

STRESZCZENIE

ABSTRACT

SPIS TREŚCI

1.	Wstęp i cel pracy	6
2.	Wprowadzenie do dziedziny	8
2.1.	Rola technologii w edukacji (Konrad Czarnecki)	8
2.1.1.	Nowoczesne metody nauczania matematyki	8
2.1.2.	Gamifinacka w edukacji	9
2.2.	Edukacyjne zastosowania escape roomów (Konrad Czarnecki)	9
2.2.1.	Historia i definicja escape roomu	10
2.2.2.	Escape roomy jako metoda aktywizacji uczniów	10
2.3.	Wirtualna rzeczywistość (Konrad Czarnecki)	11
2.3.1.	Wirtualna rzeczywistość i jej zastosowanie w nauce	11
2.3.2.	Wpływ interaktywności na zaangażowanie gracza	11
3.	Analiza istniejących rozwiązań	13
3.1.	Wirtualne escape roomy	13
3.2.	Przegląd gier edukacyjnych z elementami VR	13
3.2.1.	Blockerzz	13
3.2.2.	Mage Math	13
3.2.3.	EdScape XR	13
3.3.	Wnioski z analizy dostępnych rozwiązań	13
4.	Projekt systemu	14
4.1.	Wymagania funkcjonalne i niefunkcjonalne (Konrad Czarnecki)	14
4.1.1.	Wymagania funkcjonalne	14
4.1.2.	Wymagania niefunkcjonalne	15
4.2.	Scenariusz gry (Konrad Czarnecki)	15
4.3.	Zagadki (Konrad Czarnecki)	16
4.3.1.	Wyrażenia algebraiczne	16
4.3.2.	Planimetria	16
4.3.3.	Równania i nierówności	17
4.3.4.	Funkcje	17
4.3.5.	Geometria analityczna na płaszczyźnie kartezjańskiej	17
4.3.6.	Kombinatoryka	17
4.3.7.	Liczby rzeczywiste	17
4.3.8.	Trygonometria	18
4.3.9.	Ciągi	18
4.3.10.	Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka	18
4.3.11.	Optymalizacja i rachunek różniczkowy	18
4.3.12.	Układy równań	19
4.3.13.	Stereometria	19
4.4.	Model przypadków użycia	19
4.5.	Projekt architektury systemu	19
4.6.	Projekt interfejsu użytkownika i środowiska gry	19

5. Technologie i narzędzia	20
5.1. Silnik gry (Konrad Czarnecki)	20
5.2. Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej (Konrad Czarnecki)	20
5.3. Środowisko 3D (Konrad Czarnecki)	21
5.4. Udźwiękowienie	21
5.5. System kontroli wersji (Konrad Czarnecki)	21
6. Analiza dydaktyczna i potencjał edukacyjny	22
6.1. Motywacja uczniów do nauki matematyki	22
6.2. Możliwość personalizacji i różnicowania poziomu trudności	22
6.3. Wpływ imersji na naukę	22
7. Podsumowanie	23
7.1. Ocena realizacji celów	23
7.2. Propozycje rozwoju projektu	23
7.3. Wnioski końcowe	23
Wykaz literatury	24
Wykaz rysunków	24
Wykaz tabel	25

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ I SKRÓTÓW

Escape room – interaktywna gra, w której gracze rozwiązuje zagadki, by „uciec” z zamkniętego pokoju lub przejść do kolejnego etapu.

VR – wirtualna rzeczywistość, technologia pozwalająca na zanurzenie się w cyfrowym świecie za pomocą gogli i kontrolerów.

Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej – specjalne środowisko lub przestrzeń, gdzie łączy się elementy rzeczywistości wirtualnej i rzeczywistości rzeczywistej, często wykorzystywane do edukacji i interaktywnych doświadczeń.

1. WSTĘP I CEL PRACY

Współczesny rozwój technologii informatycznych i multimedialnych umożliwia tworzenie nowoczesnych, interaktywnych narzędzi wspomagających proces nauczania, które pozwalają uczniom nie tylko na bierne przyswajanie wiedzy, ale również na aktywne uczestnictwo w zajęciach oraz samodzielne rozwiązywanie problemów w angażującym środowisku. W szczególności dynamicznie rozwijające się technologie wirtualnej i rozszerzonej rzeczywistości znajdują coraz szersze zastosowanie nie tylko w przemyśle i rozrywce, lecz również w edukacji na różnych poziomach nauczania. Zastosowanie immersyjnych środowisk w nauczaniu matematyki może znacząco wpływać na wzrost zaangażowania uczniów oraz efektywność przyswajania materiału dydaktycznego.

Matematyka, jako jedna z podstawowych dziedzin nauki, często bywa postrzegana przez uczniów szkół średnich jako przedmiot trudny i mało atrakcyjny. Jednym ze sposobów przełamywania tego stereotypu jest wprowadzenie do procesu dydaktycznego elementów gier edukacyjnych, które poprzez zabawę i rywalizację angażują uczniów do aktywnego rozwiązywania problemów. W ostatnich latach coraz większym zainteresowaniem cieszą się tzw. escape roomy — gry logiczne, w których uczestnicy muszą w określonym czasie rozwiązać serię zagadek i łamigłówek, aby „wydostać się” z wirtualnego lub rzeczywistego pomieszczenia. Włączenie tego typu rozwiązań do nauczania matematyki stwarza szansę na połączenie nauki z zabawą oraz zastosowanie wiedzy teoretycznej w praktycznych sytuacjach problemowych.

Przedmiotem niniejszej pracy jest opracowanie i wykonanie aplikacji stanowiącej wirtualny pokój zagadek matematycznych (ang. escape room), przeznaczonej do działania w systemie jaskiń rzeczywistości wirtualnej dostępnych w Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej (LZWP). Laboratorium to wyposażone jest w nowoczesne rozwiązania umożliwiające projekcję obrazów w technologii VR na ścianach specjalnie przystosowanych pomieszczeń, dając użytkownikowi wrażenie całkowitego zanurzenia w trójwymiarowym środowisku. Aplikacja powinna umożliwiać uczestnikom interakcję z otoczeniem za pomocą kontrolerów ruchu wykorzystywanych w LZWP.

