

UNIwersYTET RZESZOWSKI
WYDZIAŁ NAUK ŚCISŁYCH I TECHNICZNYCH



Oskar Paśko
117987

Informatyka i Ekonometria

*Wykorzystanie urządzeń wirtualnej rzeczywistości do
diagnozowania schorzeń związanych z daltonizmem*

Praca inżynierska

Praca wykonana pod kierunkiem
dr. Michała Kępskiego

Rzeszów 2025

Serdecznie dziękuję Panu dr. Michałowi Kępskiemu za cenne wskazówki, uwagi i życzliwość, które były nieocenioną pomocą w powstawaniu mojej pracy. Dziękuję również Pani dr Ewie Żesławskiej za motywację, rady i pomoc od momentu powstania pomysłu do finalizacji tej pracy.

Spis treści

| | |
|--|----|
| 1. Wstęp | 7 |
| 1.1. Wprowadzenie | 7 |
| 1.2. Cel | 8 |
| 1.3. Problem badawczy | 9 |
| 1.4. Zakres pracy | 9 |
| 2. Podstawowe informacje o zaburzeniu rozpoznawania barw | 10 |
| 2.1. Daltonizm, czyli na czym polega zaburzenie rozpoznawania barw | 10 |
| 2.2. Czym spowodowany jest daltonizm? | 10 |
| 2.3. Rodzaje daltonizmu | 10 |
| 2.3.1. Daltonizm czerwono-zielony | 11 |
| 2.3.2. Daltonizm niebiesko-żółty | 11 |
| 2.3.3. Całkowity daltonizm | 12 |
| 2.4. Testy na daltonizm | 12 |
| 3. Urządzenia oraz oprogramowanie | 15 |
| 3.1. Wykorzystane urządzenia | 15 |
| 3.2. Wykorzystane oprogramowanie | 15 |
| 3.2.1. Aplikacja VR | 15 |
| 3.2.2. Aplikacja internetowa | 15 |
| 4. Opis aplikacji | 16 |
| 4.1. Dla kogo jest aplikacja? | 16 |
| 4.2. Dane techniczne | 16 |
| 4.3. Wymagania funkcjonalne i нефункционалне | 16 |
| 4.4. Diagram ERD | 17 |
| 5. Przedstawienie systemu za pomocą diagramów UML | 18 |
| 5.1. Diagramy przypadków użycia | 18 |
| 5.1.1. Aplikacja VR | 18 |
| 5.1.2. Aplikacja webowa | 20 |
| 5.2. Diagramy aktywności | 22 |
| 5.2.1. Test Kolorów | 22 |
| 5.2.2. Test Barw | 22 |
| 5.2.3. Test Ishihary | 23 |
| 5.3. Diagramy sekwencji | 23 |
| 5.3.1. Diagram sekwencji - Test Kolorów | 23 |
| 5.3.2. Test Barw | 24 |
| 5.3.3. Test Ishihary | 25 |
| 6. Interfejs graficzny aplikacji | 26 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 6.1. | Interfejs aplikacji | 26 |
| 6.2. | Interfejs strony internetowej | 28 |
| 7. | Analiza wyników pracy | 31 |
| 7.1. | Czas wykonania testów | 31 |
| 7.2. | Liczba popełnionych błędów | 33 |
| 7.3. | Możliwe przyczyny zaobserwowanych wyników | 35 |
| 7.4. | Wpływ płci i wieku na wyniki | 36 |
| 8. | Wnioski | 37 |
| 9. | Udoskonalenia aplikacji | 38 |
| | Bibliografia | 39 |
| | Spis rysunków | 40 |
| | Spis tabel | 42 |
| | Streszczenie pracy | 43 |
| | Abstract | 44 |
| | Oświadczenie studenta o samodzielności pracy | 45 |
| | Oświadczenie studenta o zgodności wersji papierowej i elektronicznej pracy | 46 |

1. Wstęp

“Mama, she has taught me well
Told me when I was young
Son, your life’s an open book
Don’t close it ’fore it’s done”

James Hetfield

1.1. Wprowadzenie

Inspiracją do stworzenia niniejszej pracy była chęć połączenia nowoczesnych technologii z badaniami nad zaburzeniami rozpoznawania barw, w szczególności daltonizmem. Daltonizm, choć często kojarzony jako problem natury estetycznej, może znacząco wpływać na codzienne życie i zdolność do wykonywania niektórych zawodów, takich jak kierowcy, piloci czy pracownicy w przemyśle precyzyjnym. Głównym celem było opracowanie aplikacji, która nie tylko umożliwi skuteczną diagnozę tego schorzenia, ale także zapewni przyjemne i angażujące doświadczenie badanym.

Jednym z kluczowych aspektów pracy było stworzenie aplikacji VR, która eliminuje typowy stres związany z procesem diagnostycznym, znanym jako syndrom białego fartucha. Dzięki atrakcyjnemu interfejsowi oraz elementom rozrywki, aplikacja ma na celu uczynić proces badania przyjemnym i bardziej akceptowalnym dla użytkowników, w szczególności dla dzieci w wieku przedszkolnym i wczesnoszkolnym. Aplikacja VR zawiera trzy testy: Test Kolorów, Test Barw oraz Test Ishihary, które łącznie pozwalają na precyzyjną ocenę zdolności rozpoznawania barw. Towarzyszy jej aplikacja webowa, która zbiera dane uzyskane podczas badań, analizuje je i generuje raporty, które mogą ułatwić dalszą diagnostykę.

Praca została podzielona na 9 rozdziałów, z których każdy szczegółowo omawia różne aspekty pracy.

W rozdziale 2 opisano podstawowe informacje na temat zaburzeń rozpoznawania barw, w tym przyczyny daltonizmu oraz jego różne rodzaje.

Rozdział 3 skupia się na technicznych aspektach projektu, takich jak urządzenia i oprogramowanie wykorzystane do stworzenia aplikacji.

W rozdziale 4 zaprezentowano wymagania funkcjonalne i нефункционалне aplikacji oraz opisano strukturę bazy danych, wskazując na jej rolę w przechowywaniu i analizie danych użytkowników.

Rozdział 5 przedstawia strukturę aplikacji VR i webowej za pomocą diagramów UML, takich jak diagramy przypadków użycia, aktywności oraz sekwencji, co pozwala na lepsze zrozumienie działania systemu.

Rozdział 6 zawiera szczegółowy opis graficznego interfejsu użytkownika, umożliwiając wizualizację wyglądu aplikacji i jej kluczowych funkcji.

W rozdziale 7 zaprezentowano analizę wyników przeprowadzonych testów oraz omówiono przyczyny powstałych błędów.

W rozdziale 8 przedstawiono wnioski wynikające z uzyskanych rezultatów.

Rozdział 9 zawiera propozycje udoskonaleń aplikacji, które mogą zostać wprowadzone w przyszłości w celu poprawy jej funkcjonalności i efektywności diagnostycznej.

Przedstawiona w pracy aplikacja może stanowić potencjalne wsparcie dla specjalistów jako nowoczesne narzędzie diagnostyczne, jak również może przyczynić się do poprawy komfortu osób badanych, zwiększyć precyzję diagnozy oraz otworzyć nowe możliwości w analizie daltonizmu.

1.2. Cel

W niniejszej pracy opracowano aplikację stworzoną z myślą o technologii wirtualnej rzeczywistości, której celem jest umożliwienie diagnozowania schorzeń daltonizmu w sposób przystępny, angażujący i łatwy do zrozumienia. Dzięki innowacyjnemu podejściu oraz immersyjnej technologii VR, użytkownicy mają możliwość przeprowadzenia testów diagnostycznych, które pozwalają na ocenę zdolności postrzegania kolorów w różnych aspektach. Ponadto, stworzono również aplikację internetową do zbierania oraz analizowania wyników badań, co umożliwia efektywne zarządzanie danymi oraz ich dokładną interpretację.

W ramach aplikacji dostępne są trzy główne testy: dwa autorskie - Test Kolorów i Test Barw oraz klasyczny Test Ishihary, które skutecznie oceniają różne formy daltonizmu:

1. **Test Kolorów** - użytkownik obserwuje tablicę wyświetlającą różnorodne kolory, a jego zadaniem jest dokonanie wyboru odpowiedniego odcienia z wyświetlonego zbioru opcji. Jest to szybki, ale skuteczny sposób oceny zdolności do identyfikowania kolorów w warunkach wirtualnej rzeczywistości.
2. **Test Barw** - w tym przypadku użytkownik wybiera jeden z trzech podstawowych kolorów: czerwony, zielony lub niebieski, a następnie za pomocą układania sześciennych bloków w odpowiedniej kolejności sprawdza swoje zdolności rozróżniania barw. Test ten został zaprojektowany z myślą o osobach, które mają trudności w rozpoznawaniu konkretnych kolorów, umożliwiając precyzyjniejszą diagnozę.
3. **Test Ishihary** - klasyczne narzędzie diagnostyczne, które w tej aplikacji przyjmuje formę interaktywnej tablicy wirtualnej rzeczywistości. Użytkownik, w zależności od swoich zdolności rozróżniania kolorów, ma za zadanie zidentyfikować cyfry lub kształty ukryte w zbiorze barw. Test ten umożliwia precyzyjne określenie, które kolory sprawiają trudności w percepcji.

Podczas przeprowadzania testów aplikacja automatycznie zbiera dane dotyczące aktywności użytkownika, takie jak czas wykonania poszczególnych testów oraz popełnione błędy. Dzięki tym danym możliwa jest dokładniejsza analiza wyników i precyzyjniejsze diagnozowanie daltonizmu. Wszystkie zebrane informacje są następnie przekazywane do administratora, który dokonuje szczegółowej analizy, oceniając skuteczność poszczególnych testów oraz monitorując ewentualne trudności użytkowników w rozpoznawaniu kolorów.

Aplikacja internetowa zawiera dwa rodzaje kont:

- **Konto użytkownika** – umożliwia każdemu użytkownikowi przeglądanie wyników ze wszystkich trzech testów w formie szczegółowych raportów. Dzięki temu użytkownik może w łatwy sposób śledzić postępy i lepiej zrozumieć swoje wyniki.
- **Konto administratora** – zapewnia dostęp do wyników wszystkich użytkowników w odniesieniu do każdego z trzech testów. Dodatkowo administrator ma możliwość przeglądania ogólnych statystyk, takich jak liczba zarejestrowanych użytkowników, liczba przeprowadzonych badań w poszczególnych testach, średni czas wykonania testów oraz średnia liczba błędów w każdym z testów. Administrator ma także dostęp do specjalnej podstrony, na której może analizować dane w formie wykresów.

Wykresy te prezentują średnią liczbę błędów oraz średni czas wykonania testów, uwzględniając takie parametry, jak płeć użytkowników oraz przedział wiekowy. Dzięki temu możliwa jest bardziej zaawansowana analiza wyników oraz identyfikacja ewentualnych trendów w badaniach.

1.3. Problem badawczy

Problemem badawczym jest opracowanie skutecznej aplikacji VR, która umożliwi diagnozowanie daltonizmu za pomocą różnych testów oraz stworzenie powiązanej aplikacji webowej do zbierania i analizy uzyskanych danych. Aplikacja VR powinna zapewniać precyzyjną diagnozę różnych rodzajów daltonizmu, wykorzystując zaawansowane technologie wirtualnej rzeczywistości, które umożliwiają użytkownikom interaktywne i intuicyjne wykonywanie testów.

Technologia wirtualnej rzeczywistości tworzy wrażenie zanurzenia w trójwymiarowym świecie oraz umożliwia przeprowadzanie testów w kontrolowanych warunkach, eliminując wpływ degradacji fizycznych próbek czy niejednorodnych warunków oświetleniowych. [3]

Aplikacja webowa ma pełnić rolę systemu wspierającego, umożliwiającego gromadzenie danych testowych, ich analizę, wizualizację wyników oraz generowanie raportów. Istotnym wyzwaniem jest zapewnienie integracji obu aplikacji, skuteczności diagnostycznej oraz zgodności z regulacjami dotyczącymi ochrony danych osobowych. Realizacja tego projektu wymaga zastosowania nowoczesnych technologii VR i webowych, a także przeprowadzenia szczegółowych testów użyteczności i wiarygodności diagnozy.

