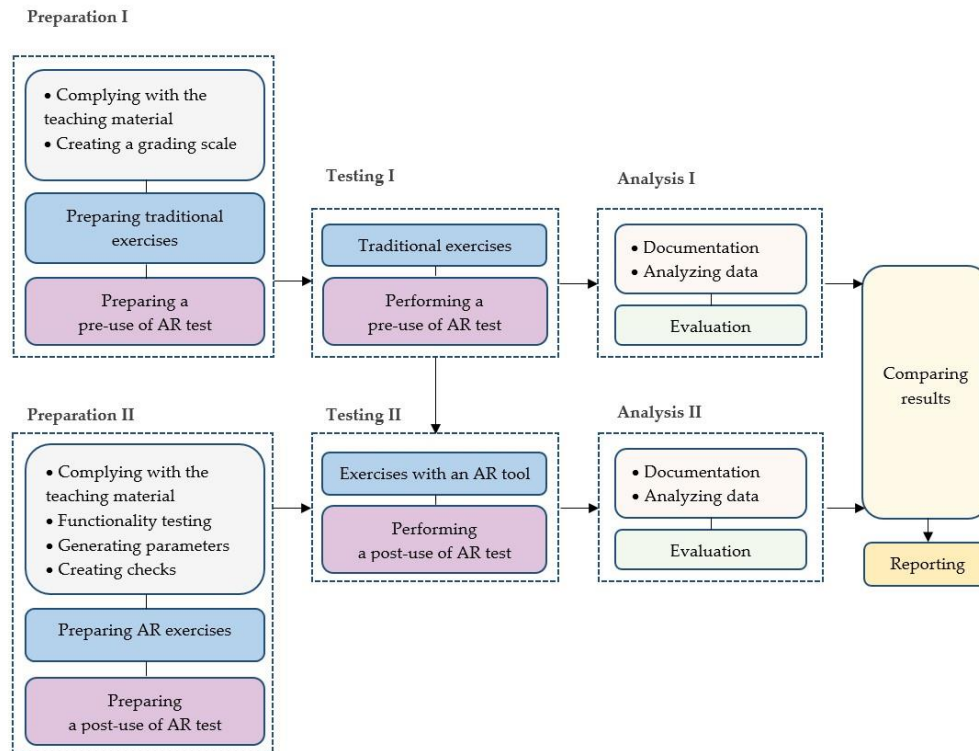


Фигура 2.1. zSpace® решение всичко в едно.

Zspace® се състои от няколко приложения за обучение и симулации.

## 2.2 Модел за приложение на AR/VR в STEM обучение

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:



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

### 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.

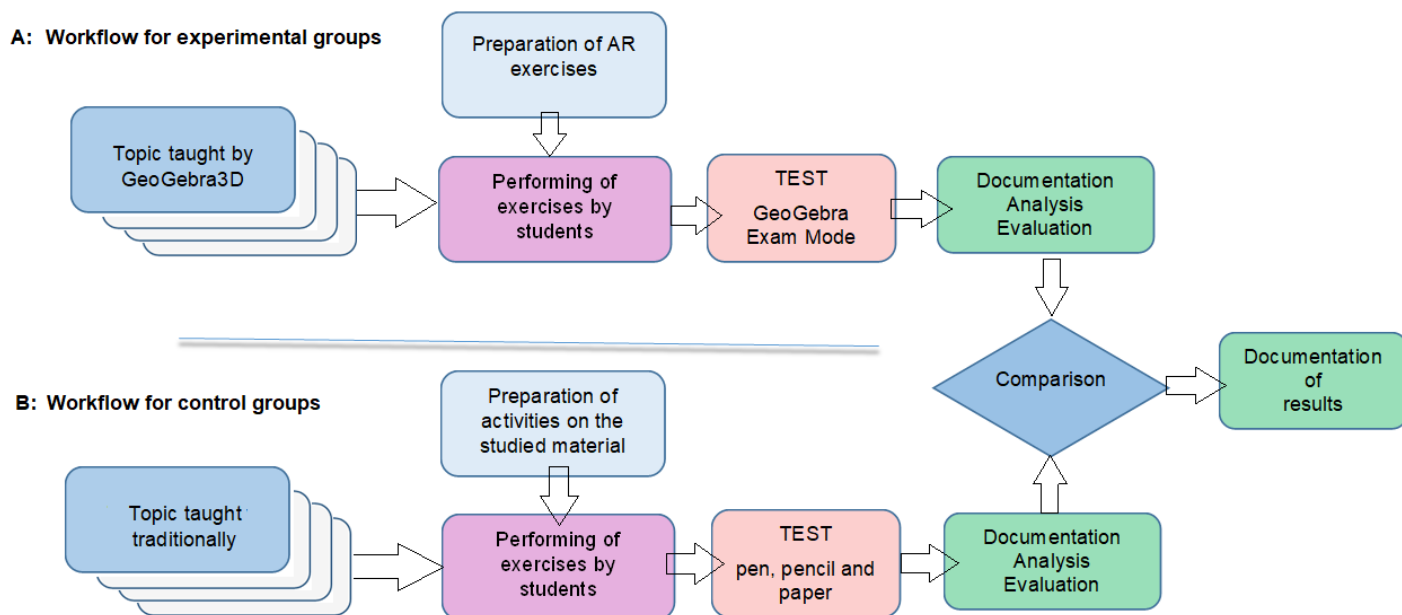
GeoGebra е добре известен динамичен математически софтуер за обучение и преподаване на математика. GeoGebra 3D е инструмент за визуализация на криви и повърхности в триизмерно пространство, насочен към улесняване на разбирането на абстрактни и приложни геометрични понятия [Trigueros, 2019]. Приложението 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.

### 2.3.2 Приложение на AR GeoGebra.

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.



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.

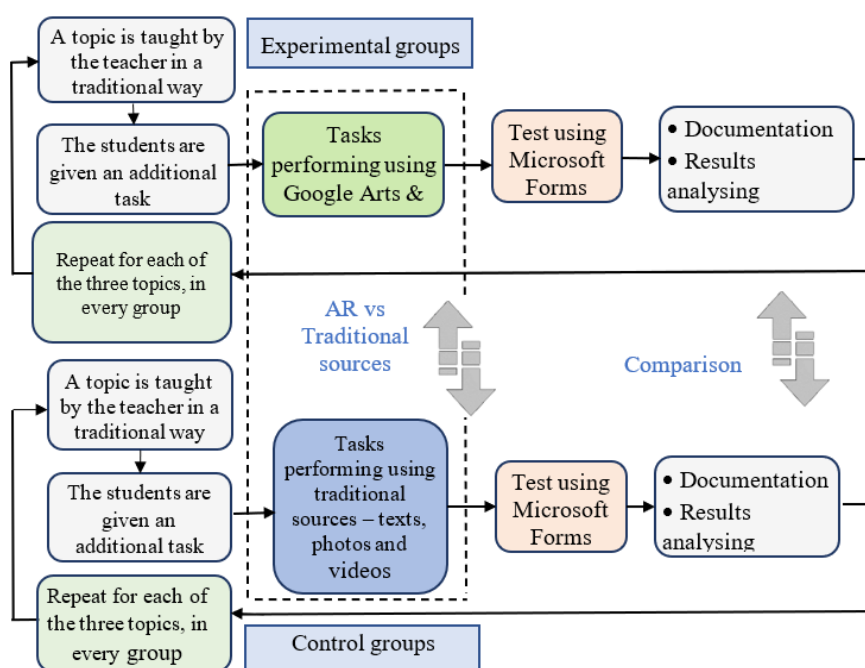
## 2.4 Модел за приложение на добавена реалност в обучението в областта на изкуствата

Добавената реалност се основава на концепцията за преживяване. Използването на AR в образованието и по-широкото ѝ внедряване наистина могат да трансформират опита от ученето.

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).

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.

Беше разработен този модел (фиг. 2.9):



Фигура 2.9. Модел на приложение на добавената реалност при обучение по изкуства

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.

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

### 2.5.1 Проектно-базираното обучение

Проектно-базираното обучение (PBL) 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.

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).

### 2.5.2 Комбиниране на PBL с VR и AR

При работа за подобряване на STEM обучението чрез проектно-базиран подход, комбиниран 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.

