

KONRAD BIERCEWICZ

**ZAPEWNIENIE JAKOŚCI PRODUKTU NA PODSTAWIE  
DETEKCJI CZYNNIKÓW PSYCHOFIZJOLOGICZNYCH  
DETERMINUJĄCYCH STOPIEŃ ZAANGAŻOWANIA  
UŻYTKOWNIKA GIER KOMPUTEROWYCH**

Autoreferat rozprawy doktorskiej

Promotor:

dr hab. inż. Mariusz Borawski, prof. US

Promotor pomocniczy:

dr inż. Jarosław duda

Recenzenci:

dr hab. Iwona Chomiak-Orsa,

prof. UE we Wrocławiu

dr hab. inż. Małgorzata Rutkowska,

prof. PWR

prof. dr hab. inż. Bolesław Borkowski

Szczecin 2024

# Spis treści

<b>1 UZASADNIENIE WYBORU TEMATU.....</b>	<b>3</b>
<b>2 CEL ROZPRAWY DOKTORSKIEJ I HIPOTEZY BADAWCZE.....</b>	<b>6</b>
<b>3 STRUKTURA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ .....</b>	<b>6</b>
<b>4 METODY BADAWCZE.....</b>	<b>7</b>
<b>5 PROCEDURA BADAWCZA .....</b>	<b>9</b>
<b>6 OKREŚLENIE JAKOŚCI ELEMENTÓW W GRZE PLATFORMOWEJ .....</b>	<b>18</b>
6.1 WYBÓR INDEKSU ZAANGAŻOWANIA.....	18
6.2 STUDIUM PRZYPADKU .....	20
6.3 BADANIE GRY PLATFORMOWEJ BEZ MODYFIKACJI .....	24
6.4 BADANIE WERYFIKACYJNE.....	27
6.5 PODSUMOWANIE ZAŁOŻEŃ KONCEPCJI .....	31
<b>WNIOSKI KOŃCOWE .....</b>	<b>33</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>36</b>
<b>ZAŁĄCZNIK NR 1: STRUKTURA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ.....</b>	<b>38</b>

# 1 Uzasadnienie wyboru tematu

Historia przemysłu gier wideo sięga 1971 roku wraz z wydaniem pierwszej komercyjnej gry o nazwie Computer Space (Goldberg and Vendel 2012). Umożliwiła graczom sterowanie wirtualnym statkiem kosmicznym w celu niszczenia latających spodków. Od tego czasu technologia gier wideo przeszła ogromną ewolucję, obejmując przejście od prostych automatów do gier po zaawansowaną grafikę, sztuczną inteligencję oraz możliwość wspólnej rozgrywki z graczami z całego świata. Jakość gier, stanowiąca kluczowy element tego rozwoju, odgrywa istotną rolę w przyciąganiu i zadowalaniu szerokiego grona graczy. Nowoczesne gry wideo kładą duży nacisk na realistyczną grafikę, zaawansowane mechaniki rozgrywki oraz emocjonującą fabułę, co przekłada się na zwiększenie zadowolenia użytkowników. Współczesny przemysł gier wideo nie tylko dynamicznie ewoluuje, ale także stawia coraz wyższe wymagania w zakresie jakości, co wpływa na atrakcyjność i konkurencyjność oferowanych tytułów na rynku światowym. Obecnie, według raportu Newzoo za 2023 rok, globalna sprzedaż gier wideo osiągnęła 184 miliardy dolarów, z udziałem tysięcy firm z całego świata.

Dla wielu osób gry są istotnym elementem codziennego życia. Tradycyjne gry polegają na uporządkowanej rywalizacji według ustalonych zasad i mierzalnych wynikach, stawiając graczom wyzwania, które dają poczucie osiągnięcia celu. Z kolei gry elektroniczne zdobywają coraz większą popularność, zwłaszcza wśród młodszego pokolenia, które dorastało z technologią i potrafi szybko przetwarzać informacje (Kaplan 2006). W kontekście gier elektronicznych, kluczowym aspektem staje się ich jakość, która odnosi się do ogólnej wartości i cech charakteryzujących daną grę. Jakość, będąca subiektywnym i względnym pojęciem, oceniana jest według różnych kryteriów. Gry o wysokiej jakości potrafią wciągnąć graczy w fascynujący świat, oferując emocjonującą rozrywkę, angażującą narrację i atrakcyjną oprawę wizualną.