Celem głównym projektu jest stworzenie interaktywnej aplikacji edukacyjnej zawierającej 13 zagadek matematycznych, odpowiadających poszczególnym działom matematyki nauczany w szkołach średnich. Działy te obejmują: liczby rzeczywiste, wyrażenia algebraiczne, równania i nierówności, układy równań, funkcje, ciągi, trygonometrię, planimetrię, geometrię analityczną na płaszczyźnie kartezjańskiej, stereometrię, kombinatorykę, rachunek prawdopodobieństwa i statystykę oraz optymalizację i rachunek różniczkowy.

W ramach realizacji projektu przewidziano następujące etapy prac:

1. Zapoznanie się z funkcjonowaniem systemu jaskiń rzeczywistości wirtualnej dostępnych w LZWP oraz metodami programowania aplikacji dla tego typu środowisk.
2. Opracowanie koncepcji i projektów zagadek matematycznych reprezentujących wymienione działy matematyki, z uwzględnieniem ich formy, poziomu trudności oraz możliwych metod interakcji użytkownika z aplikacją.
3. Konsultacja opracowanych projektów zagadek z dydaktykami matematyki w celu dostosowania ich treści oraz sposobu prezentacji do wymagań programowych i poziomu uczniów szkół średnich.

4. Implementacja aplikacji integrującej wszystkie zaprojektowane i zatwierdzone zagadki w ramach jednego spójnego środowiska wirtualnego escape roomu.

5. Przeprowadzenie testów funkcjonalnych, wydajnościowych oraz badań pilotażowych z udziałem grupy uczniów i dydaktyków w celu weryfikacji poprawności działania aplikacji oraz jej efektywności dydaktycznej.

Ostatecznym rezultatem pracy będzie kompletna, działająca aplikacja edukacyjna przeznaczona do uruchomienia w jaskiniach rzeczywistości wirtualnej, umożliwiająca użytkownikom rozwijanie kompetencji matematycznych w angażującej i nowoczesnej formie. Wnioski płynące z przeprowadzonych badań pilotażowych pozwolą na ocenę przydatności tego typu rozwiązań w praktyce dydaktycznej oraz wskazanie możliwości ich dalszego rozwoju i wykorzystania w nauczaniu przedmiotów ścisłych.

2. WPROWADZENIE DO DZIEDZINY

2.1. Rola technologii w edukacji (Konrad Czarnecki)

Rozwój technologii cyfrowych wywarł ogromny wpływ na niemal wszystkie obszary współczesnego życia, w tym również na edukację. Tradycyjne metody nauczania, oparte w dużej mierze na wykładzie i pracy z podręcznikiem, są coraz częściej wzbogacane lub nawet zastępowane przez nowoczesne narzędzia dydaktyczne, które wspomagają i uatrakcyjnają proces kształcenia. W szczególności technologie informacyjno-komunikacyjne oraz środowiska immersywne, takie jak rzeczywistość wirtualna, rzeczywistość rozszerzona czy rzeczywistość mieszana, stają się istotnym elementem nowoczesnej edukacji.

Współczesne pokolenia uczniów i studentów od najmłodszych lat funkcjonują w środowisku przesyconym technologią i są przyzwyczajeni do interaktywnego oraz multimedialnego przekazu treści. Tradycyjny model nauczania nie zawsze jest w stanie zaspokoić potrzeby poznawcze młodych ludzi, co może prowadzić do spadku motywacji oraz trudności w przyswajaniu wiedzy. Odpowiedzią na to wyzwanie jest integracja narzędzi technologicznych z procesem dydaktycznym, co może przyczynić się do zwiększenia efektywności nauczania, ułatwienia zrozumienia trudnych zagadnień oraz podniesienia ogólnego poziomu zaangażowania uczniów.

Zastosowanie nowoczesnych technologii w edukacji nie tylko wpływa na sposób przekazywania wiedzy, ale również umożliwia tworzenie zupełnie nowych, interaktywnych form kształcenia. Szczególnie istotne znaczenie mają tutaj rozwiązania wykorzystujące elementy gamifikacji oraz immersyjnych doświadczeń edukacyjnych, które pozwalają uczniom wchodzić w bezpośrednią interakcję z materiałem dydaktycznym. W kontekście nauczania matematyki, będącej często postrzeganą jako przedmiot trudny i abstrakcyjny, technologie te mogą odegrać kluczową rolę w budowaniu pozytywnego nastawienia do nauki oraz lepszego zrozumienia prezentowanych treści.

2.1.1. Nowoczesne metody nauczania matematyki

Matematyka, jako dziedzina wymagająca myślenia analitycznego, logicznego rozumowania oraz umiejętności abstrakcyjnego operowania symbolami, od zawsze stawała przed uczniami szczególnie wyzwania. Z tego powodu nauczanie matematyki wymaga nieustannego poszukiwania skutecznych metod dydaktycznych, które nie tylko umożliwiają efektywne przekazanie wiedzy, ale również wzbudzą w uczniach zainteresowanie i motywację do nauki.

Współczesne podejścia do nauczania matematyki coraz częściej odchodzą od modelu opartego wyłącznie na wykładzie i ćwiczeniach przy tablicy, na rzecz metod aktywizujących, w których uczniowie samodzielnie odkrywają zależności matematyczne, rozwiązują problemy oraz współpracują w grupie. Szczególne miejsce wśród nowoczesnych metod zajmują rozwiązania oparte na technologiach komputerowych — aplikacje i platformy edukacyjne, programy do wizualizacji danych matematycznych, a także symulacje i środowiska interaktywne.

Zastosowanie narzędzi interaktywnych pozwala uczniom na dynamiczne eksplorowanie pojęć matematycznych, eksperymentowanie z danymi i obserwowanie skutków wprowadzanych zmian w czasie rzeczywistym. Programy takie jak GeoGebra, Desmos, czy MATLAB wspierają nauczanie

geometrii, analizy matematycznej i algebry w sposób znacznie bardziej przystępny i angażujący niż tradycyjne metody.

Również technologie immersywne, takie jak VR, zyskują coraz większe znaczenie w edukacji matematycznej. Umożliwiają one prezentację skomplikowanych struktur geometrycznych w przestrzeni trójwymiarowej, co szczególnie sprzyja nauczaniu stereometrii czy geometrii analitycznej. Dzięki temu uczniowie mogą lepiej zrozumieć zależności przestrzenne oraz intuicyjnie postrzegać abstrakcyjne pojęcia matematyczne.