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.

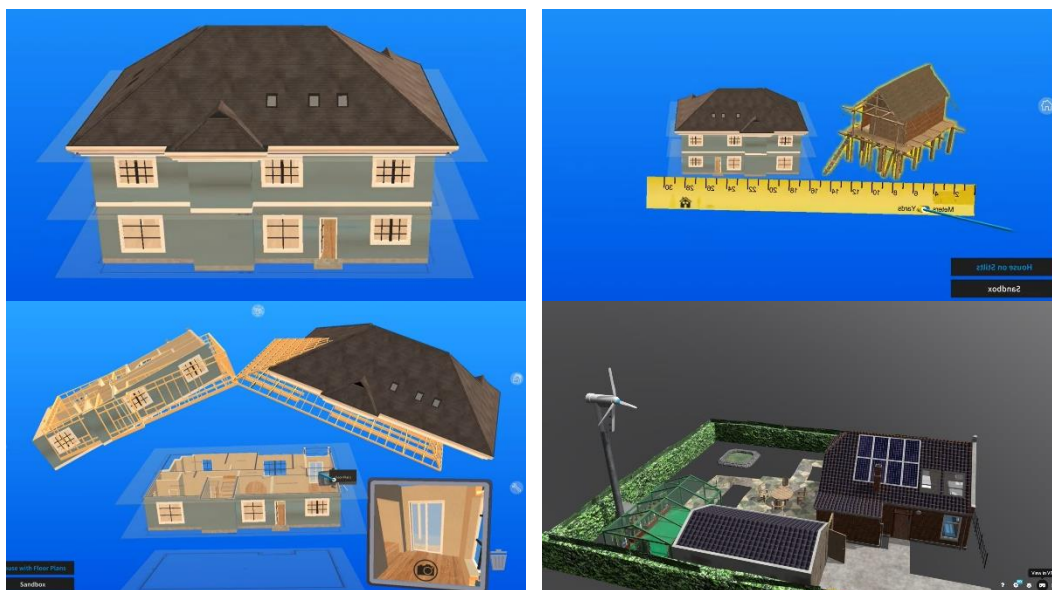
### 2.5.3 Модел на използване на PBL и AR/VR

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. Учениците във всяка от групите имат за задача да построят къща, в която енергията се използва по устойчив начин и използвайки естествени материали.

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.

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 движение на въздушния поток в различни конструкции, плюсовете и минусите на естествените материали, използвани за изграждане на устойчиви къщи (фиг. 2.12).