1.4. Zakres pracy

1. Przeprowadzenie analizy literatury dotyczącej diagnozowania daltonizmu oraz technologii VR i webowych.
2. Zaprojektowanie aplikacji VR, w tym opracowanie dwóch testów i implementacja testu Ishihary.
3. Implementacja aplikacji VR przy użyciu odpowiednich narzędzi i platform (np. Unity, Unreal Engine).
4. Zaprojektowanie i implementacja aplikacji webowej umożliwiającej gromadzenie danych testowych, analizę wyników, wizualizację oraz generowanie raportów.
5. Testowanie obu aplikacji w różnych grupach użytkowników, w tym osób z różnymi typami daltonizmu.
6. Analiza wyników diagnostycznych z aplikacji VR i porównanie ich z wynikami uzyskanymi metodami tradycyjnymi.
7. Opracowanie raportu końcowego uwzględniającego wyniki testów, wnioski oraz rekomendacje dotyczące dalszego rozwoju systemu.

Realizacja tego zakresu pracy pozwoli na kompleksowe rozwiązanie problemu badawczego oraz weryfikację skuteczności zaprojektowanego systemu.

2. Podstawowe informacje o zaburzeniu rozpoznawania barw

W niniejszym rozdziale omówiono najważniejsze zagadnienia dotyczące daltonizmu, w tym jego istotę, mechanizmy powstawania oraz różnorodność form tego zaburzenia. Szczególną uwagę poświęcono szczegółowej charakterystyce poszczególnych rodzajów daltonizmu, aby ukazać ich specyfikę i różnice. Dodatkowo przedstawione zostały informacje o dwóch najczęściej stosowanych testach diagnostycznych.

2.1. Daltonizm, czyli na czym polega zaburzenie rozpoznawania barw

Większość z nas doświadcza podobnego zmysłowego postrzegania kolorów. Jednak niektórzy ludzie mają zaburzenia widzenia barw, co oznacza, że ich percepcja kolorów różni się od tego, co widzi większość. Najcięższe formy tych zaburzeń określa się jako daltonizm. Osoby z daltonizmem nie dostrzegają różnic między kolorami, które są oczywiste dla innych. Ci, którzy mają łagodniejsze formy daltonizmu, mogą nie zdawać sobie sprawy z problemu, dopóki nie zostaną przebadani w klinice lub laboratorium. [5]

Ludzkie widzenie zależy od systemu komórek fotoreceptorowych w siatkówce, z których około 95% stanowią pręciki. Zawierają one białko pochłaniające światło – rodopsynę – i pozwalają nam widzieć w warunkach słabego oświetlenia. Dodatkowo, siatkówka zawiera trzy klasy czopków, które zawierają białka reagujące na światło (opsyny) odpowiadające długościom fal świetlnych trzech podstawowych kolorów: czerwieni, zieleni i błękitu. Widzenie kolorów zależy od obecności wszystkich czterech rodzajów tych komórek. Ponieważ w normalnym widzeniu barw uczestniczą trzy główne kolory, nazywa się je widzeniem tróchromatycznym. [6]

2.2. Czym spowodowany jest daltonizm?

Daltonizm jest wadą wrodzoną, zazwyczaj uwarunkowaną genetycznie i dziedziczną recesywnie jako cecha sprzężona z chromosomem X. Geny odpowiedzialne za rozróżnianie barw znajdują się właśnie na tym chromosomie. Mężczyźni mają tylko jeden chromosom X, podczas gdy kobiety dwa i dlatego u nich funkcjonalny gen na jednym z chromosomów X wystarcza, aby zrekompensować brakujący gen na drugim chromosomie. W przypadku dziedziczeń związanych z chromosomem X, kobiety muszą mieć mutację na obu chromosomach X, aby choroba się ujawniła. Z racji posiadania tylko jednego chromosomu X dziedziczny daltonizm częściej dotyczy mężczyzn – w ich przypadku mutacja na jednym chromosomie X prowadzi do wystąpienia wadliwości widzenia barw. Szacuje się, że daltonizm występuje u mężczyzn aż 16 razy częściej niż u kobiet. Daltonizm może być obecny od urodzenia, pojawić się w dzieciństwie lub ujawnić dopiero w wieku dorosłym. [5, 6]

2.3. Rodzaje daltonizmu

Daltonizm jest najczęściej dziedziczony i wynika z defektów w genach odpowiedzialnych za produkcję fotopigmentów w czopkach. Te wady mogą zmieniać wrażliwość fotopigmentów na różne kolory, na przykład mogą sprawiać, że czerwony kolor wydaje się bardziej intensywny, a zielony mniej wyraźny. W niektórych przypadkach dochodzi do całkowitej utraty funkcji fotopigmentu. W zależności od rodzaju

defektu i typu czopka mogą wystąpić problemy z widzeniem czerwonego, zielonego lub niebieskiego koloru. Czopki to komórki w siatkówce oka odpowiedzialne za postrzeganie kolorów. Wyróżnia się trzy typy czopków: protanowe (odpowiadające za kolor czerwony), deuteranowe (zielony) i tritanowe (niebieski). Każdy z tych typów reaguje na różne długości fal świetlnych, co pozwala na widzenie kolorów. W przypadku uszkodzenia lub braku jednego typu czopków, może wystąpić trudność w rozróżnianiu niektórych kolorów.

2.3.1. Daltonizm czerwono-zielony

Daltonizm czerwono-zielony jest najczęściej występującym rodzajem dziedzicznego daltonizmu związanego z nieprawidłowościami w czerwonych (protan) lub zielonych (deutran) komórkach czopków. Tego typu daltonizm określany jest jako czerwono-zielony.

- **Protanomia:** U mężczyzny z protanomią fotopigment czerwonego czopka jest zmieniony. Kolory czerwony, pomarańczowy i żółty wydają się bardziej zielono i są mniej intensywne. To schorzenie jest łagodne i zazwyczaj nie wpływa na codzienne funkcjonowanie. Protanomia jest dziedziczna i związana z chromosomem X, szacuje się, że dotyczy 1% mężczyzn.
- **Protanopia:** U mężczyzny z protanopią brakuje działających czerwonych komórek czopków. Czerwony kolor wydaje się czarny, a odcienie pomarańczowego, żółtego i zielonego wydają się jak żółte. Protanopia jest zaburzeniem dziedzicznym związanym z chromosomem X, występującym u około 1% mężczyzn.
- **Deuteranomia:** U mężczyzny z deuteranomią fotopigment zielonego czopka jest zmieniony. Kolory żółty i zielony wydają się bardziej czerwone, a fiolet i niebieski mogą być trudne do rozróżnienia. To schorzenie jest łagodne i nie przeszkadza w codziennym życiu. Deuteranomia jest najczęściej występującą formą daltonizmu i dotyczy 5% mężczyzn.
- **Deuteranopia:** U mężczyzny z deuteranopią brakuje działających zielonych komórek czopków. Widzą oni czerwony kolor jako brązowo-żółty, a zielony jako beżowy. Deuteranopia jest zaburzeniem związanym z chromosomem X i dotyczy około 1% mężczyzn.

2.3.2. Daltonizm niebiesko-żółty

Daltonizm niebiesko-żółty występuje rzadziej niż czerwono-zielony. Jest związany z nieprawidłowościami w fotopigmentach komórek niebieskich (tritan).

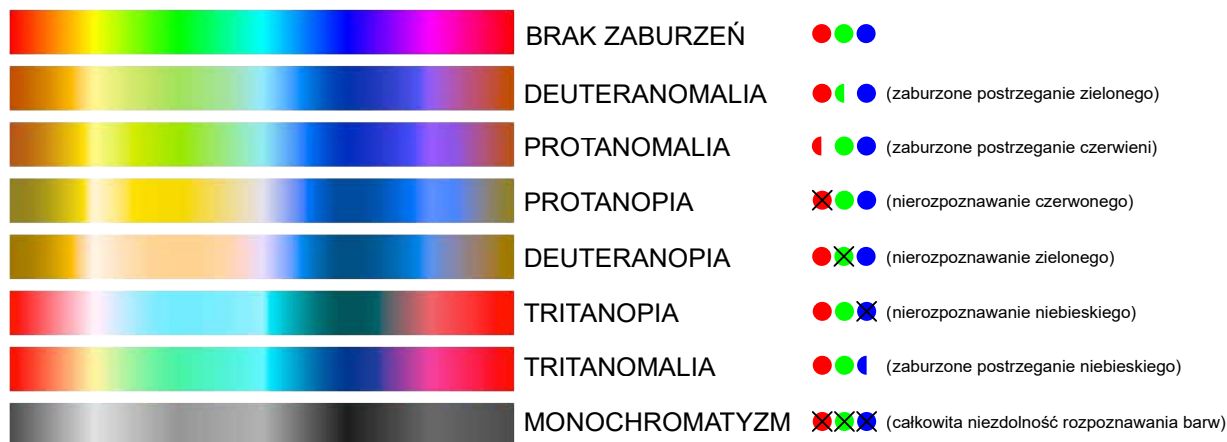
- **Tritanomalia:** Osoby z tritanomalią mają ograniczoną funkcję komórek niebieskich. Niebieski kolor wydaje się bardziej zielony, a żółty i czerwony mogą być trudne do odróżnienia. Tritanomalia jest bardzo rzadka i dziedziczona w sposób autosomalny dominujący, co oznacza, że tylko jedna kopia zmutowanego genu (z jednej z dwóch par chromosomów) wystarczy, aby wystąpiła ta wada. W przypadku dziedziczenia autosomalnego dominującego, jeśli jedna z osób w rodzinie ma zmutowany gen, istnieje 50% szansa, że przekaze ten gen swojemu dziecku, niezależnie od jego płci.
- **Tritanopia:** Osoby z tritanopią nie mają działających komórek niebieskich. Niebieski kolor wygląda jak zielony, a żółty jak fioletowy lub szary. Tritanopia jest bardzo rzadkim, autosomalnym zaburzeniem recesywnym, które dotyczy zarówno mężczyzn, jak i kobiet.

2.3.3. Całkowity daltonizm

Osoby z całkowitym daltonizmem z tzw. monochromacją nie widzą wcale kolorów i dodatkowo ostrość ich widzenia może być ograniczona.

- **Monochromacja czopkowa:** Ta rzadka forma daltonizmu występuje, gdy dwa z trzech fotopigmentów w komórkach czopkowych nie działają prawidłowo. Wyróżnia się czerwono-, zielono- i niebiesko-czopkową monochromacją. Osoby z monochromacją czopkową mają trudności z rozróżnianiem kolorów, ponieważ mózg potrzebuje sygnałów z różnych typów czopków, aby widzieć kolory. Jeśli działa tylko jeden typ czopka, to porównanie nie jest możliwe. Monochromacja niebiesko-czopkowa często wiąże się z ograniczoną ostrością wzroku, krótkowzrocznością oraz niekontrolowanymi ruchami oczu, znanymi jako nystagmus. Monochromacja czopkowa jest dziedziczona w sposób autosomalny recesywny.

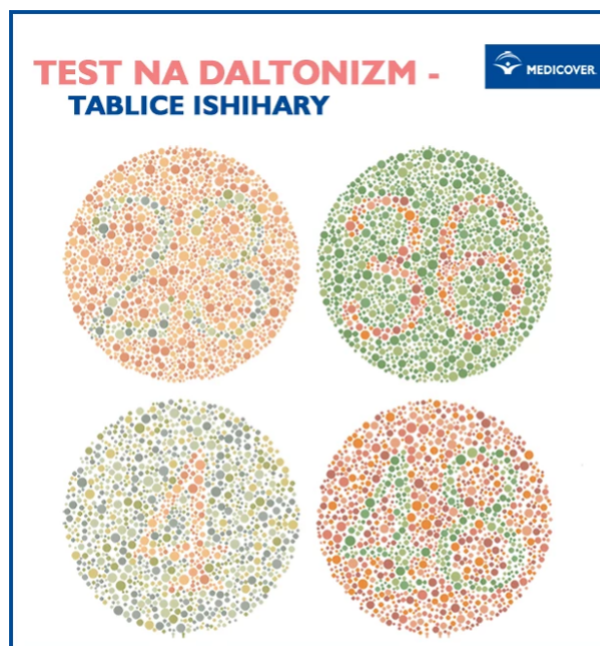
- **Monochromacja pręcikowa (achromatopsja):** To najcięższa forma daltonizmu, występująca od urodzenia. Żadne z komórek czopkowych nie mają funkcjonalnych fotopigmentów, przez co osoby z tym zaburzeniem widzą świat jedynie w odcieniach czerni, bieli i szarości. Ponieważ pręciki reagują na słabe światło, osoby te są bardzo wrażliwe na jasne światło i często cierpią na fotofobię. Monochromacja pręcikowa jest zaburzeniem autosomalnym recesywnym. [5]



Rys. 2.1. Rodzaje zaburzeń widzenia barw [7]

2.4. Testy na daltonizm

Najpopularniejszym testem na daltonizm jest badanie z wykorzystaniem pseudoizochromatycznych tablic Ishihary. Tablice te mają postać okrągłych plam złożonych z kolorowych kropek, w których ukryte są liczby lub określone kształty. Pozwalają na ocenę zaburzeń widzenia barwnego w zakresie kolorów czerwonego i zielonego. Badanie nie wymaga specjalnego przygotowania. Przeprowadza się je przy dobrym oświetleniu z odległości umożliwiającej czytanie tekstu. Jeśli to konieczne osoba badana może założyć okulary.