2.1.2. *Gamifinacka w edukacji*

Gamifikacja (*ang. gamification*) to zastosowanie mechanizmów znanych z gier komputerowych i planszowych w kontekście niezwiązanym bezpośrednio z grami, takim jak edukacja, zarządzanie czy marketing. W praktyce oznacza to wprowadzanie elementów takich jak punkty, poziomy trudności, nagrody, rankingi czy wyzwania do tradycyjnych zadań edukacyjnych, co ma na celu zwiększenie motywacji, zaangażowania i satysfakcji uczestników procesu nauczania.

W edukacji gamifikacja znajduje szerokie zastosowanie, zwłaszcza w pracy z uczniami szkół podstawowych i średnich. Wprowadzenie grywalizacji do lekcji pozwala uczniom uczestniczyć w nauce w sposób bardziej aktywny i emocjonalnie zaangażowany. Zamiast biernego słuchania wykładu czy rozwiązywania zadań z podręcznika, uczniowie mogą wcielać się w bohaterów gier, zdobywać osiągnięcia i rywalizować z rówieśnikami w przyjazny sposób.

W kontekście nauczania matematyki, gamifikacja może znaczco ułatwić przyswajanie skomplikowanych treści. Zagadki logiczne, łamigłówki, quizy punktowane czy interaktywne escape roomy są przykładami narzędzi, które pozwalają uczniom na wykorzystanie wiedzy matematycznej w kontekście gry. Dzięki temu uczniowie nie tylko uczą się rozwiązywać konkretne typy zadań, ale także rozwijają umiejętności analitycznego myślenia, pracy zespołowej oraz podejmowania decyzji.

W szczególności w środowiskach immersyjnych, takich jak wirtualna rzeczywistość, gamifikacja osiąga nowy wymiar. Połączenie mechanizmów gry z wciągającym, interaktywnym środowiskiem pozwala użytkownikom na budowanie trwałych, pozytywnych skojarzeń z procesem nauki. Tego typu rozwiązania nie tylko zwiększają atrakcyjność zajęć, ale również mogą pozytywnie wpływać na wyniki edukacyjne i długofalowe postawy wobec nauki matematyki.

2.2. *Edukacyjne zastosowania escape roomów (Konrad Czarnecki)*

W ostatnich latach obserwuje się dynamiczny rozwój innowacyjnych metod dydaktycznych, które mają na celu zwiększenie zaangażowania uczniów oraz poprawę efektywności procesu nauczania. Jedną z takich metod są escape roomy, które pierwotnie funkcjonowały jako forma rozrywki, a z czasem zyskały również uznanie w środowisku edukacyjnym. Dzięki swojej interaktywnej i zespołowej formie, pokoje zagadek umożliwiają uczniom zdobywanie wiedzy oraz rozwijanie kompetencji miękkich w sposób atrakcyjny i emocjonujący.

Escape roomy w edukacji mogą przybierać różnorodne formy — od tradycyjnych wersji stacjonarnych, przez mobilne zestawy dydaktyczne, aż po aplikacje komputerowe i środowiska wirtualnej rzeczywistości. Ich celem jest nie tylko przekazywanie wiedzy merytorycznej, lecz także kształcenie umiejętności pracy zespołowej, logicznego myślenia, zarządzania czasem oraz podejmowania decyzji pod presją. Dlatego coraz częściej wykorzystywane są one w szkołach, na uczelniach wyższych oraz podczas szkoleń i warsztatów.

W kontekście nauczania matematyki escape roomy stanowią wyjątkowo wartościowe narzędzie. Zagadki oparte na treściach matematycznych wymagają od uczestników nie tylko opanowania materiału, ale również zastosowania wiedzy w praktyce, co sprzyja utrwalaniu wiadomości oraz rozwijaniu umiejętności rozwiązywania problemów. Połączenie elementów gry z edukacją umożliwia uczniom naukę w przyjaznej atmosferze i sprzyja budowaniu pozytywnego nastawienia do przedmiotów ścisłych.

2.2.1. Historia i definicja escape roomu

Escape room, znany również jako pokój zagadek lub gra typu „ucieczka z pokoju”, to interaktywna forma rozrywki polegająca na rozwiązywaniu serii łamigłówek i zadań logicznych w określonym czasie, aby wydostać się z zamkniętego pomieszczenia lub osiągnąć inny wyznaczony cel fabularny.

Pierwszy fizyczny escape room powstał w 2007 roku w Kioto w Japonii, a jego twórcą był Takao Kato, który postanowił przenieść ideę wirtualnej gry do świata rzeczywistego. Projekt szybko zyskał popularność, a w kolejnych latach podobne pokoje zaczęły powstawać w innych krajach azjatyckich, a następnie w Europie i Ameryce Północnej. Do Polski pierwsze escape roomy dotarły w 2014 roku i od tego czasu cieszą się dużym zainteresowaniem zarówno wśród młodzieży, jak i dorosłych.

Z czasem, obok komercyjnych pokoi zagadek, zaczęły pojawiać się również wersje edukacyjne, dostosowane do potrzeb szkół i uczelni. Edukacyjne escape roomy różnią się od wersji rozrywkowych tym, że ich głównym celem nie jest zabawa, lecz przekazanie wiedzy oraz rozwijanie określonych kompetencji. Zagadki w tego typu pokojach są projektowane w taki sposób, aby uczestnicy mogli przyswajać treści z wybranych dziedzin nauki podczas rozwiązywania interaktywnych zadań. Coraz częściej wykorzystywane są one także w środowiskach cyfrowych oraz w wirtualnej rzeczywistości, co dodatkowo zwiększa ich dostępność i atrakcyjność.

2.2.2. Escape roomy jako metoda aktywizacji uczniów

Jednym z największych wyzwań współczesnej edukacji jest utrzymanie wysokiego poziomu zaangażowania uczniów oraz motywowanie ich do aktywnego uczestnictwa w zajęciach. W tym kontekście escape roomy stanowią skutecną metodę dydaktyczną, która pozwala na połączenie nauki z emocjonującą formą zabawy. Dzięki swojej interaktywnej strukturze i zespołowemu charakterowi, pokoje zagadek mobilizują uczestników do współpracy, komunikacji oraz kreatywnego rozwiązywania problemów.

Z punktu widzenia dydaktyki escape roomy wspierają rozwój kompetencji kluczowych, takich jak logiczne myślenie, umiejętność analizowania i syntetyzowania informacji, podejmowanie decyzji pod presją czasu oraz zarządzanie zadaniami w zespole. Dodatkowo umożliwiają uczniom zastosowanie zdobytej wiedzy teoretycznej w praktyce, co znacząco wpływa na trwałość zapamiętywania materiału i lepsze zrozumienie omawianych treści.