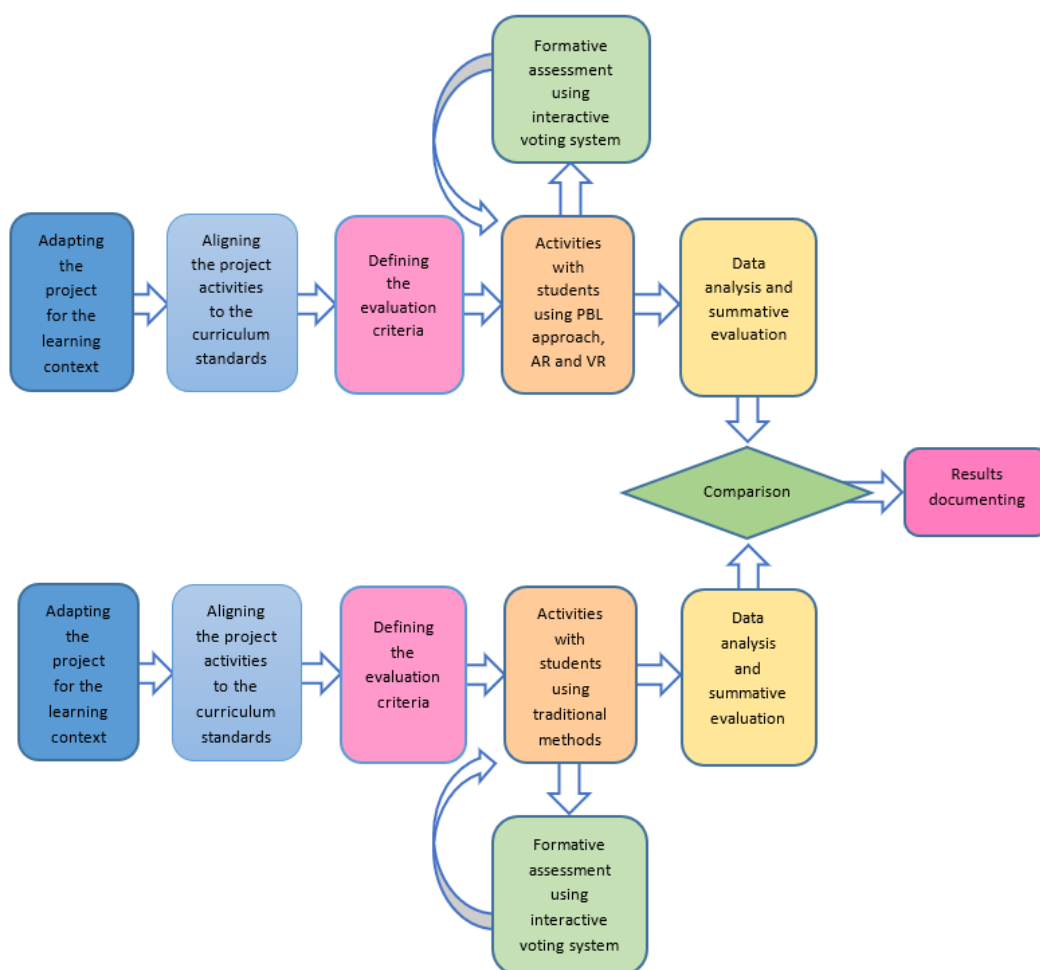
Фигура 2.11 Изследване и преглед на структурите на къщи с помощта на AR и VR.





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:



Фигура 2.13 Моделът на работния процес

## 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.

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.

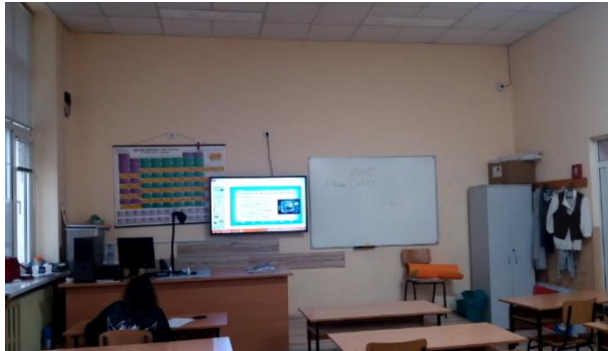


Фигура 2.14 „Петият елемент“ при мотивация и успеваемост

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



Фигура 2.15 Стъпките на модела



*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)*



*Фигура 2.18 Кабинет по Биология и здравно образование*

## 2.7 Изводи

Разработените модели за приложение на AR и VR технологиите в различни преподавани дисциплини показват че, използването на добавена и виртуална реалност може да бъде много ефективно за персонализиране на учебния процес и насърчаване на приобщаващото и активно учене.

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 отдалечени географско физически пространства и артистични произведения без излизане от класната стая, другият е за създаване на собствени артистични произведения чрез добавяне на виртуално измерение към всяко произведение на изкуството.
4. Предложена е методика за комбиниране на проектно-базирано обучение с приложение на инструменти на добавена и виртуална реалност.
5. Разработен е модел за интегриране на взаимодействието между физическата среда и AR/VR технологиите.

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

Един възможен подход за оценка на ефективността на дадена симулация е провеждането на сравнителни тестове.

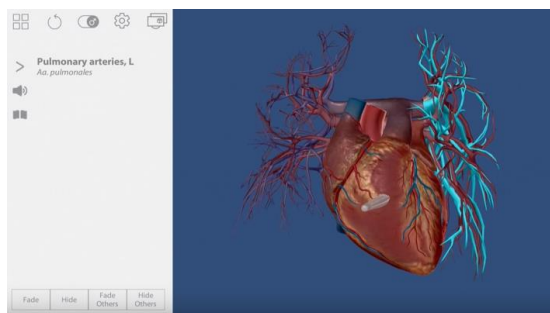
Оценката на това дали целите на обучението са постигнати, особено когато са направени много инвестиции в оборудване, е от решаващо значение за ефективното използване на това оборудване. Това изисква създаване на стратегия за оценка, събиране на данни и даване на препоръки за допълнителни подобрения.