Rys. 2.2. Tablice Ishihary [7]

Odmiernym badaniem jest test Farnswortha D-15. Pozwala ocenić zdolność widzenia barwy czerwonej, zielonej i niebieskiej. Polega na ułożeniu w odpowiedniej kolejności 15 barwnych pionków tak, aby ich kolory płynnie przechodziły jeden w drugi. W przypadkach wątpliwych wykorzystuje się anomaloskop, czyli aparat służący do ilościowego określania zaburzenia widzenia barw w osi czerwono-zielonej. Badanie ma przebieg dwufazowy. Najpierw zadaniem osoby badanej jest dobranie mieszaniny czystego światła czerwonego i zielonego w taki sposób, aby dopasować ją do czystego światła żółtego. Dodatkowo, w przypadku bardziej zaawansowanej diagnostyki, wykorzystywany jest test FM-100 Hue, który ocenia zdolność rozróżniania subtelnych odcieni kolorów w szerszym zakresie barw, co pozwala na dokładniejszą ocenę percepcji kolorów.

Jednym z zaproponowanych, w niniejszej pracy, autorskich testów na daltonizm jest Test Kolorów, w którym użytkownik obserwuje tablicę wyświetlającą różnorodne kolory. Jego zadaniem jest dokonanie wyboru odpowiedniego odcienia z wyświetlonego zbioru opcji. Test ten, choć szybki, stanowi skuteczny sposób oceny zdolności do identyfikowania kolorów w warunkach wirtualnej rzeczywistości. Tego rodzaju test pozwala w prosty sposób wstępnie ocenić, czy użytkownik ma trudności z rozpoznawaniem barw. Jeśli użytkownik nie jest w stanie poprawnie zidentyfikować prostych wyświetlanych kolorów, istnieje duże prawdopodobieństwo, że bardziej zaawansowane testy również wskażą na problem z rozpoznawaniem barw.

Drugim autorskim testem jest Test Barw, w którym użytkownik wybiera jeden z trzech podstawowych kolorów: czerwony, zielony lub niebieski. Następnie, za pomocą układania sześciennych bloków w odpowiedniej kolejności, sprawdza swoje zdolności rozróżniania barw. Test ten został zaprojektowany z myślą o osobach mających trudności w rozpoznawaniu konkretnych kolorów, umożliwiając precyzyjniejszą diagnozę. Test Barw został zainspirowany klasycznym testem D-15, ale wprowadza element interaktywności, który wykracza poza tradycyjne podejście do diagnozowania. Dzięki temu użytkownik ma większą możliwość zaangażowania się w proces badania, co czyni test bardziej atrakcyjnym, zwłaszcza dla dzieci. Połączenie zabawy z testem pozwala zmniejszyć stres związany z badaniem, a także zminimalizować efekt tzw. syndromu białego fartucha, czyniąc proces bardziej komfortowym i przyjaznym.

Większość testów na widzenie barw jest zaprojektowana z myślą o osobach o określonym poziomie zdolności poznawczych i wykształcenia. Testy takie jak test FM-100 hue wymagają zarówno zdolności poznawczych, jak i umiejętności organizacyjnych. Niektóre tablice Ishihary wymagają, aby osoba badana odczytała litery lub liczby, co zatem wymaga minimalnego poziomu umiejętności czytania. Te zadania mogą stanowić wyzwanie dla dzieci oraz osób z niepełnosprawnością intelektualną lub niskim poziomem wykształcenia. Zaprojektowano testy, które są szczególnie skierowane na przesiewanie tych specyficznych grup populacyjnych. [1]

Projektując Test Kolorów oraz Test Barw, kierowano się potrzebą stworzenia nowoczesnych i skutecznych narzędzi diagnostycznych, dostosowanych do warunków wirtualnej rzeczywistości. Ważnym krokiem przed ich wprowadzeniem do praktycznego użytku jest jednak przeprowadzenie walidacji, która wymaga zaangażowania specjalistów z różnych dziedzin, takich jak okulistyka, psychologia czy technologie VR. Ponadto, testy te muszą być zaprojektowane z myślą o specjalnych grupach populacyjnych, takich jak dzieci, osoby z niepełnosprawnością intelektualną lub niskim poziomem wykształcenia, dla których tradycyjne testy mogą stanowić trudność.

242 3. Urządzenia oraz oprogramowanie

243 W niniejszym rozdziale przedstawiono charakterystykę urządzeń wirtualnej rzeczywistości wykorzysta-
244 nych w pracy, jak również omówiono zastosowane oprogramowanie, za pomocą którego została stworzona
245 aplikacja VR. Ponadto opisano narzędzia i technologie użyte do opracowania aplikacji webowej pomaga-
246 jącej w analizowaniu danych, zapewniając pełny obraz zastosowanych rozwiązań technologicznych.

247 3.1. Wykorzystane urządzenia

248 W pracy wykorzystano gogle VR Oculus Meta Quest 2 - zaawansowane, samodzielne urządzenie wir-
249 tualnej rzeczywistości, które działa niezależnie, bez potrzeby podłączenia do komputera. Dzięki swojej
250 konstrukcji umożliwia korzystanie z aplikacji VR w dowolnym miejscu, eliminując ograniczenia związane
251 z kablami czy dodatkowym sprzętem.

252 Oculus Meta Quest 2 działa w oparciu o wbudowany system operacyjny oparty na Androidzie, co po-
253 zwala na autonomiczne użytkowanie. Użytkownicy mają dostęp do platformy Meta Store, gdzie mogą po-
254 bierać gry i aplikacje VR bezpośrednio na urządzenie.

255 3.2. Wykorzystane oprogramowanie

256 3.2.1. Aplikacja VR

257 Aplikacja została stworzona przy użyciu silnika Unity w wersji 2022.3.25f1. Unity upraszcza tworze-
258 nie aplikacji dzięki architekturze opartej na komponentach, gdzie skrypty definiują zachowania obiektów
259 w środowiskach 2D i 3D. Edytor Unity oferuje wizualny interfejs do projektowania scen, w którym zasoby
260 można rozmieszczać, aby tworzyć interaktywne doświadczenia. Użytkownicy mogą przeciągać i upuszczać
261 zasoby, takie jak modele 3D, tekstury czy pliki audio, a następnie organizować i konfigurować je w celu
262 osiągnięcia zamierzonych efektów. C# jest głównym językiem skryptowym, wspieranym przez inne języki
263 programowania, takie jak Rust i JavaScript, oraz szeroki ekosystem zasobów, prefabrykatów i szablonów,
264 które upraszczają proces tworzenia aplikacji. [9]

265 3.2.2. Aplikacja internetowa

266 Aplikacja internetowa została opracowana przy użyciu edytora Visual Studio Code w wersji 1.96.0 (Uni-
267 versal). Visual Studio Code to wszechstronny, otwartoźródłowy edytor kodu, który obsługuje szeroką gamę
268 języków programowania i narzędzi deweloperskich, zapewniając wygodę i elastyczność podczas pracy nad
269 projektem.[2]

270 Do stworzenia interfejsu użytkownika wykorzystano bibliotekę React - popularne narzędzie JavaScript
271 do budowy dynamicznych i responsywnych aplikacji. Dzięki możliwości tworzenia komponentów wielo-
272 krotnego użytku React znacząco przyspiesza proces rozwoju oraz ułatwia zarządzanie kodem.[10]

273 Warstwę backendową aplikacji zaimplementowano przy użyciu frameworka Flask, który jest lekki i ela-
274 styczny, co sprawia, że doskonale nadaje się zarówno do mniejszych projektów, jak i do szybkiego prototy-
275 powania. Flask, oparty na języku Python, umożliwia łatwe i efektywne tworzenie aplikacji internetowych,
276 oferując jednocześnie dużą swobodę w projektowaniu ich architektury.[4]

4. Opis aplikacji

W poniższym rozdziale została szczegółowo opisana aplikacja, uwzględniając jej funkcjonalności, zastosowane technologie oraz sposób działania, który pozwala na efektywne realizowanie zamierzonych celów.

4.1. Dla kogo jest aplikacja?

Aplikacja została zaprojektowana z myślą o dostępności dla szerokiego grona użytkowników, oferując łatwy dostęp do precyzyjnych narzędzi diagnostycznych bez konieczności wizyty w specjalistycznych placówkach. Dzięki wirtualnej rzeczywistości cały proces diagnostyczny staje się nie tylko bardziej angażujący, ale również komfortowy i zrozumiały. Technologie wirtualnej rzeczywistości umożliwiają użytkownikom przeprowadzenie testów w zaciszu własnego domu, co czyni diagnostykę daltonizmu bardziej dostępną i mniej stresującą.

4.2. Dane techniczne

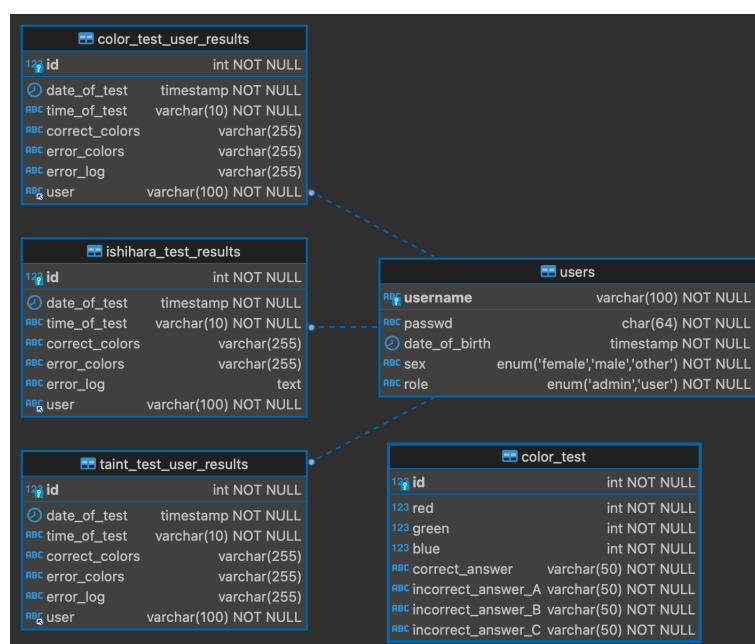
Do uruchomienia aplikacji niezbędne są gogle Oculus Quest 2 oraz stabilne połączenie z bazą danych za pośrednictwem łącza internetowego.

4.3. Wymagania funkcjonalne i нефunkcjonalne

- Logowanie do systemu za pomocą loginu i hasła.
- Możliwość rejestracji do systemu.
- Możliwość przeglądania historii badań.
- Możliwość zapoznania się z opisami poszczególnych badań.
- Możliwość wykonania tutorialu w celu zapoznania się ze sterowaniem.
- Możliwość wyboru badań z listy.
- Wykonanie badania wybranego z listy.
- Aplikacja zapewnia bezpieczeństwo danych.
- Aplikacja jest prosta w obsłudze.
- Aplikacja zapewnia prosty i przejrzysty interfejs.
- Aplikacja działa na urządzeniach wirtualnych Oculus Quest 2.
- Aplikacja jest tworzona w środowisku Unity.
- Aplikacja wykorzystuje bazę danych.

4.4. Diagram ERD

Na poniższym rysunku zaprezentowano diagram ERD, który ilustruje strukturę bazy danych wykorzystywanej w aplikacji. Baza danych została zaprojektowana w celu przechowywania informacji o użytkownikach oraz wynikach testów percepcji kolorów. Zawiera tabelę `users`, która przechowuje dane o użytkownikach, takie jak login, hasło, data urodzenia, płeć oraz rola (admin lub user). Tabela `color_test` przechowuje kolory wykorzystywane w Teście Kolorów wraz z przypisanymi odpowiedziami. Tabela `color_test_user_results` zawiera wyniki Testu Kolorów dla użytkowników, przechowując datę testu, czas trwania, liczbę poprawnych i błędnych odpowiedzi oraz szczegóły błędów. Jest powiązana z tabelą `users` relacją 1:N. Podobną strukturę mają tabele `Ishihara_test_results` i `taint_test_results`, które przechowują odpowiednio wyniki Testu Ishihary i Testu Barw. Relacje między tabelami umożliwiają łatwe powiązanie wyników testów z danymi użytkowników, zapewniając spójność i przejrzystość bazy danych.