W szczególności istotne znaczenie mają escape roomy realizowane w środowisku rzeczywistości wirtualnej. Dzięki immersijnemu charakterowi takich aplikacji uczestnicy mogą zanurzyć się w wirtualnym świecie, w którym zagadki matematyczne są częścią spójnej fabuły. Tego typu doświadczenie nie tylko zwiększa atrakcyjność nauki, ale również wzmacnia motywację wewnętrzną uczniów, którzy postrzegają naukę jako przygodę i wyzwanie, a nie obowiązek.

2.3. Wirtualna rzeczywistość (Konrad Czarnecki)

Współczesna edukacja coraz śmielej sięga po nowoczesne technologie, które pozwalają nie tylko wzbogacić proces nauczania, ale również znaczowo zwiększyć zaangażowanie uczniów. Jednym z najbardziej dynamicznie rozwijających się obszarów w tym zakresie są technologie immersywne, do których zalicza się wirtualną rzeczywistość, rzeczywistość rozszerzoną oraz rzeczywistość mieszaną. Ich wspólną cechą jest zdolność do tworzenia interaktywnych środowisk, w których użytkownik ma wrażenie pełnego zanurzenia w generowanym komputerowo świecie.

W kontekście edukacyjnym szczególnie istotne jest połączenie immersji z interaktywnością, czyli możliwością bezpośredniego wpływu na elementy wirtualnego środowiska. Interaktywne aplikacje VR sprzyjają aktywnej nauce poprzez angażowanie użytkownika w proces rozwiązywania problemów, podejmowania decyzji i wykonywania zadań w czasie rzeczywistym. Taka forma edukacji nie tylko zwiększa efektywność przyswajania wiedzy, ale również pozytywnie wpływa na motywację i postawy uczniów wobec nauki.

2.3.1. Wirtualna rzeczywistość i jej zastosowanie w nauce

Wirtualna rzeczywistość to technologia umożliwiająca tworzenie komputerowo generowanych środowisk trójwymiarowych, z którymi użytkownik może wchodzić w interakcję w czasie rzeczywistym. Dzięki zastosowaniu gogli VR oraz kontrolerów ruchu możliwe jest odwzorowanie ruchów użytkownika w przestrzeni wirtualnej, co pozwala na pełne zanurzenie w symulowanym środowisku. Technologie VR znajdują zastosowanie nie tylko w rozrywce, ale również w przemyśle, medycynie, wojsku oraz, coraz częściej, w edukacji.

W środowisku edukacyjnym wirtualna rzeczywistość oferuje szerokie możliwości w zakresie tworzenia interaktywnych laboratoriów, symulacji zjawisk fizycznych, rekonstrukcji historycznych czy wirtualnych wycieczek. Uczniowie mogą dzięki niej eksplorować trudno dostępne miejsca, takie jak wnętrze ludzkiego organizmu, przestrzeń kosmiczną, odległe zakątki świata lub historyczne budowle, co znacząco wzbogaca tradycyjny proces dydaktyczny.

W przypadku dydaktyki matematyki VR pozwala na wizualizację skomplikowanych zagadnień geometrycznych, przestrzennych oraz analitycznych w atrakcyjnej i przystępnej formie. Uczniowie mogą w wirtualnym środowisku manipulować bryłami, obserwować zmiany funkcji w czasie rzeczywistym czy uczestniczyć w interaktywnych grach logicznych i escape roomach matematycznych. Dzięki temu abstrakcyjne treści stają się bardziej zrozumiałe i łatwiejsze do przyswojenia, co przekłada się na lepsze wyniki w nauce oraz pozytywnie wpływa na rozwój umiejętności analitycznego myślenia.

2.3.2. Wpływ interaktywności na zaangażowanie gracza

Interaktywność stanowi jeden z kluczowych elementów nowoczesnych metod dydaktycznych, w tym również aplikacji wykorzystujących technologię wirtualnej rzeczywistości. Oznacza ona możliwość aktywnego uczestniczenia ucznia w procesie dydaktycznym poprzez bezpośrednie oddziaływanie na środowisko edukacyjne, podejmowanie decyzji oraz realizację zadań w czasie rzeczywistym. W przeciwieństwie do pasywnego odbioru treści w tradycyjnych formach nauczania, interaktywne środowiska angażują uczniów na wielu płaszczyznach — poznawczej, emocjonalnej i motorycznej.

Z perspektywy pedagogicznej interaktywność sprzyja rozwijaniu kompetencji poznawczych,

takich jak krytyczne myślenie, umiejętność analizy danych, wyciągania wniosków czy rozwiązywanie problemów. Uczniowie uczestniczący w interaktywnych lekcjach częściej angażują się w zadania, są bardziej zmotywowani do podejmowania wyzwań i wykazują większą samodzielność w poszukiwaniu rozwiązań.

W przypadku zastosowań wirtualnej rzeczywistości, interaktywność przybiera różnorodne formy — od prostych gestów i ruchów wykonywanych za pomocą kontrolerów, przez manipulowanie obiektyami w przestrzeni wirtualnej, aż po rozwiązywanie zagadek i wykonywanie eksperymentów. Szczególnie efektywne okazują się aplikacje edukacyjne, które łączą elementy gry z nauką, umożliwiając użytkownikom rywalizację, zdobywanie punktów, odblokowywanie kolejnych poziomów czy rozwiązywanie zagadek fabularnych.

Środowiska edukacyjne o wysokim stopniu interaktywności znaczaco zwiększały motywację wewnętrzną oraz podnoszą poziom satysfakcji z nauki. Uczniowie mają również większą łatwość w przyswajaniu wiedzy oraz częściej uczestniczą w zajęciach, co pozytywnie wpływa na ogólne efekty dydaktyczne.

W kontekście projektowanej aplikacji typu escape room dla jaskini rzeczywistości wirtualnej, wysoki poziom interaktywności będzie kluczowym elementem wpływającym na atrakcyjność i skuteczność dydaktyczną opracowanego rozwiązania. Możliwość bezpośredniego wpływu na otoczenie, rozwiązywania zagadek matematycznych w przestrzeni wirtualnej oraz współpracy z innymi uczestnikami w czasie rzeczywistym stworzy warunki sprzyjające aktywnej, angażującej nauce i rozwijaniu kompetencji.