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 същи учебен материал по биология. Участниците трябваше да изучават учебен материал, свързан с човешката анатомия по време на задължителните си уроци по биология. 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).



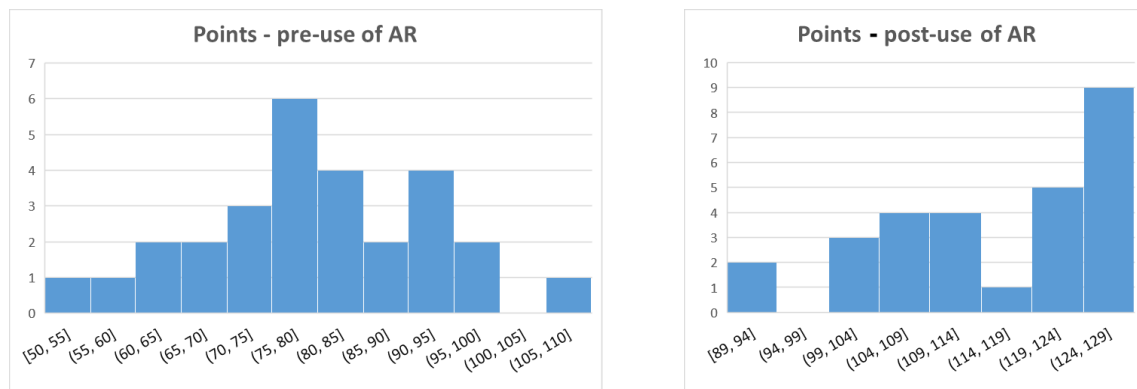
Фигура 3.2. Екранна снимка на модел на разширена реалност (AR) на сърцето и кръвоносните съдове

Изчислена е корелацията на Pearson.

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

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.

Хистограмите на резултатите от 1-ва група ученици са показани на фигура 3.3.



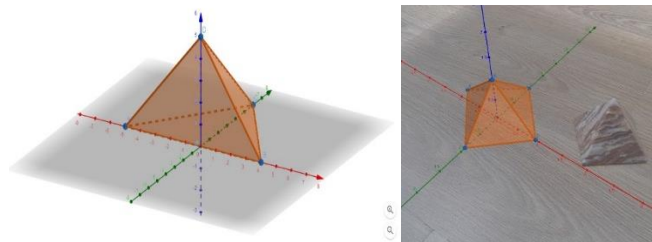
Фигура 3.3. Хистограми на резултатите от ученическа група 1.

Може да се види, че и в трите групи използването на AR система и среда 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.
- чрез комбинацията от zSpace (решение „всичко в едно“ за AR образование), GeoGebra и специална zView камера.



Фигура 3.6. Визуализация на AR модула на GeoGebra

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

### 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.

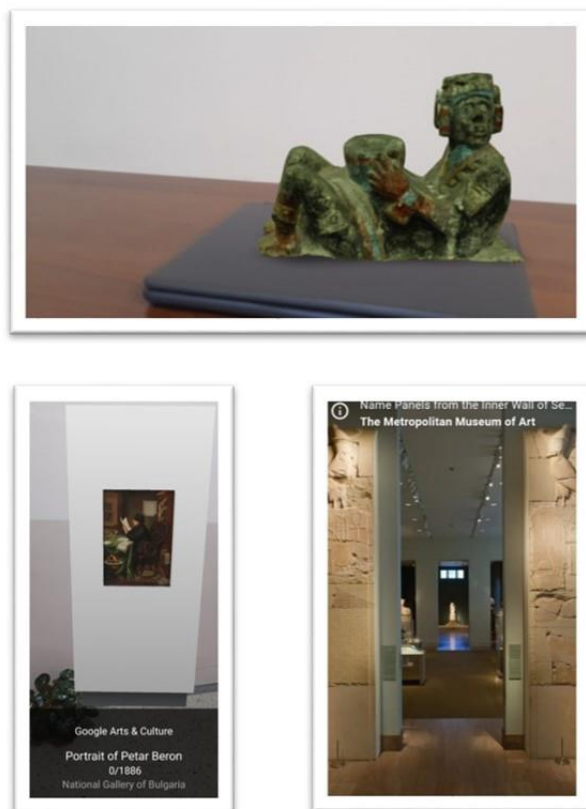
Задачите, които бяха поставени на учениците, се отнасяха до изследване на древни артефакти, на конкретна художествена галерия и на конкретна картина.