Rys. 4.1. Diagram ERD

5. Przedstawienie systemu za pomocą diagramów UML

W poniższej części pracy zaprezentowano system przy wykorzystaniu diagramów UML, które precyzyjnie odwzorowują zarówno strukturę, jak i dynamikę działania systemu. Dzięki zastosowaniu tych diagramów, możliwe jest szczegółowe ukazanie relacji między poszczególnymi elementami oraz procesów zachodzących w obrębie całego systemu.

5.1. Diagramy przypadków użycia

W projektowanym systemie wyróżnia się trzech aktorów, którzy w zależności od uprawnień posiadają pewne wspólne funkcjonalności systemu. Na Rys. 5.1 oraz Rys. 5.2 przedstawiono diagramy przypadków użycia z uwzględnieniem podziału poszczególnych przypadków użycia oraz przyporządkowania ich do określonych aktorów tj. Gość, Użytkownik, Administrator.

- **Gość** - aktor, który może stworzyć swoje konto w aplikacji web. Gość może również się zalogować do aplikacji webowej oraz aplikacji VR.
- **Użytkownik** - jest to zalogowany aktor, który ma możliwość wykonania testów w aplikacji VR oraz możliwość do sprawdzenia swojej historii testów na stronie webowej.
- **Administrator** - aktor, który ma wszystkie uprawnienia. Ma dostęp do praktycznie wszystkich funkcjonalności, może wykonywać testy w aplikacji VR. W aplikacji webowej ma dostęp do historii testów wszystkich użytkowników we wszystkich testach. Administrator posiada również dostęp do statystyk i wykresów z zebranych danych z testów.

5.1.1. Aplikacja VR

| Przypadek użycia | Logowanie |
|-------------------------|--|
| Aktor | Gość |
| Warunki początkowe | Gość posiada wcześniej założone konto i jest na scenie głównej. |
| Zdarzenie inicjujące | Gość chce się zalogować na swoje konto. |
| Scenariusz podstawowy | Gość loguje się za pomocą loginu oraz hasła i klika przycisk "Zaloguj się". Strona wyświetla formularz logowania. |
| Scenariusz alternatywny | Użytkownik wprowadził niepoprawne dane logowania. System informuje użytkownika, że podane dane logowania są nieprawidłowe. |
| Rezultat | Scena umożliwia zalogowanie się użytkownikowi do aplikacji. |

Tabela 5.1. Przypadek użycia - Logowanie (aplikacja VR)

| Przypadek użycia | Lista badań |
|-----------------------|---|
| Aktor | Użytkownik |
| Warunki początkowe | Użytkownik jest zalogowany na swoim koncie. |
| Zdarzenie inicjujące | Użytkownik chce przeglądać dostępne testy. |
| Scenariusz podstawowy | Użytkownik przegląda dostępne testy w aplikacji wyświetlane jako lista. |
| Rezultat | Scena umożliwia przeglądanie dostępnych testów w aplikacji. |

Tabela 5.2. Przypadek użycia - Lista badań

| Przypadek użycia | Opis badania |
|-----------------------|--|
| Aktor | Użytkownik |
| Warunki początkowe | Użytkownik jest zalogowany na swoim koncie. |
| Zdarzenie inicjujące | Użytkownik chce przeczytać opis testu. |
| Scenariusz podstawowy | Użytkownik klika w przycisk "Opis" przy konkretnym badaniu, z którym chce się zapoznać. Po kliknięciu obok pojawia się tablica z opisem testu. |
| Rezultat | Scena umożliwia zapoznanie się z przebiegiem testu za pomocą dokładnego opisu. |

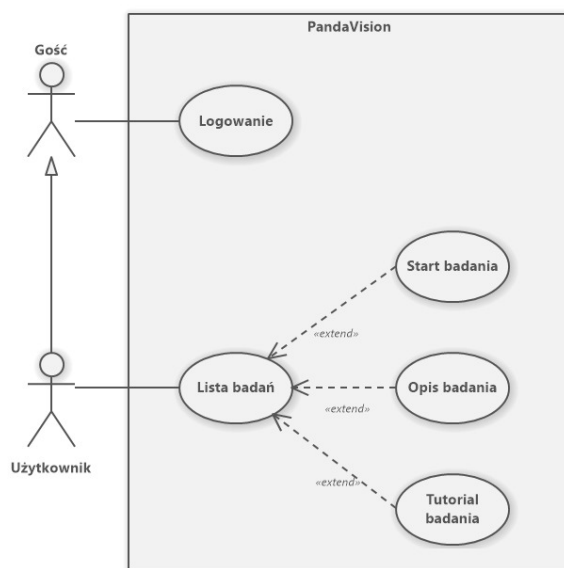
Tabela 5.3. Przypadek użycia - Opis badania

| Przypadek użycia | Tutorial badań |
|-----------------------|--|
| Aktor | Użytkownik |
| Warunki początkowe | Użytkownik jest zalogowany na swoim koncie. |
| Zdarzenie inicjujące | Użytkownik chce zapoznać się z mechaniką oraz przebiegiem testu. |
| Scenariusz podstawowy | Użytkownik klika w przycisk "Tutorial" przy konkretnym badaniu. Aplikacja przenosi użytkownika do sceny z tutorialiem. |
| Rezultat | Aplikacja umożliwia zapoznanie się z mechaniką i przebiegiem testu za pomocą tutorialu. |

Tabela 5.4. Przypadek użycia - Tutorial badań

| Przypadek użycia | Start badania |
|-----------------------|---|
| Aktor | Użytkownik |
| Warunki początkowe | Użytkownik jest zalogowany na swoim koncie. |
| Zdarzenie inicjujące | Użytkownik chce wykonać jeden z dostępnych testów. |
| Scenariusz podstawowy | Użytkownik klika w przycisk "Start" przy konkretnym badaniu. Aplikacja przenosi użytkownika do sceny z konkretnym testem. |
| Rezultat | Aplikacja umożliwia przeprowadzenie testów. |

Tabela 5.5. Przypadek użycia - Start badania



Rys. 5.1. Diagram przypadków użycia - Logowanie

336

5.1.2. Aplikacja webowa

| Przypadek użycia | Logowanie |
|-------------------------|--|
| Aktor | Gość |
| Warunki początkowe | Gość posiada wcześniej założone konto i jest na stronie głównej. |
| Zdarzenie inicjujące | Gość chce się zalogować na swoje konto. |
| Scenariusz podstawowy | Gość loguje się za pomocą loginu oraz hasła i klika przycisk "Zaloguj się". Strona wyświetla formularz logowania. |
| Scenariusz alternatywny | Użytkownik wprowadził niepoprawne dane logowania. System informuje użytkownika, że podane dane logowania są nieprawidłowe. |
| Rezultat | Strona umożliwia zalogowanie się użytkownikowi do systemu. |

Tabela 5.6. Przypadek użycia - Logowanie (aplikacja webowa)

| Przypadek użycia | Rejestracja |
|-------------------------|---|
| Aktor | Gość |
| Zdarzenie inicjujące | Gość chce się zarejestrować do systemu. |
| Scenariusz podstawowy | Gość rejestruje się za pomocą danych tj. login, data urodzenia, płeć oraz hasło i klika w przycisk "Zarejestruj się". Strona wyświetla formularz rejestracji. |
| Scenariusz alternatywny | Użytkownik wprowadził niepoprawne dane w formularzu rejestracyjnym. System informuje użytkownika, że podane dane są nieprawidłowe. |
| Rezultat | Strona umożliwia zarejestrowanie się użytkownikowi do systemu. |

Tabela 5.7. Przypadek użycia - Rejestracja

| Przypadek użycia | Historia badań |
|-----------------------|--|
| Aktor | Użytkownik |
| Warunki początkowe | Użytkownik jest zalogowany na swoim koncie. |
| Zdarzenie inicjujące | Użytkownik chce przeglądać dane ze swoich badań |
| Scenariusz podstawowy | Użytkownik klika w jeden z trzech przycisków tj. "Test Kolorów", "Test Barw", "Test Ishihary". Strona wyświetla dane z konkretnego typu badania. |
| Rezultat | Strona umożliwia przeglądanie historii badań. |

Tabela 5.8. Przypadek użycia - Historia badań

| Przypadek użycia | Statystyki |
|-------------------------|--|
| Aktor | Administrator |
| Warunki początkowe | Administrator jest zalogowany na swoim koncie. |
| Zdarzenie inicjujące | Administrator chce przeglądać statystyki. |
| Scenariusz podstawowy | Strona wyświetla podstawowe statystyki od razu po zalogowaniu się na konto administratora. |
| Scenariusz alternatywny | Administrator kliknął w przycisk "Dashboard". Strona wyświetla podstawowe statystyki. |
| Rezultat | Strona umożliwia przeglądanie statystyk. |

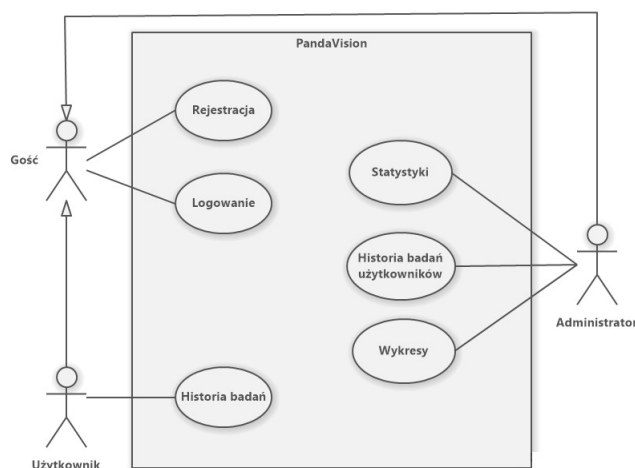
Tabela 5.9. Przypadek użycia - Statystyki

| Przypadek użycia | Historia badań użytkowników |
|-----------------------|--|
| Aktor | Administrator |
| Warunki początkowe | Administrator jest zalogowany na swoim koncie. |
| Zdarzenie inicjujące | Administrator chce przeglądać wyniki z badań użytkowników. |
| Scenariusz podstawowy | Administrator klika w przycisk "Wyniki Użytkowników". Strona wyświetla wyniki wszystkich użytkowników ze wszystkich badań. |
| Rezultat | Strona umożliwia przeglądanie wyników badań użytkowników. |

Tabela 5.10. Przypadek użycia - Historia badań użytkowników

| Przypadek użycia | Wykresy |
|-----------------------|--|
| Aktor | Administrator |
| Warunki początkowe | Administrator jest zalogowany na swoim koncie. |
| Zdarzenie inicjujące | Administrator chce przeglądać wykresy z uśrednionymi wynikami z badań. |
| Scenariusz podstawowy | Administrator klika w przycisk "Wykresy". Strona prezentuje wykresy ilustrujące średnie wyniki czasów i błędów poszczególnych badań, z uwzględnieniem podziału na płeć oraz grupy wiekowe. |
| Rezultat | Strona umożliwia przeglądanie wykresów wizualizujących uśrednione dane z badań. |

Tabela 5.11. Przypadek użycia - Wykresy

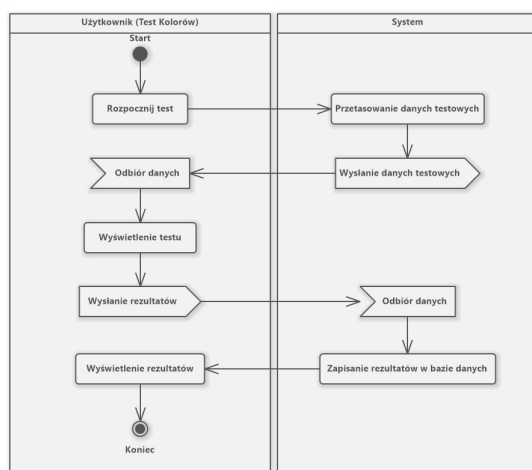


Rys. 5.2. Diagram przypadków użycia - aplikacja webowa

5.2. Diagramy aktywności

5.2.1. Test Kolorów

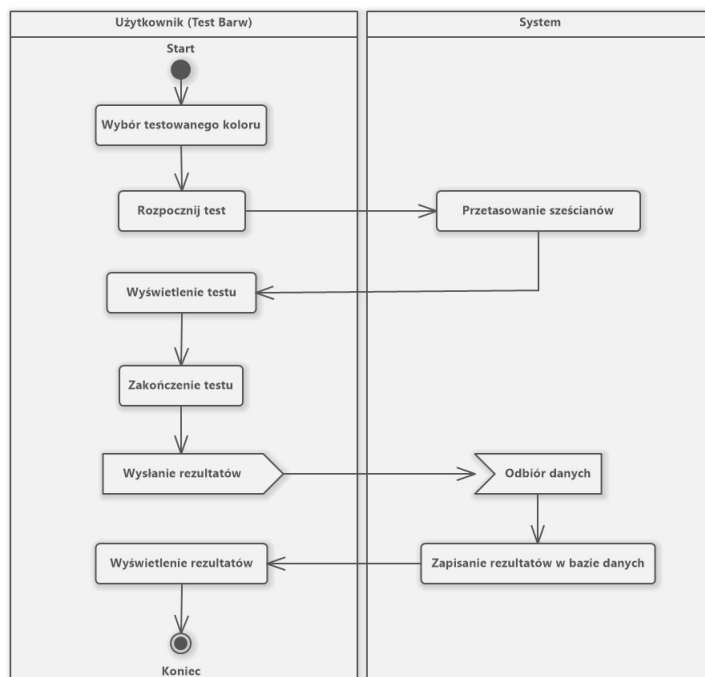
Rys. 5.3 przedstawia diagram aktywności Testu Kolorów, który uruchamia się po kliknięciu przycisku "Rozpocznij". System losowo wyświetla użytkownikowi kolory oraz odpowiedzi pod nimi. Użytkownik udziela odpowiedzi na pytanie, jakie kolory widzi. Po zakończeniu testu wyświetlane są wyniki, a następnie są one wysyłane do bazy danych.