3. ANALIZA ISTNIEJĄCYCH ROZWIĄZAŃ

3.1. *Wirtualne escape roomy*

3.2. *Przegląd gier edukacyjnych z elementami VR*

3.2.1. *Blockerzz*

3.2.2. *Mage Math*

3.2.3. *EdScape XR*

3.3. *Wnioski z analizy dostępnych rozwiązań*

4. PROJEKT SYSTEMU

4.1. Wymagania funkcjonalne i niefunkcjonalne (Konrad Czarnecki)

Przed przystąpieniem do implementacji aplikacji edukacyjnej w formie escape roomu w środowisku rzeczywistości wirtualnej konieczne było precyzyjne określenie wymagań funkcjonalnych i niefunkcjonalnych, jakie powinna spełniać projektowana aplikacja. Zdefiniowanie wymagań pozwala na kontrolowanie procesu realizacji projektu, zapewnia jego zgodność z oczekiwaniami użytkowników końcowych oraz umożliwia przeprowadzenie testów walidacyjnych w końcowej fazie prac.

4.1.1. Wymagania funkcjonalne

Wymagania funkcjonalne określają, jakie działania użytkownik może wykonać w aplikacji oraz jakie funkcje powinna ona realizować. W przypadku projektowanej aplikacji escape room VR wymagania te obejmują:

Wyświetlanie wirtualnego środowiska escape roomu – Aplikacja powinna umożliwiać użytkownikowi poruszanie się po wirtualnym pokoju zagadek, obejmującym zestaw pomieszczeń związanych z różnymi działami matematyki.

Realizacja 13 zagadek matematycznych – Aplikacja musi zawierać 13 interaktywnych zagadek, po jednej dla każdego z wybranych działów matematyki: liczby rzeczywiste, wyrażenia algebraiczne, równania i nierówności, układy równań, funkcje, ciągi, trygonometria, planimetria, geometria analityczna, stereometria, kombinatoryka, rachunek prawdopodobieństwa i statystyka oraz optymalizacja i rachunek różniczkowy.

Interaktywność zagadek – Każda zagadka powinna wymagać od użytkownika aktywnej interakcji z otoczeniem wirtualnym, np. manipulowania obiektyami, wpisywania odpowiedzi czy przedstawiania elementów.

System weryfikacji poprawności odpowiedzi – Aplikacja powinna sprawdzać poprawność rozwiązań podawanych przez użytkownika oraz wyświetlać komunikaty informujące o sukcesie lub błędzie.

Podpowiedzi dla użytkownika – Każda zagadka powinna posiadać system podpowiedzi (tekstowych lub dźwiękowych), które użytkownik może wywołać w razie trudności z rozwiązaniem zadania.

Śledzenie postępu użytkownika – System powinien zapamiętywać, które zagadki zostały już rozwiązane, i odblokowywać dostęp do kolejnych pomieszczeń w ustalonej kolejności.

Zakończenie rozgrywki – Po rozwiązaniu wszystkich 13 zagadek aplikacja powinna wyświetlić ekran podsumowujący z informacją o ukończeniu escape roomu.

Obsługa urządzeń VR i interfejsów w Laboratorium – Aplikacja musi być kompatybilna z systemami śledzenia ruchu i projekcji wykorzystywany w Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej, w tym z systemami typu CAVE oraz kontrolerami ruchu.

4.1.2. Wymagania niefunkcjonalne

Wymagania niefunkcjonalne opisują cechy jakościowe systemu oraz warunki, jakie powinien spełniać, aby zapewnić poprawne działanie i pozytywne doświadczenia użytkowników. W kontekście projektowanej aplikacji escape room VR wymagania niefunkcjonalne obejmują:

Kompatybilność z infrastrukturą LZWP – Aplikacja musi działać poprawnie w warunkach technicznych Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej, współpracując z systemem projektijnym CAVE oraz wykorzystywanymi kontrolerami ruchu.

Wydajność – Aplikacja powinna działać płynnie, z minimalnym opóźnieniem renderowania obrazu i reakcji na ruchy użytkownika, zapewniając co najmniej 60 klatek na sekundę w środowisku VR.

Jakość grafiki i dźwięku – Wirtualne środowisko escape roomu powinno charakteryzować się realistyczną i spójną oprawą wizualną oraz odpowiednio dobranymi efektami dźwiękowymi wspomagającymi immersję.

Łatwość rozbudowy i modyfikacji – Struktura projektu powinna umożliwiać przyszłą rozbudowę aplikacji o nowe zagadki, pomieszczenia lub funkcjonalności bez konieczności przebudowy istniejącego kodu i modeli.

Przenośność kodu i zasobów – Wszystkie pliki źródłowe, modele oraz zasoby dźwiękowe powinny być przechowywane w repozytorium GitHub w sposób umożliwiający łatwe przenoszenie projektu pomiędzy stanowiskami roboczymi oraz serwerami laboratorium.

Dokumentacja – Projekt musi być opatrzony szczegółową dokumentacją techniczną i użytkową, opisującą strukturę aplikacji, sposób instalacji, obsługi oraz instrukcje dotyczące przyszłej rozbudowy.

4.2. Scenariusz gry (Konrad Czarnecki)

Po uruchomieniu aplikacji użytkownik znajduje się w wirtualnym holu startowym, który pełni funkcję ekranu powitalnego. W tym miejscu użytkownik może zapoznać się z zasadami działania aplikacji oraz sterowaniem w środowisku VR.

W momencie rozpoczęcia gry uruchamiany jest licznik czasu, który będzie rejestrował całkowity czas potrzebny na ukończenie escape roomu. Po wybraniu opcji rozpoczęcia gry użytkownik przenosi się do pierwszego z 13 wirtualnych pomieszczeń. Każde pomieszczenie jest utrzymane w odmiennym stylu wizualnym i zawiera jedną interaktywną zagadkę matematyczną z przypisanego działu.

W każdym pokoju gracz ma możliwość poruszania się po przestrzeni VR, wchodzenia w interakcje z elementami zagadki, wywoływanie podpowiedzi (jeśli jest dostępna), przechodzenia do kolejnego pokoju po poprawnym rozwiązaniu zagadki.