Приложението, използвано за изследване на физически пространства и произведения на изкуството докато са в класната стая беше *Google Arts & Culture*.

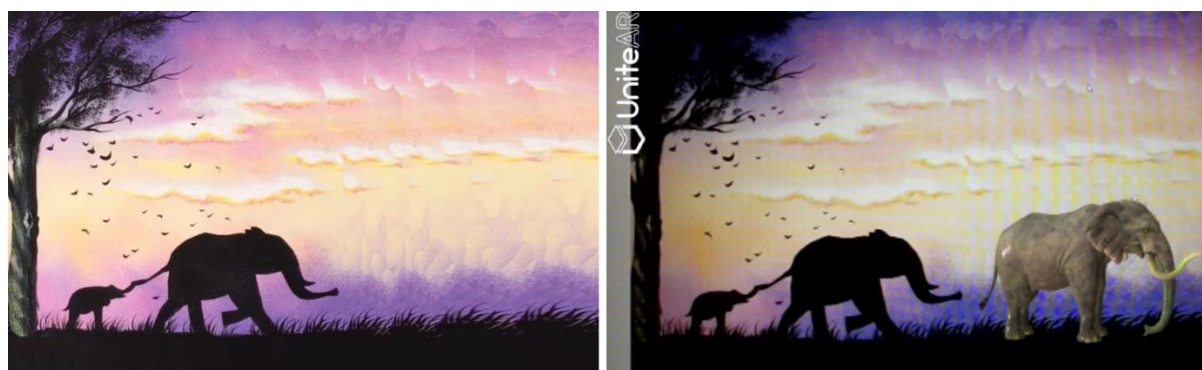
#### 3.3.2 Създаване на собствени произведения

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 разширена реалност, която позволява на потребителите да създават свои собствени AR изживяване буквално с три щраквания.

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

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%.

### 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.

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 резултати на учениците. Проучването показва значително подобрение 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.

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, добавена и смесена реалност осигуряват всички тези възможности.

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. 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 обучаваните 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 виртуалната реалност.

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

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.

От ключово значение за бързото развитие на тези технологии и ресурси 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



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.

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.



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.

*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.

*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 разучаването и интерактивното взаимодействие със сложни 3D структури, както и провеждането на различни симулации и експерименти. Една такава система, на която се базират част от изследванията в тази работа, е zSpace® [zspace.com].

#### 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).

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].

##### 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 уеб базирани.

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

1. Unity 3D
2. Unreal Engine 4

3. Blender
4. React 360

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

1. Apple ARKit
2. Google ARCore
3. EasyAR
4. Vuforia

Идентифицирането на софтуер, подходящ за употреба от такива учители, е важна задача.

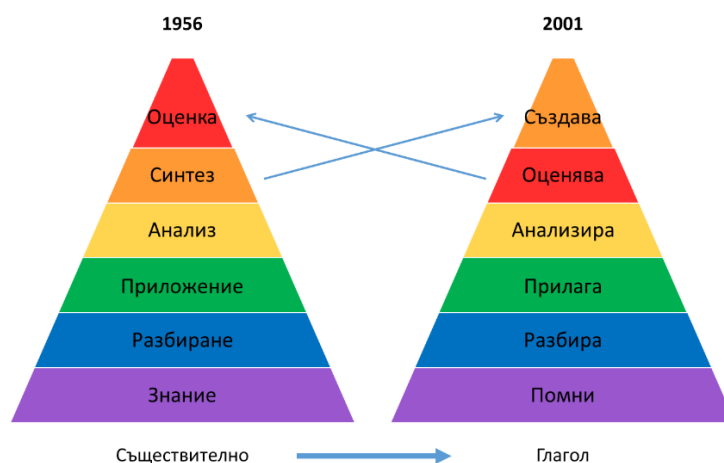
Заклучението е, че има само няколко инструмента за създаване на образователни AR приложения, насочени към нуждите на учителите. Те са:

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.