Różne gatunki gier komputerowych, od fabularnych po logiczne czy platformowe, charakteryzują się unikalnymi cechami projektowymi. Istotne jest, aby projektowanie gier uwzględniało oczekiwania potencjalnych graczy dotyczące jakości rozgrywki. Nawet jeśli gracz nie ma doświadczenia w danym gatunku gier, odpowiednia motywacja może skłonić go do nauki wzorców interakcji w grze, co umożliwi mu osiągnięcie postępów. W kwestii jakości, kluczowe jest dopasowanie projektu gry do potrzeb i preferencji graczy, wspierając ich motywację do eksploracji nowych gatunków wraz z zapewnieniem satysfakcji z rozgrywki.

Projektowanie gier wideo jest nadal uważane za stosunkowo niezbadaną dziedzinę, zwłaszcza pod względem aspektów związanych z jakością (Duarte and Battaiola 2017). Dobrze zaprojektowana gra może wywoływać różnorodne reakcje u graczy, takie jak ekscytacja, rywalizacja, zabawa czy relaks. Efekty projektowania mają istotny wpływ na doświadczenia użytkowników, co z kolei wpływa na sukces gry. Doświadczenia związane z rozgrywką mogą obejmować przyjemność, motywację czy zabawę, co wpływa na ogólne wrażenia z gry. Utrzymanie zaangażowania gracza jest kluczowe do zapewnienia dynamicznej i angażującej rozgrywki, na przykład poprzez wprowadzanie nieprzewidywalnych zwrotów akcji.

Wraz z rozwojem społeczności graczy, twórcy gier coraz bardziej skupiają się na zrozumieniu, kiedy i w jakich sytuacjach zmienia się zaangażowanie graczy. Oprócz atrakcyjnej fabuły i innowacyjnych mechanik, ważne jest, aby precyzyjnie rozumieć, jak różne elementy gry współdziałają. Jakość projektu przejawia się nie tylko w wizualnych aspektach, ale również w płynności rozgrywki, intuicyjności interfejsu oraz zdolności gry do reagowania na decyzje gracza. W miarę postępu technologii, rosną również oczekiwania co do jakości gier. Twórcy muszą dostosowywać się do nowych standardów, dostarczając nie tylko atrakcyjne, lecz także dopracowane pod względem jakościowym doświadczenia. Odpowiednio zbalansowane i starannie zaprojektowane gry mogą zatem stanowić nie tylko źródło rozrywki, lecz również inspirujące wyzwania, zdolne trwale zatrzymać uwagę i zaangażowanie graczy.

W tym kontekście badania nad jakością gier nabierają coraz większego znaczenia, pomagając twórcom lepiej zrozumieć, które elementy wpływają na odbiór gry i jak je udoskonalać. Połączenie badań psychologicznych, analizy danych graczy oraz nowoczesnych narzędzi do monitorowania reakcji psychofizjologicznych otwiera nowe perspektywy w projektowaniu gier wideo. Współczesnym wyzwaniem dla twórców i producentów gier jest zapewnienie wysokiej jakości produktów. W związku z tym coraz większą wagę przykładana się do identyfikacji czynników psychofizjologicznych wpływających na zaangażowanie graczy. Odkrycia z dziedzin psychologii i neurologii wskazują, że doświadczenie gracza zależy nie tylko od technicznych aspektów gry, ale również od subtelnych interakcji między graczem a wirtualnym środowiskiem.

Czynniki psychofizjologiczne, takie jak reakcje emocjonalne, poziom stresu i skupienie uwagi, odgrywają kluczową rolę w kształtowaniu doświadczeń graczy. Dlatego nowoczesne podejście do zapewniania wysokiej jakości gier uwzględnia nie tylko kwestie techniczne, ale także wykorzystuje zaawansowane technologie do monitorowania i analizy stanu psychofizjologicznego graczy.