Działanie każdej zagadki może wymagać różnych form interakcji — takich jak przeciąganie obiektów, wpisywanie wyników na wirtualnej klawiaturze, wskazywanie elementów przestrzeni, czy manipulowanie wirtualnymi narzędziami (np. suwaki, przełączniki, dźwignie). Po rozwiązaniu ostatniej, trzynastej zagadki użytkownik zostaje przeniesiony do wirtualnego pokoju podsumowań. W tym miejscu aplikacja prezentuje takie informacje jak łączny czas ukończenia gry i liczbę wykorzystanych podpowiedzi.

W przypadku przerwania rozgrywki przez użytkownika lub awarii systemu, aplikacja powinna zapewniać możliwość powrotu do holu głównego lub całkowitego zamknięcia gry bez ryzyka utra-

ty integralności danych systemu. Rozwiążanie to gwarantuje bezpieczeństwo użytkownika oraz stabilność aplikacji w środowisku CAVE.

Tak skonstruowany scenariusz rozgrywki umożliwia nie tylko wprowadzenie użytkownika w świat wirtualnej rzeczywistości, ale także zapewnia dynamiczny, uporządkowany i logiczny przebieg interakcji. Dzięki systematycznemu rozwiązywaniu zagadek i przemieszczaniu się między pokojami, aplikacja utrzymuje wysoki poziom zaangażowania i motywacji użytkowników do ukończenia całej gry.

4.3. Zagadki (Konrad Czarnecki)

W ramach realizacji projektu opracowano trzynaście interaktywnych zagadek matematycznych, z których każda reprezentuje inny dział matematyki nauczanej na poziomie szkoły średniej. Zagadki zostały zaprojektowane tak, aby nie tylko sprawdzać wiedzę użytkowników, ale również aktywizować ich poprzez wykorzystanie mechanik charakterystycznych dla gier logicznych i escape roomów. Dzięki zastosowaniu technologii wirtualnej rzeczywistości, gracze mogą wchodzić w bezpośrednią interakcję z otoczeniem i rozwiązywać zadania w formie angażujących, przestrzennych łamigłówek. Każde z zadań posiada unikalny scenariusz i zasady działania, dostosowane do specyfiki danego działu matematyki oraz do możliwości sprzętowych Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej. Poniżej przedstawiono szczegółowy opis wszystkich trzynastu zagadek, wraz z określeniem ich celu, przebiegu oraz warunków zakończenia.

4.3.1. Wyrażenia algebraiczne

Pierwsze z zadań wirtualnego escape roomu opiera się na klasycznej mechanice gry logicznej „piętnastki”, zaadaptowanej do środowiska matematycznego. Po aktywacji centralnego stołu w wirtualnym pomieszczeniu, na jego powierzchni pojawia się plansza o wymiarach 7×7 , zawierająca kafelki z symbolami matematycznymi i wyrażeniami algebraicznymi. Na kafelkach umieszczone są między innymi litery zmiennych (a, b), symbole potęg ($^2, ^3$), operatory działań matematycznych ($+, -, =$), nawiasy oraz złożone wyrażenia typu $2ab$, ab^2 czy a^3 . Pod planszą wyświetlana jest lista nazw siedmiu wzorów skróconego mnożenia, takich jak: „Kwadrat sumy”, „Kwadrat różnicy”, „Różnica kwadratów” czy „Suma sześcianów”. W treści zadania nie podano jednak pełnych wzorów, co zmusza graczy do samodzielnego przypomnienia ich z wiedzy szkolnej. Celem użytkownika jest ułożenie siedmiu pełnych wyrażeń odpowiadających tym wzorom, poprzez przesuwanie kafelków na planszy i formowanie poprawnych układów w pionie lub poziomie, zgodnie z zasadami klasycznej gry „piętnastki”. System automatycznie rozpoznaje poprawnie ułożone wzory i oznacza je na liście oraz na planszy. Zadanie można rozwiązywać w dowolnej kolejności, a jego ukończenie następuje po poprawnym ułożeniu wszystkich siedmiu wyrażeń.

4.3.2. Planimetria

Po ukończeniu pierwszego etapu, powierzchnia interaktywnego stołu zmienia swój wygląd, a na ekranie pojawia się plansza zawierająca dwanaście par figur geometrycznych. Wśród nich znajdują się takie figury jak kwadraty, romby, prostokąty, równoległoboki, trapezy oraz różne typy trójkątów. Zadanie ma na celu sprawdzenie znajomości zależności między figurami oraz umiejętności rozpoznawania ich cech charakterystycznych. Na planszy, pomiędzy każdą parą figur, znajduje się miejsce przeznaczone na wybór relacji. Gracze, analizując właściwości obu figur w każdej parze, muszą zdecydować, czy jedna z nich jest szczególnym przypadkiem drugiej, czy

też nie. Do dyspozycji mają dwa symbole: strzałkę w prawo, oznaczającą, że pierwsza figura jest szczególnym przypadkiem drugiej, oraz przekreślona strzałka, oznaczającą brak takiej zależności. Po dokonaniu wszystkich wyborów system natychmiast weryfikuje poprawność ustawionych relacji. W przypadku błędnych odpowiedzi, gracze otrzymują stosowny komunikat i możliwość poprawienia wyłącznie tych relacji, które zostały oznaczone niepoprawnie. Zadanie kończy się w momencie, gdy wszystkie relacje zostaną poprawnie oznaczone.

4.3.3. *Równania i nierówności*

W trzecim zadaniu gracze trafiają na scenę stylizowaną na film przygodowy, gdzie postać odkrywcy musi przejść przez wiszący most zbudowany z kamiennych płyt. Na każdej z płyt widnieje liczba rzeczywista, a na ścianie pojawia się układ dwóch nierówności. Zadaniem uczestników jest rozwiązanie układu i wybranie płyt z wartościami należącymi do przedziału spełniającego oba warunki. Gracze prowadzą postać, klikając po kolej właściwe płytki, a błędny wybór powoduje zapadnięcie się płyt i konieczność powrotu na początek. Po poprawnym przejściu przez most gracze odblokowują dostęp do kolejnej zagadki.

4.3.4. *Funkcje*

W czwartym zadaniu gracze pracują z dużą interaktywną tablicą, na której wyświetlany jest układ współrzędnych. Ich celem jest dostosowanie parametrów funkcji liniowej w taki sposób, aby jej wykres przechodził przez trzy wyznaczone punkty. Dzięki suwakom lub polom edycyjnym uczestnicy mogą dynamicznie zmieniać współczynnik kierunkowy oraz wyraz wolny funkcji, obserwując na bieżąco, jak zmienia się jej wykres. Zadanie polega na precyjnym dobraniu wartości parametrów, by wykres przeciął wszystkie wskazane punkty.