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

#### 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, както и безопасност.

#### 4.6 Изводи

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, които оформя заключенията, 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.

### Заключение - 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 техники на преподаване с цел 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 образователните резултати на учениците, особено по STEM предмети. Оценяването на нивото на постигане на учебните цели чрез използването на виртуална и добавена реалност, съчетано 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](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](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 Sitinjak, 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](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](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 Alsharoha, 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 Sharoha, 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/V14I1.221137, @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.**

## Библиография

1. 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
2. Arena F., Collotta M., Pau G., Termine F. (2022) An Overview of Augmented Reality. *Computers*, 11, 28. <https://doi.org/10.3390/computers11020028>
3. Augmented And Virtual Reality Differences And Application In School Programs, <https://elearningindustry.com/augmented-and-virtual-reality-differences-application-school-programs>
4. 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/>
5. Augmented reality in the classroom. <https://www.unitear.com/augmented-reality-ineducation>
6. Bloom, B.S. (1956) Taxonomy of Educational Objectives, Handbook: The Cognitive Domain. David McKay, New York.
7. 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>
8. Brzezinski T. Augmented Reality: Ideas for Student Explorations, (on-line resources) Retrieved from <https://www.geogebra.org/m/RKYFdQJy>
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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
13. 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>
14. Do, K. (2015) 3D Technology at ISTE Cyber Science 3D. 2015. <https://vivedlearning.com/3dtechnology-at-iste-2015-3/>.
15. 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
16. Geroimenko, V.(Ed.) (2020) Augmented Reality in Education, A New Technology for Teaching and Learning, Springer Series on Cultural Computing.
17. 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.

18. 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>
19. Kersten, T.P., Edler, D. (2020) Special Issue “Methods and Applications of Virtual and Augmented Reality in Geo-Information Sciences”. *PGF* 88, 119–120. <https://doi.org/10.1007/s41064-020-00109-w>
20. Kirkpatrick D. (1954) *Evaluating Human Relations Programs for Industrial Foremen and Supervisors*, Doctoral dissertation.
21. 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
22. Liu D., Dede C., Huang R., Richards J. (Eds.) (2017) *Virtual, Augmented, and Mixed Realities in Education*, Springer Singapore.
23. 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.
24. 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.
25. 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.
26. 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/>.
27. 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.
28. 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.
29. 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.
30. 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>
31. 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
32. 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>

33. 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
34. 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
35. 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)
36. 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
37. 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>
38. Savery J. R., (2006) Overview of Problem-based Learning: Definitions and Distinctions. *Journal of Problem-based Learning*, vol. 1, no.1.
39. 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/>.
40. 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](https://doi.org/10.1007/978-3-031-06015-1_9)
41. 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
42. 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.
43. 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>
44. Valamis Learning Solution, (2022) Bloom’s Taxonomy: Revised Levels, Verbs for Objectives, <https://www.valamis.com/hub/blooms-taxonomy>
45. Virtual Reality (VR). Merriam-Webster.com Dictionary, Merriam-Webster. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/VR>
46. 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>
47. zSpace & Standards-Based Instruction (2020) [https://cdn.zspace.com/downloads/documentation/standards-based-learning/State\\_by\\_State\\_Standards\\_-\\_NGSS\\_Elementary.pdf](https://cdn.zspace.com/downloads/documentation/standards-based-learning/State_by_State_Standards_-_NGSS_Elementary.pdf)
48. zSpace. Learning through AR/VR Experiences. <https://zspace.com/>



# Abstracts of Dissertations

Number 3, 2023

---

INSTITUTE OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES  
BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

ИНСТИТУТ ПО ИНФОРМАЦИОННИ И КОМУНИКАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ

---

Брой 3, 2023

# Автореферати на дисертации