Rys. 5.3. Diagram aktywności - Test Kolorów

5.2.2. Test Barw

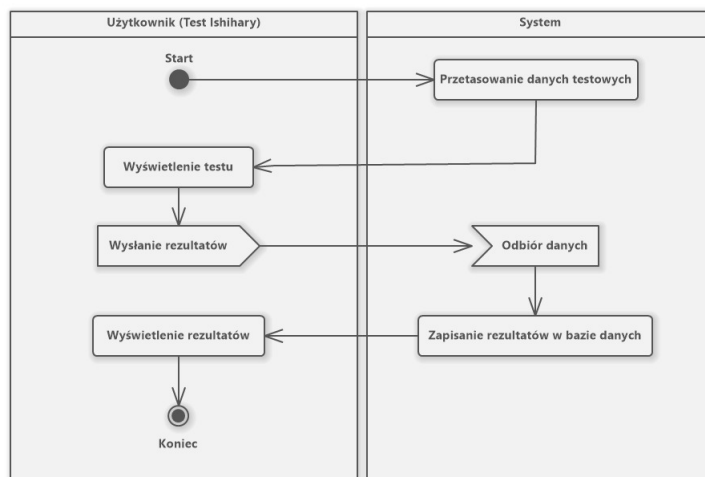
Rys. 5.4 przedstawia diagram aktywności Testu Barw, w którym użytkownik na początku wybiera kolor, który chce przebadac, a następnie rozpoczyna test. Zadaniem testu jest ustawienie 5 sześciątów w pudełkach w odpowiedniej kolejności - od lewego, najbardziej nasyconego koloru, do prawego, najmniej nasyconego koloru. Po kliknięciu przycisku "Zakończ" test zostaje zakończony, a wynik jest wyświetlany i wysyłany do bazy danych.



Rys. 5.4. Test Barw

5.2.3. Test Ishihary

Rys. 5.5 przedstawia diagram aktywności Testu Ishihary, w którym losowo wyświetlane są tablice Ishihary. Zadaniem użytkownika jest wpisanie widzianej liczby w odpowiednim miejscu pod tablicą. Po zakończeniu testu wyświetlane są wyniki, które następnie są wysyłane do bazy danych.



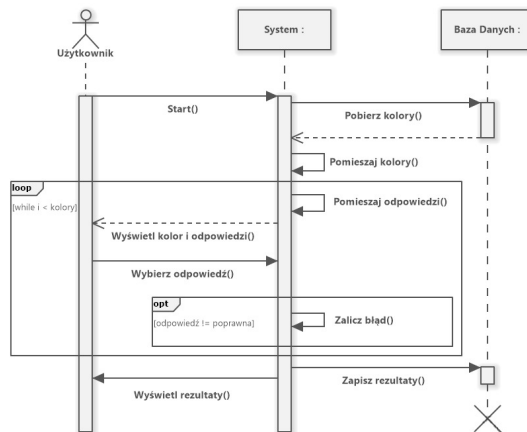
Rys. 5.5. Diagram aktywności - Test Ishihary

5.3. Diagramy sekwencji

5.3.1. Diagram sekwencji - Test Kolorów

Rys. 5.6 przedstawia diagram sekwencji Testu Kolorów. Po kliknięciu przycisku "Rozpocznij", system wysyła zapytanie do bazy danych w celu pobrania kolorów przeznaczonych do testu. Następnie system

miesza kolory i rozpoczyna test. Na początku każdego pytania o kolor, odpowiedzi są mieszane, aby pojawiały się w losowej kolejności. Użytkownik wybiera odpowiedź, a jeśli wybierze błędną, system nalicza błąd. Test trwa, dopóki użytkownik nie odpowie na wszystkie pytania o kolory. Po zakończeniu testu system wysyła dane do bazy danych, a następnie wyświetla użytkownikowi jego wyniki.



Rys. 5.6. Diagram sekwencji - Test Kolorów

5.3.2. Test Barw

Rys. 5.7 przedstawia diagram sekwencji Testu Barw, w którym na początku użytkownik wybiera kolor, który chce przebadac. Po wybraniu koloru system miesza sześciany oraz nadaje im odpowiednie kolory za pomocą następującego kodu:

```

for (int i = 0; i < cubes.Length/3; i++)
{
    int x = 0 + (45 * i);
    // Set red colors for 5 cubes
    cubes[i].GetComponent<Renderer>().material.color = new Color32(255,
                                                                    Convert.ToByte(x),
                                                                    Convert.ToByte(x),
                                                                    255);

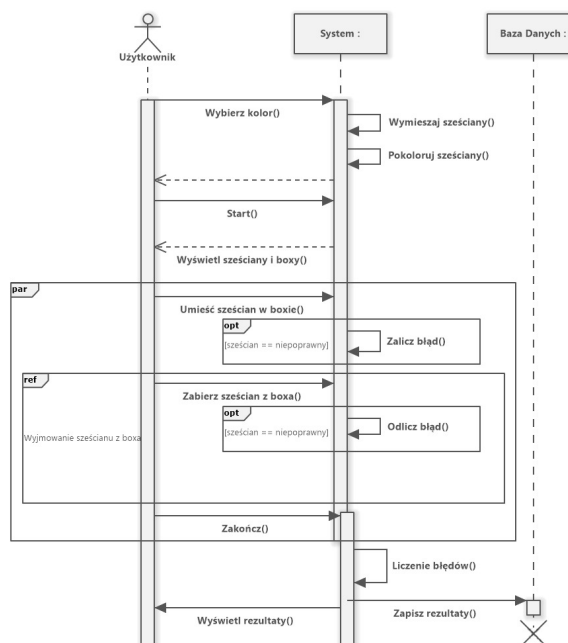
    cubes[i].name = $"255{x}{x}";
    // Set green colors for 5 cubes
    cubes[i+5].GetComponent<Renderer>().material.color = new Color32(Convert.ToByte(x),
                                                                    255,
                                                                    Convert.ToByte(x),
                                                                    255);

    cubes[i+5].name = $"{x}255{x}";
    // Set blue color for 5 cubes
    cubes[i+10].GetComponent<Renderer>().material.color = new Color32(Convert.ToByte(x),
                                                                    Convert.ToByte(x),
                                                                    255,
                                                                    255);

    cubes[i+10].name = $"{x}{x}255";
}
  
```

Następnie, po kliknięciu przycisku "Rozpocznij", system wyświetla użytkownikowi wszystkie 15 sześcianów. Użytkownik rozpoczyna test, a podczas niego, jeśli ustawi sześcian w pudełku błędnie, naliczany jest błąd. Jeśli jednak wyciągnie go, błąd zostaje odliczony. Jeżeli w pudełku znajduje się prawidłowy sześcian, a użytkownik doda kolejny, system nie dolicza błędu, liczy się tylko pierwszy umiejscowiony

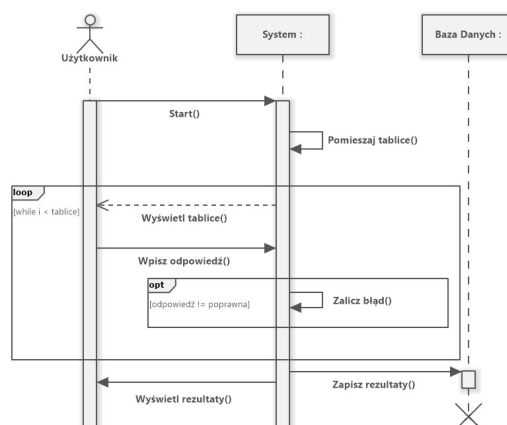
391 sześcián. Test kończy się po kliknięciu przycisku "Zakończ". Po zakończeniu system sprawdza poprawność
 392 umiejscowienia sześciánów i liczy błędy. Następnie system wysyła wyniki do bazy danych i wyświetla je
 393 użytkownikowi.



Rys. 5.7. Test Barw

5.3.3. Test Ishihary

394 Rys. 5.8 przedstawia diagram sekwencji Testu Ishihary, który rozpoczyna się od razu po jego uruchomieniu z panelu menu. System losowo miesza tablice, które są zainstalowane razem z aplikacją, a następnie
 395 wyświetla je użytkownikowi. Użytkownik wpisuje odpowiedź w wyznaczonym polu input pod tablicą. Jeśli
 396 użytkownik wpisze błędną odpowiedź, naliczany jest błąd. Test trwa, dopóki użytkownik nie udzieli odpow-
 397 wiedzi na wszystkie tablice. Po zakończeniu testu system wysyła wyniki do bazy danych i wyświetla je
 398 użytkownikowi.
 399
 400



Rys. 5.8. Diagram sekwencji - Test Ishihary

6. Interfejs graficzny aplikacji

W poniższym rozdziale omówiono interakcję z aplikacją oraz stroną internetową z perspektywy użytkownika, ilustrując ją za pomocą zrzutów ekranu. Przedstawione obrazy pozwalają lepiej zobaczyć, jak użytkownik wchodzi w interakcję z obiema platformami i jakie oferują one funkcje.

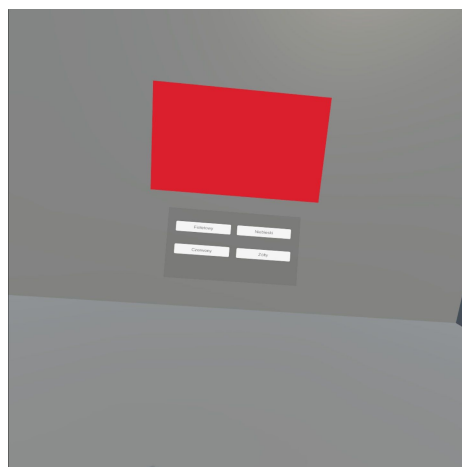
6.1. Interfejs aplikacji

Na Rys. 6.1 przedstawiono scenę logowania do aplikacji, gdzie użytkownik wprowadza swoje dane logowania, takie jak nazwa użytkownika i hasło, w odpowiednie pola formularza.



Rys. 6.1. Scena logowania do aplikacji

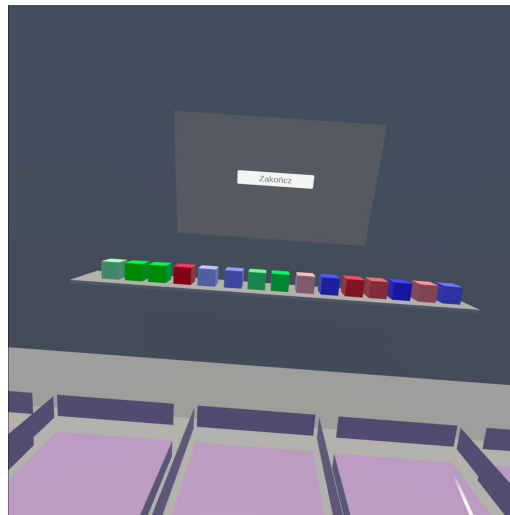
Rys. 6.2 przedstawia ekran z momentu, gdy użytkownik wykonuje test kolorów w aplikacji. Można na nim zobaczyć interfejs testu, w tym kolor wyświetlany na tablicy oraz cztery odpowiedzi wyświetlane bezpośrednio pod tablicą.