4.3.5. *Geometria analityczna na płaszczyźnie kartezjańskiej*

W piątym zadaniu gracze ponownie pracują z interaktywną tablicą, na której tym razem pojawiają się dwa wykresy funkcji liniowych. Celem wyzwania jest odnalezienie współrzędnych punktu, w którym obie funkcje przecinają się na płaszczyźnie kartezjańskiej. Uczestnicy mogą odczytać ten punkt bezpośrednio z wykresu lub rozwiązać układ równań opisujących obie proste. Po ustaleniu wartości współrzędnych gracze wpisują je w specjalnie przygotowane pole. System weryfikuje poprawność odpowiedzi i odblokowuje przejście do kolejnego etapu gry.

4.3.6. *Kombinatoryka*

W szóstym zadaniu gracze natrafiają na metalowy sejf wyposażony w podświetlany panel numeryczny. Na wyświetlaczu obok pojawia się zagadka z zakresu kombinatoryki dotycząca liczby możliwych ustawień trzycyfrowego kodu PIN, w którym żadna z cyfr się nie powtarza. Uczestnicy muszą przypomnieć sobie zasady permutacji i wyliczyć, ile jest możliwych kombinacji, wybierając trzy różne cyfry spośród dziesięciu dostępnych. Po obliczeniu właściwej liczby gracze wpisują wynik na klawiaturze sejfu.

4.3.7. *Liczby rzeczywiste*

W siódmym zadaniu gracze pracują z dużą drewnianą skrzynią oznaczoną liczbami i symbolami zbiorów liczbowych. Pierwszym etapem jest przyporządkowanie wszystkich liczb nadrukowanych na ściankach skrzyni do odpowiednich zbiorów: liczb naturalnych, całkowitych, wymiernych

i niewymiernych. Na podstawie tego podziału gracze ustalają czterocyfrowy kod otwierający mechaniczny zamek. Po poprawnym wprowadzeniu kombinacji, wewnątrz skrzyni odnajdują płaską planszę ilustrującą przecięcia zbiorów w formie diagramu Venna. Obok leżą kafelki z symbolami działań na zbiorach, które należy odpowiednio rozmieścić na planszy, uzupełniając brakujące miejsca. Po wykonaniu tego zadania, gracze odkrywają kolejny mechanizm, gdzie muszą ułożyć zależności między zbiorami liczbowymi za pomocą ruchomych symboli i strzałek, odzwierciedlając relacje zawierania się zbiorów. Poprawne wykonanie wszystkich trzech etapów aktywuje mechanizm w skrzyni i otwiera dostęp do kolejnego etapu gry.

4.3.8. *Trygonometria*

W ósmym zadaniu gracze stają przed ścianą, na której umieszczone są cztery duże okręgi, symbolizujące funkcje trygonometryczne: sinus, cosinus, tangens i cotangens. Każdy okrąg podzielony jest na cztery ćwiartki układu współrzędnych oznaczone numerami I–IV. Zadaniem uczestników jest uzupełnienie pustych pól przy każdej ćwiartce odpowiednim znakiem „+” lub „–”, wskazującym, czy dana funkcja przyjmuje w tej ćwiartce wartości dodatnie czy ujemne. Poprawne przypisanie znaków wymaga znajomości własności funkcji trygonometrycznych w poszczególnych ćwiartkach.

4.3.9. *Ciągi*

W dziewiątym zadaniu gracze przenoszą się na interaktywną platformę stylizowaną na arenę gry rytmicznej, gdzie głównym wyzwaniem jest rozpoznawanie kolejnych wyrazów ciągów liczbowych. Na ekranie wyświetlana jest formuła ciągu arytmetycznego lub geometrycznego, a z góry spadają kostki z różnymi wartościami liczbowymi. Zadaniem uczestników jest przecięcie mieczem świetlnym tylko tych kostek, które zawierają poprawne elementy podanego ciągu. Jeśli kostka nie pasuje do ciągu, gracze powinni ją pozostawić nienaruszoną. Za każdą poprawną akcję przyznawany jest punkt, natomiast błędne cięcie skutkuje odebraniem punktu. Tempo gry rośnie wraz z postępem, zwiększając wymagania dotyczące refleksu i precyzji. Gra kończy się sukcesem po zdobyciu 50 punktów i składa się z dwóch etapów: rozpoznawania ciągu arytmetycznego, a następnie geometrycznego.

4.3.10. *Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka*

W tym zadaniu gracze stają przed wyzwaniem probabilistycznym, reprezentowanym przez interaktywny stół z postacią Morfeusza oraz dwoma pojemnikami i zestawem 100 tabletek – po 50 czerwonych i niebieskich. Celem jest rozdzielenie tabletek między pojemniki w taki sposób, aby maksymalizować szansę wybrania czerwonej tabletki przez Morfeusza. Gracze mogą dowolnie przesuwać tabletki, testując różne układy i obserwując wyświetlany na bieżąco procent prawdopodobieństwa sukcesu. Optymalnym rozwiązaniem jest umieszczenie jednej czerwonej tabletki w pierwszym pojemniku, a pozostałych 49 czerwonych oraz 50 niebieskich w drugim, co daje maksymalną szansę około 74,75%. Zadanie wymaga od uczestników zrozumienia i wykorzystania zasad prawdopodobieństwa do podejmowania decyzji.

4.3.11. *Optymalizacja i rachunek różniczkowy*

Gracze stają przed wyzwaniem trafienia w cele na symulowanym polu bitwy. Sterują kątem nachylenia armaty, regulując go na pokrętle, aby zmodyfikować trajektorię lotu pocisku wyście-

tlaną na ekranie. Ich zadaniem jest precyzyjne ustawienie kąta, tak aby pocisk trafił w pojawiający się w losowej pozycji cel. Po każdym strzale pojawia się nowy cel, a gracz musi trafić łącznie 15 razy. W trakcie rozgrywki uczestnicy poznają związek między parametrami funkcji kwadratowej opisującej tor lotu, a jej maksimum, ucząc się podstaw optymalizacji i rachunku różniczkowego.

4.3.12. *Układy równań*

Gracze muszą umieścić odpowiednią liczbę jednostek energii w trzech kolorowych pojemnikach: czerwonym, zielonym i niebieskim, tak aby spełnić podane warunki dotyczące ich wydajności i sumy energii. Poprawne ustawienie 12 jednostek energii, z uwzględnieniem zależności między pojemnikami, spowoduje zapalenie się dużej żarówki nad stołem, sygnalizując sukces. System na bieżąco weryfikuje poprawność i informuje o błędach, dając możliwość kolejnych prób.

4.3.13. *Stereometria*

Gracze w półmroku obracają na obrotowym podeście pojawiającą się bryłę przestrzenną, taką jak graniastosłup, ostrosłup, walec czy stożek. Muszą rozpoznać jej nazwę oraz wskazać właściwości, takie jak liczba ścian, wierzchołków, krawędzi, rodzaj podstawy czy kąty między elementami.

4.4. *Model przypadków użycia*

4.5. *Projekt architektury systemu*

4.6. *Projekt interfejsu użytkownika i środowiska gry*

5. TECHNOLOGIE I NARZĘDZIA

Realizacja projektu aplikacji edukacyjnej typu escape room w środowisku rzeczywistości wirtualnej wymagała doboru odpowiednich narzędzi oraz technologii, które umożliwiły stworzenie interaktywnej, atrakcyjnej wizualnie i funkcjonalnej aplikacji kompatybilnej z systemami dostępnymi w Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej.

5.1. Silnik gry (Konrad Czarnecki)

Do stworzenia aplikacji wirtualnego escape roomu zdecydowano się na wykorzystanie silnika Unreal Engine 5, który jest jednym z najpopularniejszych środowisk do tworzenia gier komputerowych oraz aplikacji wirtualnej rzeczywistości. Unreal Engine, rozwijany przez firmę Epic Games, umożliwia tworzenie zaawansowanych wizualnie, interaktywnych projektów 3D oraz VR dzięki nowoczesnemu systemowi renderowania, rozbudowanemu edytoriowi oraz wsparciu dla technologii immersyjnych.

Silnik ten oferuje użytkownikom możliwość programowania logiki aplikacji zarówno w języku C++, jak i wykorzystaniem wizualnego systemu skryptowego Blueprint, co znacząco przyspiesza proces tworzenia prototypów i ułatwia implementację interakcji w środowisku VR. Unreal Engine zapewnia również bogaty zestaw narzędzi do tworzenia animacji, efektów specjalnych, obsługi dźwięku oraz integracji z zewnętrznymi bibliotekami.

Podczas analizy możliwych rozwiązań rozważano również wykorzystanie silnika Unity, który podobnie jak Unreal Engine jest szeroko stosowany w branży gier i aplikacji VR. Unity charakteryzuje się dużą elastycznością, wsparciem dla wielu platform oraz dostępnością licznych wtyczek i rozszerzeń. W porównaniu z Unreal Engine, Unity posiada mniej rozbudowany natywny system graficzny oraz wymaga większego nakładu pracy przy tworzeniu zaawansowanych efektów wizualnych.

Ostatecznym argumentem przemawiającym za wyborem Unreal Engine była kwestia kompatybilności — Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej, w którym aplikacja miała zostać wdrożona, nie wspiera nowszych wersji Unity, natomiast Unreal Engine zapewniał pełną zgodność z istniejącą infrastrukturą sprzętową i programową laboratorium.

5.2. Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej (Konrad Czarnecki)

Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej (LZWP) to specjalistyczne środowisko badawczo-edukacyjne wyposażone w systemy rzeczywistości wirtualnej, umożliwiające tworzenie i testowanie aplikacji immersyjnych w warunkach kontrolowanych. W skład laboratorium wchodzą między innymi systemy typu CAVE, czyli pomieszczenia projekcyjne z ekranami sciennymi i podłogowymi, które otaczają użytkownika obrazem 3D wyświetlonym z kilku projektorów.

LZWP wyposażone jest również w systemy śledzenia pozycji i ruchu użytkownika oraz kontrolery umożliwiające interakcję z wirtualnym środowiskiem. Dzięki temu laboratorium stanowi doskonałe zaplecze do testowania aplikacji edukacyjnych VR oraz prowadzenia badań nad efektywnością i ergonomią rozwiązań immersyjnych.

5.3. Środowisko 3D (Konrad Czarnecki)

W procesie tworzenia aplikacji niezbędne było opracowanie modeli 3D reprezentujących obiekty, elementy wystroju oraz interaktywne przedmioty pojawiające się w wirtualnym escape roomie. Do tego celu wykorzystano Blender — darmowe oprogramowanie do modelowania trójwymiarowego, animacji, teksturowania oraz renderowania.

Blender oferuje szeroki zakres narzędzi umożliwiających tworzenie szczegółowych modeli 3D, generowanie animacji oraz przygotowywanie materiałów i tekstur kompatybilnych z silnikami do tworzenia gier. Dzięki wsparciu dla formatów eksportowych takich jak FBX i GLTF, modele stworzone w Blenderze mogły zostać bezproblemowo zimportowane do Unreal Engine i wykorzystane w aplikacji VR.

5.4. Udźwiękowienie

5.5. System kontroli wersji (Konrad Czarnecki)

Dla zapewnienia bezpieczeństwa danych oraz efektywnego zarządzania projektem zastosowano system kontroli wersji Git wraz z usługą hostingową GitHub. GitHub umożliwia przechowywanie kodu źródłowego, modeli 3D, plików dźwiękowych oraz dokumentacji projektowej w repozytorium zdalnym z możliwością współdzielenia zasobów pomiędzy członkami zespołu.

Dzięki systemowi kontroli wersji możliwe było śledzenie historii zmian, zarządzanie gałęziami projektowymi oraz szybkie przywracanie poprzednich wersji w przypadku wystąpienia błędów. W projekcie GitHub pełnił również rolę platformy do przechowywania backupów.

6. ANALIZA DYDAKTYCZNA I POTENCJAŁ EDUKACYJNY

6.1. *Motywacja uczniów do nauki matematyki*

6.2. *Możliwość personalizacji i różnicowania poziomu trudności*

6.3. *Wpływ imersji na naukę*

7. PODSUMOWANIE

7.1. *Ocena realizacji celów*

7.2. *Propozycje rozwoju projektu*

7.3. *Wnioski końcowe*

WYKAZ RYSUNKÓW

WYKAZ TABEL