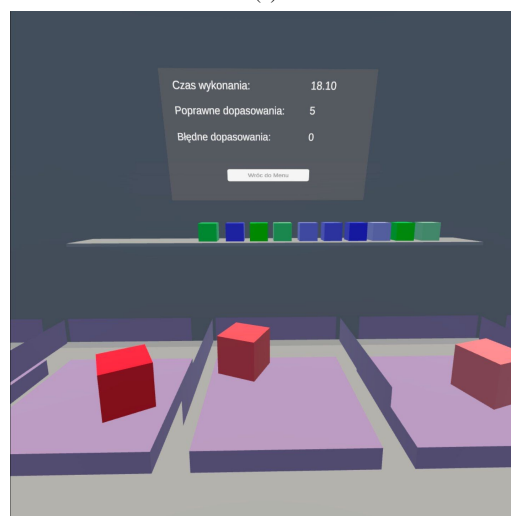
Rys. 6.2. Tablica i odpowiedzi w Teście Kolorów

Rys. 6.3 przedstawia ekrany z momentu, gdy użytkownik wykonuje test barw w aplikacji. Można na nich zobaczyć interfejs testu, w tym bloki o różnych kolorach i barwach oraz pięć pudełek, na których

413 użytkownik musi położyć odpowiednie bloki od najbardziej nasyconego (lewe pudełko) do najmniej nasy-
414 conego (prawe pudełko).



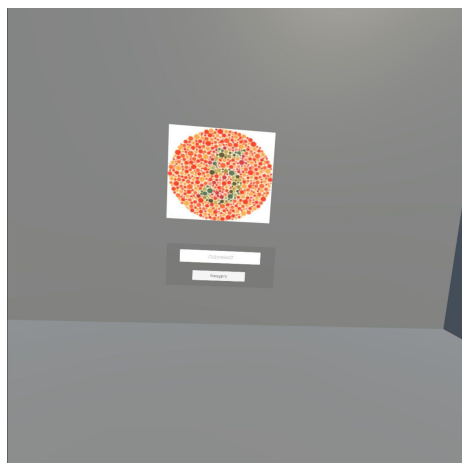
(a)



(b)

Rys. 6.3. (a) Początek Testu Barw i (b) Tablica wyników Testu Barw

415 Rys. 6.4 przedstawia ekran z momentu, gdy użytkownik wykonuje test Ishihary. Można na nim zoba-
416 czyć interfejs testu, w tym tablicę, która wyświetla poszczególne tablice Ishihary oraz panel odpowiedzi.
417 Użytkownik ma za zadanie wpisać w pole odpowiedzi widzianą liczbę. Jeśli tablica nie wyświetla liczby to
418 użytkownik powinien zostawić pustą pole i kliknąć przycisk "Następny".



Rys. 6.4. Tablica oraz panel odpowiedzi w Teście Ishihary

6.2. Interfejs strony internetowej

Na Rys. 6.5 przedstawiono stronę logowania, gdzie użytkownik wprowadza swoje dane logowania, takie jak nazwa użytkownika i hasło, w odpowiednie pola formularza.

A screenshot of a web login form. The form is titled "Logowanie" and contains two input fields: "Nazwa użytkownika" and "Hasło". Below the fields is a purple button labeled "Zaloguj się". At the bottom of the form, there is a link that says "Nie masz jeszcze konta? Rejestracja".

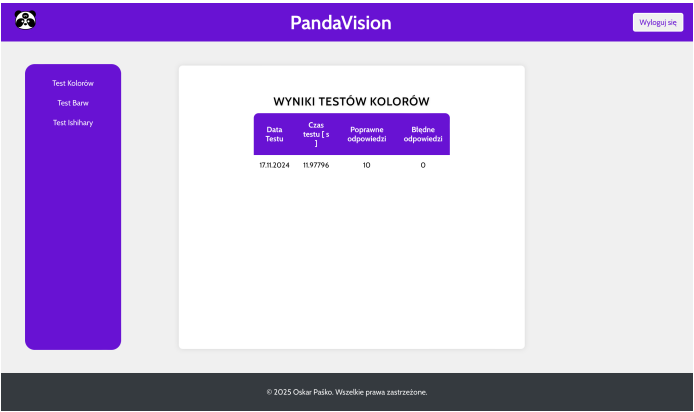
Rys. 6.5. Strona logowania do aplikacji webowej

Na Rys. 6.6 przedstawiono formularz rejestracji do aplikacji, gdzie użytkownik wprowadza swoje dane tj. nazwa użytkownika, data urodzenia, płeć oraz hasło w odpowiednie pola formularza.

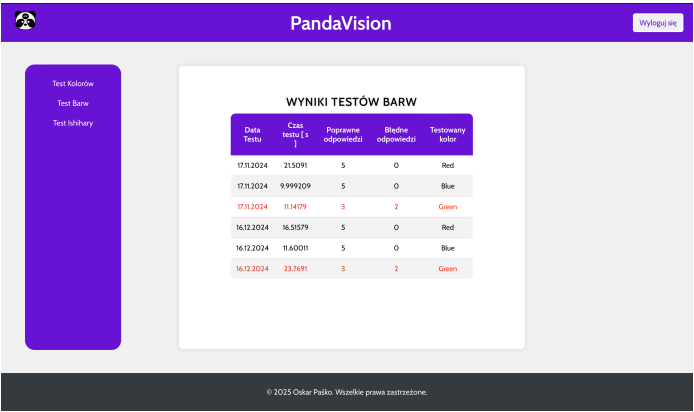
A screenshot of a web registration form. The form is titled "Rejestracja" and contains several input fields: "Nazwa użytkownika", "Data urodzenia" (with a date picker showing 05/01/2025), "Wybierz płeć", "Hasło", and "Potwierdź hasło". Below the fields is a purple button labeled "Zarejestruj się". At the bottom of the form, there is a link that says "Masz już konto? Logowanie".

Rys. 6.6. Strona rejestracji do strony webowej

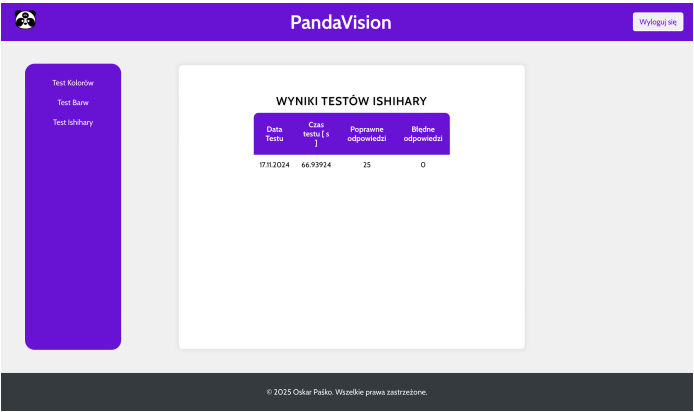
424 Rys. 6.7, Rys. 6.8, Rys. 6.9 przedstawiają podstrony użytkownika, na których może on sprawdzać swoje
425 wyniki testów.



Rys. 6.7. Wyniki użytkownika w Testach Kolorów

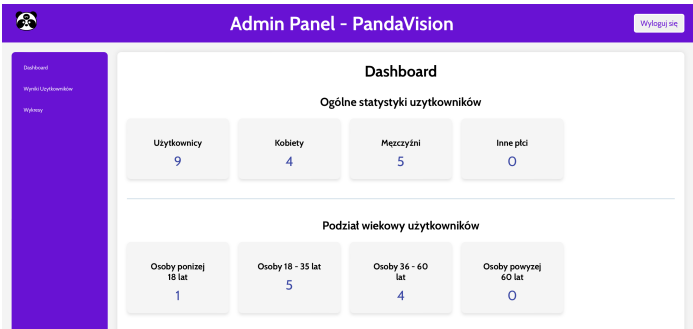


Rys. 6.8. Wyniki użytkownika w Testach Barw



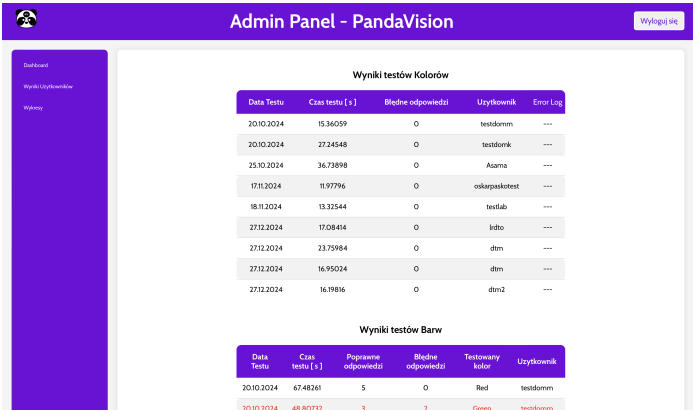
Rys. 6.9. Wyniki użytkownika w Testach Ishihary

426 Rys. 6.10 przedstawia główną stronę administratora, na której są ukazane podstawowe statystyki doty-
427 czące testów.



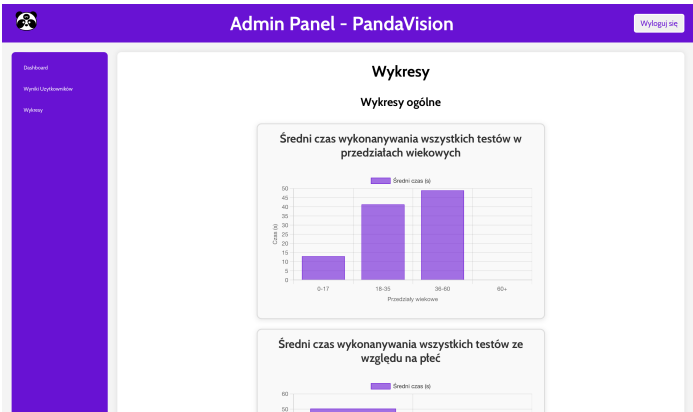
Rys. 6.10. Panel główny strony administratora

428 Rys. 6.11 przedstawia stronę z wynikami wszystkich użytkowników we wszystkich testach.



Rys. 6.11. Wyniki użytkowników we wszystkich testach

429 Rys. 6.10 przedstawia stronę z wykresami dotyczącymi różnych zagadnień np. różnica czasu wzglę-
430 dem płci lub wieku.



Rys. 6.12. Strona z wykresami

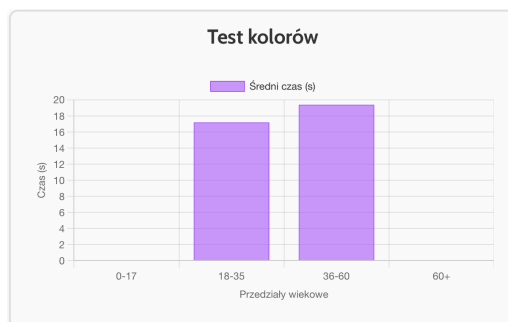
431 7. Analiza wyników pracy

432 W tym rozdziale została podjęta próba szczegółowej analizy i interpretacji wyników uzyskanych w ra-
433 mach przeprowadzonej pracy. Badania zostały przeprowadzone na grupie 20 osób, które nie cierpią na
434 żaden rodzaj daltonizmu. W szczególności skoncentrowano się na zrozumieniu istotnych zależności, które
435 pojawiły się w trakcie realizacji badań oraz obserwacji. Wnioski wyciągnięte z tej analizy pozwolą na
436 sformułowanie ostatecznych rekomendacji i odpowiedzi na postawione w pracy pytania badawcze.

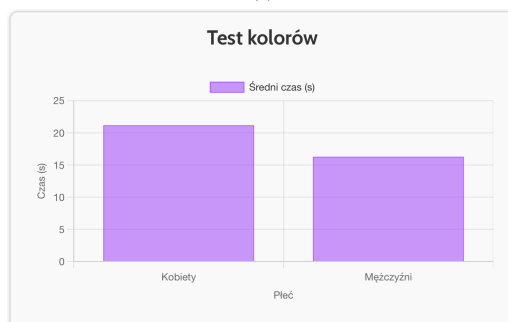
437 7.1. Czas wykonania testów

438 **Test Kolorów i Test Ishihary:** Średni czas wykonania testu przez wszystkich uczestników wyniósł
439 około *18,3 sekundy* dla Testu Kolorów i *111,2 sekund* dla Testu Ishihary. Większość osób ukończyła oba
440 testy w stosunkowo krótkim czasie, co sugeruje ich intuicyjność. Z wykresu 7.1a wynika, że użytkownicy
441 w przedziale wiekowym 18-35 lat ukończyli Test Kolorów w średnim czasie *17,2 sekund*, natomiast uczest-
442 nicy w grupie wiekowej 36-60 lat potrzebowali średnio *19,4 sekund*. Podobne zależności obserwujemy
443 w przypadku Testu Ishihary, gdzie młodsze osoby zakończyły test w czasie *97,3 sekund*, a starsze w *125*
444 *sekund* na co wskazuje wykres 7.2a. Wnioskuje się, że młodsze osoby radzą sobie z testami szybciej, co
445 może być związane z większą biegłością w obsłudze aplikacji lub szybszym przetwarzaniem wizualnym.

446 Dodatkowo, z wykresów 7.1b i 7.2b wynika, że mężczyźni wykonali oba testy szybciej niż kobiety, osią-
447 gając średni czas *16,3 sekund* w teście Kolorów i *81,4* w teście Ishihary, podczas gdy kobiety potrzebowaly
448 średnio *21,2 sekund* w teście Kolorów i *145,8 sekund* w teście Ishihary. To może sugerować, że mężczyźni
449 byli nieco bardziej efektywni w realizacji tych testów, choć różnice te są stosunkowo niewielkie.

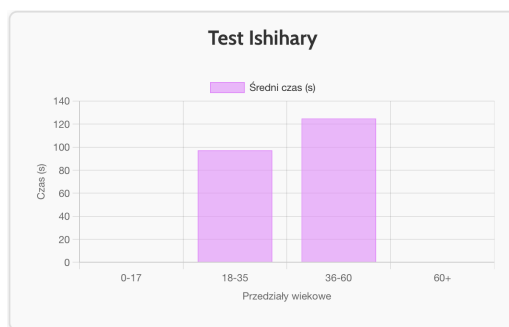


(a)

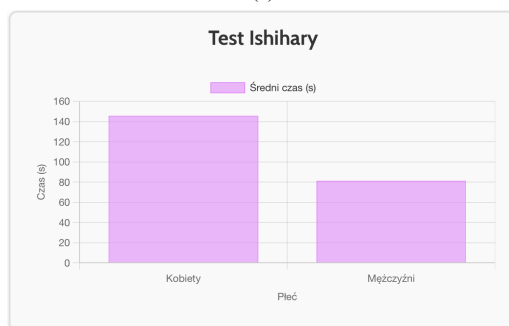


(b)

Rys. 7.1. Wykresy czasów w teście kolorów ze względu na (a) wiek i (b) płeć.



(a)



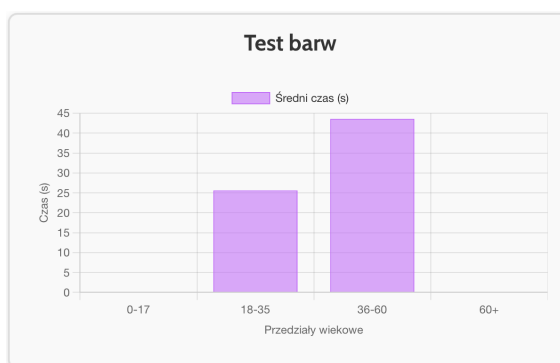
(b)

Rys. 7.2. Wykresy czasów w teście Ishihary ze względu na (a) wiek i (b) płeć.

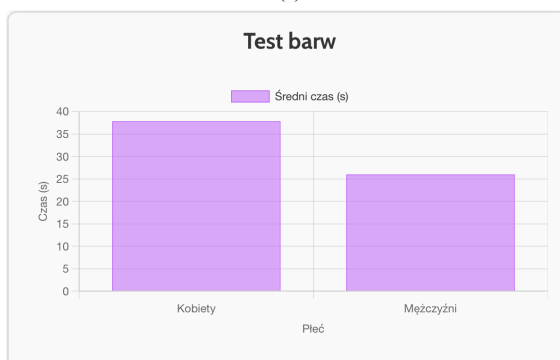
Test Barw: Średni czas wykonania Testu Barw przez uczestników wyniósł około *31,9 sekund*. Analiza wyników pod kątem wieku wykazała wyraźne różnice między grupami. Z wykresu 7.3a wynika, że osoby w przedziale wiekowym 18-35 lat ukończyły test średnio w czasie *25,7 sekund*, podczas gdy osoby w grupie wiekowej 36-60 lat potrzebowały zdecydowanie więcej czasu, średnio *43,6 sekund*. Starsze grupy wiekowe zdawały się napotykać większe trudności, co może być związane z obniżoną zdolnością do szybkiego różnicowania barw, większą ostrożnością przy wyborze odpowiedzi lub mniejszą biegłością w obsłudze aplikacji, co mogło wpływać na ich komfort podczas wykonywania testu.

Analizując wyniki pod kątem płci zauważono, że mężczyźni wykonali test nieco szybciej, osiągając średni czas *26,0 sekund*, w porównaniu do kobiet, które potrzebowały średnio *37,9 sekund*, co zostało przedstawione na wykresie 7.3b. Może to sugerować różnice w podejściu do testu, gdzie kobiety mogły bardziej koncentrować się na szczegółach, co wydłużyło czas wykonania.

Dla starszej grupy wiekowej różnice w czasie wykonania były najbardziej znaczące, niezależnie od płci. Może to wynikać z ograniczeń percepcyjnych związanych z wiekiem, takich jak spadek szybkości przetwarzania wizualnego oraz większego zmęczenia podczas testu.



(a)



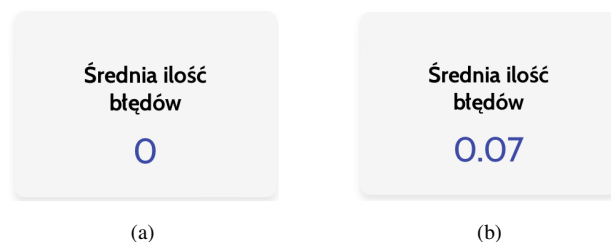
(b)

Rys. 7.3. Wykresy czasów w teście barw ze względu na (a) wiek i (b) płeć.

7.2. Liczba popełnionych błędów

Test Kolorów i Test Ishihary: Analiza wyników wskazuje, że średnia liczba błędów w Teście Kolorów wyniosła *0*, co oznacza, że uczestnicy nie mieli trudności z poprawnym wykonaniem zadań. W przypadku Testu Ishihary średnia liczba błędów była minimalnie wyższa i wyniosła *0,07*, co nadal mieści się w granicach akceptowalnych błędów. Taka niewielka liczba błędów mogła wynikać z chwilowego rozkojarzenia uczestników lub niedokładnego odczytania instrukcji. Wyniki te są przedstawione na Rys. 7.4a i 7.4b, które obrazują wysoką dokładność odpowiedzi w obu testach.

Obie średnie wskazują, że zadania w tych testach były zrozumiałe i dobrze dostosowane, a sporadyczne błędy miały najprawdopodobniej charakter przypadkowy.

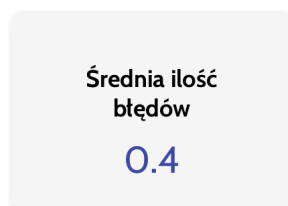


Rys. 7.4. Średnie ilości błędów popełniane w testach: (a) Kolorów i (b) Ishihary

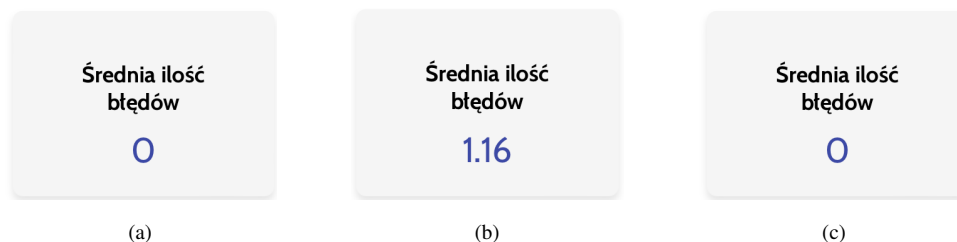
Test Barw: Największa liczba błędów została odnotowana w Teście Barw, gdzie średnia wyniosła 0,4, co można zaobserwować na Rys. 7.5. Analiza wyników wskazuje, że uczestnicy nie popełniali błędów w rozróżnianiu barw czerwonej i niebieskiej, co świadczy o dobrej widoczności tych kolorów.

Jednak w przypadku rozróżniania koloru zielonego średnia liczba błędów na test wyniosła 1,16, niezależnie od płci i wieku uczestników, co obrazuje Rys. 7.6b. Jest to najwyższy wskaźnik błędów we wszystkich testach, sugerujący, że odcienie zielonego koloru mogły być trudniejsze do jednoznacznego rozpoznania.

Dodatkowo, z wykresu 7.7a wynika, że mężczyźni nieznacznie częściej popełniali błędy w rozróżnianiu koloru zielonego w porównaniu do kobiet. Natomiast analiza wiekowa przedstawiona na wykresie 7.7b wskazuje, że osoby starsze znacznie częściej miały trudności w tym obszarze. Te różnice mogą być wynikiem naturalnych ograniczeń percepcyjnych u starszych uczestników, takich jak spadek zdolności różnicowania podobnych odcieni barw.



Rys. 7.5. Średnia ilość błędów popełniana w Teście Barw.



Rys. 7.6. Średnie ilości błędów popełniane w Teście Kolorów w zależności od koloru: (a) czerwony, (b) zielony i (c) niebieski.



Rys. 7.7. Średnie ilości błędów popełniane w Teście Kolorów w kolorze zielonym w zależności od: (a) wieku i (b) płci.

7.3. Możliwe przyczyny zaobserwowanych wyników

Zauważono, że w Teście Barw błędy skupiały się wokół koloru zielonego, a dokładniej bardziej nasyconej barwy. Możliwymi przyczynami tego zjawiska są subtelne różnice między odcieniami zielonego, które wymagają większej precyzji w rozróżnianiu. Ludzka zdolność do rozróżniania kolorów zależy od kilku czynników, takich jak nasycenie i jasność. W przypadku intensywnych barw, różnice między odcieniami stają się mniej widoczne, co może prowadzić do większej liczby błędów.

Ponadto, wrażliwość na kolory zmienia się w zależności od odcienia. Odcienie zieleni mogą być trudniejsze do jednoznacznego rozróżnienia w porównaniu do innych kolorów, ponieważ ludzkie oko jest mniej czułe na drobne różnice w zakresie koloru zielonego. Zdolność do rozróżniania kolorów jest również ściśle powiązana z poziomem światła – w warunkach niedostatecznego lub nadmiernego oświetlenia rozróżnianie zielonych odcieni może być mniej efektywne. [8]

Nie można też wykluczyć, że sprzęt wykorzystywany do wyświetlania testów mógł mieć wpływ na wyniki. Nawet niewielkie błędy w odwzorowaniu barw mogą znacząco utrudniać ich rozróżnienie, zwłaszcza w przypadku zielonych odcieni, które są trudniejsze do rozpoznania w sposób intuicyjny. Subtelne różnice w reprodukcji kolorów mogą więc być dodatkowym czynnikiem, który wpływał na zwiększoną liczbę błędów w tym teście.

Podsumowując, trudności w rozróżnianiu nasycenia zieleni mogą wynikać zarówno z ograniczeń percepcyjnych ludzkiego oka, jak i z technicznych niedoskonałości w prezentacji kolorów.

7.4. Wpływ płci i wieku na wyniki

Z danych zebranych w ramach tego badania widać pewne różnice w wynikach w zależności od płci i wieku uczestników:

- **Płeć:** Kobiety i mężczyźni różnili się nieznacznie w czasie wykonania testów i liczbie popełnionych błędów. Mężczyźni, wykazywali nieznacznie krótszy czas wykonania, co może wynikać z doświadczenia w korzystaniu z podobnych aplikacji.
- **Wiek:** Uczestnicy młodszej grupy wiekowej mieli tendencję do szybszego wykonania testów, podczas gdy osoby starsze potrzebowały więcej czasu, co może być związane z różnicami w zdolnościach poznawczych i percepcyjnych. Ponadto, osoby starsze popełniały nieco więcej błędów, co może sugerować większe trudności w interpretacji subtelnych różnic między kolorami.

513 8. Wnioski

- 514 1. **Test Kolorów** cechuje się najmniejszą liczbą błędów i krótkim czasem wykonania, co sugeruje jego
515 zrozumiałość i łatwość obsługi.
- 516 2. **Test Barw** generował najwięcej błędów, co może wynikać z trudności w odróżnianiu podobnych
517 barw.
- 518 3. **Test Ishihary** znajduje się pomiędzy pozostałymi testami pod względem trudności, z minimalnym
519 występowaniem błędów.

520 Kluczowe ograniczenia badań to brak w próbie osób z daltonizmem, co uniemożliwia ocenę skutecz-
521 ności aplikacji w diagnozowaniu tej przypadłości. Wykryte problemy z błędami i czasem wykonania mogą
522 jednak stanowić cenne wskazówki dotyczące funkcjonalności i projektowania aplikacji.

9. Udoskonalenia aplikacji

W poniższym rozdziale przedstawiono propozycje udoskonalień aplikacji, które będą miały na celu podniesienie jakości jej działania oraz poprawę doświadczeń użytkowników. Opisane zmiany obejmują zarówno rozszerzenie funkcjonalności narzędzi testowych, jak i wprowadzenie nowych rozwiązań wspierających analizę wyników oraz prezentację danych. Szczególny nacisk położono na integrację zaawansowanych technologii, takich jak eye-tracking, a także na rozwój narzędzi raportujących i ułatwiających monitorowanie wyników.

1. Zwiększenie liczby przeprowadzanych testów

Dążenie do uzyskania bardziej reprezentatywnych danych poprzez przeprowadzenie większej liczby testów, co pozwoli na bardziej precyzyjną ocenę wyników. Przeprowadzenie badań na grupie osób z daltonizmem w celu pełnej weryfikacji skuteczności aplikacji.

2. Integracja urządzenia eye-trackingowego

Wprowadzenie analizy ścieżki wzroku uczestników testów za pomocą urządzenia eye-trackingowego. Dzięki temu możliwe będzie lepsze zrozumienie procesu podejmowania decyzji przez użytkowników.

3. Uwzględnienie różnych grup użytkowników

Rozbudowanie bazy danych o informacje na temat użytkowników rozpoznających kolory, osób z zaburzeniami w rozpoznawaniu kolorów oraz tych, którzy jeszcze nie zostali zdiagnozowani. Umożliwi to obliczenie uśrednionych czasów reakcji i błędów dla różnych grup użytkowników, co wpłynie na bardziej kompleksowe analizy.

4. Wdrożenie nowych testów w aplikacji

Rozszerzenie funkcjonalności aplikacji poprzez implementację nowych testów, co pozwoli na jeszcze dokładniejsze badanie różnych aspektów.

5. Ulepszenie strony internetowej użytkownika

Aktualizacja strony internetowej użytkownika, aby umożliwić porównanie indywidualnych wyników z wynikami średnimi innych uczestników. Dzięki temu użytkownicy będą mogli lepiej ocenić swoje osiągnięcia w kontekście całej grupy.

6. Generowanie raportów dla administratora

Dodanie funkcjonalności pozwalającej administratorowi na generowanie raportów zawierających szczegółowe dane o wszystkich błędach z poszczególnych badań. Ułatwi to monitorowanie i analizę wyników na większą skalę.

7. Współpraca ze specjalistami

Próba nawiązania współpracy ze specjalistami w dziedzinie okulistyki w celu wdrożenia i rozbudowania aplikacji na szerszą skalę.

Wprowadzenie tych zmian znacząco podniesie efektywność procesu testowania oraz jakość wyników, jednocześnie dostarczając lepszych narzędzi zarówno użytkownikom, jak i administratorom.

559 Bibliografia

- 560 [1] Elias I. Traboulsi Alex Melamund, Stephanie Hagstrom. *Color wision testing*. 2003.
- 561 [2] Visual Studio Code. Why did we build visual studio code?, 2024.
- 562 [3] Halina Cwierz, Francisco Díaz-Barrancas, Julia Gil Llinás, and Pedro J. Pardo. *On the Validity of Vir-*
563 *tual Reality Applications for Professional Use: A Case Study on Color Vision Research and Diagnosis*.
564 IEEE Access, 2021.
- 565 [4] Flask. Flask, 2024.
- 566 [5] The National Eye Institute. Facts about color blindness, 2015.
- 567 [6] Michael J. Bamshad Lynn B. Jorde, John C. Carey. *Medical Genetics*. Elsevier, 2015.
- 568 [7] Medicovery. Daltonizm - przyczyny, objawy i leczenie ślepoty barw, 2023.
- 569 [8] Konica Minolta. Precise color communication.
- 570 [9] PubNub. Technical overview of unity game engine, 2023.
- 571 [10] React. React reference overview, 2024.

Spis rysunków

| | | | |
|-----|------|---|----|
| 573 | 2.1 | Rodzaje zaburzeń widzenia barw [7] | 12 |
| 574 | 2.2 | Tablice Ishihary [7] | 13 |
| 575 | 4.1 | Diagram ERD | 17 |
| 576 | 5.1 | Diagram przypadków użycia - Logowanie | 20 |
| 577 | 5.2 | Diagram przypadków użycia - aplikacja webowa | 22 |
| 578 | 5.3 | Diagram aktywności - Test Kolorów | 22 |
| 579 | 5.4 | Test Barw | 23 |
| 580 | 5.5 | Diagram aktywności - Test Ishihary | 23 |
| 581 | 5.6 | Diagram sekwencji - Test Kolorów | 24 |
| 582 | 5.7 | Test Barw | 25 |
| 583 | 5.8 | Diagram sekwencji - Test Ishihary | 25 |
| 584 | 6.1 | Scena logowania do aplikacji | 26 |
| 585 | 6.2 | Tablica i odpowiedzi w Teście Kolorów | 26 |
| 586 | 6.3 | (a) Początek Testu Barw i (b) Tablica wyników Testu Barw | 27 |
| 587 | 6.4 | Tablica oraz panel odpowiedzi w Teście Ishihary | 28 |
| 588 | 6.5 | Strona logowania do aplikacji webowej | 28 |
| 589 | 6.6 | Strona rejestracji do strony webowej | 28 |
| 590 | 6.7 | Wyniki użytkownika w Testach Kolorów | 29 |
| 591 | 6.8 | Wyniki użytkownika w Testach Barw | 29 |
| 592 | 6.9 | Wyniki użytkownika w Testach Ishihary | 29 |
| 593 | 6.10 | Panel główny strony administratora | 30 |
| 594 | 6.11 | Wyniki użytkowników we wszystkich testach | 30 |
| 595 | 6.12 | Strona z wykresami | 30 |
| 596 | 7.1 | Wykresy czasów w teście kolorów ze względu na (a) wiek i (b) płeć. | 31 |
| 597 | 7.2 | Wykresy czasów w teście Ishihary ze względu na (a) wiek i (b) płeć. | 32 |
| 598 | 7.3 | Wykresy czasów w teście barw ze względu na (a) wiek i (b) płeć. | 33 |
| 599 | 7.4 | Średnie ilości błędów popełniane w testach: (a) Kolorów i (b) Ishihary | 34 |
| 600 | 7.5 | Średnia ilość błędów popełniana w Teście Barw. | 34 |
| 601 | 7.6 | Średnie ilości błędów popełniane w Teście Kolorów w zależności od koloru: (a) czerwony, | |
| 602 | | (b) zielony i (c) niebieski. | 34 |

| | | |
|-----|---|----|
| 603 | 7.7 Średnie ilości błędów popełniane w Teście Kolorów w kolorze zielonym w zależności od: | |
| 604 | (a) wieku i (b) płci. | 35 |

Spis tabel

| | | | |
|-----|------|---|----|
| 606 | 5.1 | Przypadek użycia - Logowanie (aplikacja VR) | 18 |
| 607 | 5.2 | Przypadek użycia - Lista badań | 19 |
| 608 | 5.3 | Przypadek użycia - Opis badania | 19 |
| 609 | 5.4 | Przypadek użycia - Tutorial badań | 19 |
| 610 | 5.5 | Przypadek użycia - Start badania | 19 |
| 611 | 5.6 | Przypadek użycia - Logowanie (aplikacja webowa) | 20 |
| 612 | 5.7 | Przypadek użycia - Rejestracja | 20 |
| 613 | 5.8 | Przypadek użycia - Historia badań | 21 |
| 614 | 5.9 | Przypadek użycia - Statystyki | 21 |
| 615 | 5.10 | Przypadek użycia - Historia badań użytkowników | 21 |
| 616 | 5.11 | Przypadek użycia - Wykresy | 21 |

617 **Streszczenie pracy**

618 **Wykorzystanie urządzeń wirtualnej rzeczywistości do diagnozowania** 619 **schorzeń związanych z daltonizmem**

620 Praca przedstawia system diagnostyczny składający się z dwóch głównych komponentów: aplikacji
621 działającej na urządzeniu wirtualnej rzeczywistości Oculus Quest 2 oraz aplikacji webowej do analizy da-
622 nych. Aplikacja VR umożliwia przeprowadzenie trzech testów diagnostycznych, które oceniają zdolność
623 użytkowników do rozpoznawania barw i kolorów. Dzięki wirtualnemu środowisku testy te są bardziej im-
624 mersyjne i precyzyjne, co pozwala na dokładniejsze zbieranie danych. Uzupełnieniem systemu jest aplika-
625 cja webowa, która służy do gromadzenia wyników testów, ich przetwarzania oraz analizy. Takie podejście
626 umożliwia kompleksową diagnozę użytkowników pod kątem percepcji kolorów oraz efektywną obróbkę
627 danych w celach badawczych i diagnostycznych.

Abstract

Utilization of Virtual Reality Devices for Diagnosing Color Vision Deficiency

The work presents a diagnostic system consisting of two main components: an application running on the Oculus Quest 2 virtual reality device and a web application for data analysis. The VR application enables the execution of three diagnostic tests that assess users' ability to recognize colors and shades. Through the use of a virtual environment, these tests are more immersive and precise, allowing for more accurate data collection. The system is complemented by a web application designed for collecting test results, processing them, and conducting analyses. This approach facilitates a comprehensive diagnosis of users' color perception and efficient data processing for research and diagnostic purposes.

638

639

Załącznik nr 2 do Zarządzenia nr 228/2021 Rektora Uniwersytetu Rzeszowskiego z dnia 1 grudnia 2021 roku w sprawie ustalenia procedury antyplagiatowej w Uniwersytecie Rzeszowskim

640

OŚWIADCZENIE STUDENTA O SAMODZIELNOŚCI PRACY

641

..... Oskar Paśko

642

Imię (imiona) i nazwisko studenta

643

644

Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych

645

646

..... Informatyka i Ekonometria

647

Nazwa kierunku

648

649

..... 117987

650

Numer albumu

651

1. Oświadczam, że moja praca dyplomowa pt.: Wykorzystanie urządzeń wirtualnej rzeczywistości do diagnozowania schorzeń związanych z daltonizmem

652

653

1) została przygotowana przeze mnie samodzielnie*,

654

2) nie narusza praw autorskich w rozumieniu ustawy z dnia 4 lutego 1994 roku o prawie autorskim i prawach pokrewnych (t.j. Dz.U. z 2021 r., poz. 1062) oraz dóbr osobistych chronionych prawem cywilnym,

655

656

657

3) nie zawiera danych i informacji, które uzyskałem/am w sposób niedozwolony,

658

4) nie była podstawą nadania dyplomu uczelni wyższej ani mnie, ani innej osobie.

659

2. Jednocześnie wyrażam zgodę/ nie wyrażam zgody** na udostępnienie mojej pracy dyplomowej do celów naukowo-badawczych z poszanowaniem przepisów ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych.

660

661

662

663

(miejscowość, data)

(czytelny podpis studenta)

664

* Uwzględniając merytoryczny wkład promotora pracy

665

* – niepotrzebne skreślić

666

667

Załącznik nr 3 do Zarządzenia nr 228/2021 Rektora Uniwersytetu Rzeszowskiego z dnia 1 grudnia 2021 roku w sprawie ustalenia procedury antyplagiatowej w Uniwersytecie Rzeszowskim

668

OŚWIADCZENIE STUDENTA O ZGODNOŚCI WERSJI PAPIEROWEJ I ELEKTRONICZNEJ PRACY

669

670

..... Oskar Paśko

671

Imię (imiona) i nazwisko studenta

672

673

Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych

674

675

..... Informatyka i Ekonometria

676

Nazwa kierunku

677

678

..... 117987

679

Numer albumu

680

Oświadczam, że treść pracy zamieszczonej przeze mnie w Systemie Wirtualna Uczelnia i zatwierdzonej przez promotora, jest identyczna z wersją drukowaną oraz zawartą na nośniku elektronicznym.

681

682

683

(miejscowość, data)

(czytelny podpis studenta)