Programiści gier dysponują narzędziami (np. Unity Analytics), które śledzą liczbę uderzeń, jakie gracz otrzymuje i zadaje, czy liczbę powtórzeń poziomów, jednak metody te nie są wystarczające do pełnego zrozumienia zaangażowania gracza. W praktyce wyzwanie polega na monitorowaniu w czasie rzeczywistym działań i emocji gracza, takich jak skupienie uwagi i odczucia towarzyszące rozgrywce. Obecne narzędzia mają jednak pewne ograniczenia wpływające na precyzję analizy.

Konieczne jest poszukiwanie metod oceny jakości gry, które umożliwią identyfikację aspektów charakteryzujących niski poziom zaangażowania na dowolnym etapie rozgrywki, niezależnie od innych czynników. Metody bazujące jedynie na odpowiedziach graczy są niewystarczające, ponieważ gracze mogą mieć trudności z przypomnieniem sobie swoich odczuć. Ponadto trudno jest dokładnie określić, kiedy następuje wzrost zaangażowania. Nie można również bazować wyłącznie na emocjach, gdyż niektóre elementy gry generują emocje dopiero po osiągnięciu sukcesu lub porażki. Ruchy myszą podczas walki zależą od wielu czynników, takich jak wybór broni czy styl walki przeciwnika, co utrudnia porównanie tych ruchów między różnymi przeciwnikami. W celu sprostania tym wyzwaniom, kluczowe jest wykorzystanie metod neuronauki poznawczej, które stają się coraz bardziej użyteczne w analizie zmian aktywności mózgu. Metody te mogą znacząco przyczynić się do oceny jakości gry, ponieważ pozwalają na analizę poziomu zaangażowania gracza na podstawie zarejestrowanych sygnałów. Indeksy opisane w literaturze naukowej umożliwiają dokładne zrozumienie stopnia zaangażowania jednostki podczas różnych czynności, reagując na różne bodźce. Wykorzystanie neuronauki poznawczej może więc stanowić cenny wkład w ocenę i poprawę jakości gier.

Prezentowana rozprawa doktorska wpisuje się w nurt dyskusji o istocie jakości w grach komputerowych z co najmniej trzech powodów. Po pierwsze, poprzez wielowymiarowe badanie jak różne elementy jakości wpływają na odbiór i satysfakcję gracza. Po drugie, uwzględnia zarówno perspektywę technologiczną (np. mechanikę gry), jak i emocjonalną (zaangażowanie i immersja) Po trzecie, wykorzystuje zaawansowane technologie, takie jak EEG czy Eye Tracker, aby zbadać reakcje graczy i ich interakcję z grą. Autor przedstawia uzasadnione propozycje zmian, które jego zdaniem mogą stanowić solidne ramy koncepcyjne w tym obszarze. Te propozycje opierają się na wynikach badań przeprowadzonych za pomocą tych technologii i mają na celu poprawę jakości gier komputerowych poprzez lepsze zrozumienie i dostosowanie się do potrzeb graczy.

## 2 Cel rozprawy doktorskiej i hipotezy badawcze

**Głównym celem rozprawy** jest opracowanie modelu zapewnienia jakości produktu na etapie projektowania gry poprzez wykorzystanie detekcji czynników psychofizjologicznych decydujących o zaangażowaniu uczestnika w grę komputerową. Na potrzeby realizacji celu głównego wyodrębniono trzy **cele szczegółowe**, sformułowanych następująco:

1. (CP<sub>1</sub>) przegląd metod pomiaru cech psychofizjologicznych w kontekście zapewnienia jakości produktu, mając na celu wybór odpowiedniego indeksu zaangażowania;
2. (CP<sub>2</sub>) zastosowanie konkretnego indeksu zaangażowania do oceny jakości poszczególnych elementów w grze komputerowej poprzez przeprowadzenie badań empirycznych;
3. (CP<sub>3</sub>) weryfikacja opracowanej metody.

Realizacja przyjętych celów wymagała sformułowania następującej **hipotezy badawczej**, stanowiącej przypuszczenie, że:

1. (H<sub>1</sub>) Detekcja czynników psychofizjologicznych determinujących zaangażowanie uczestnika gry komputerowej pozwala wyznaczyć kierunki modyfikacji projektu produktu niezbędne z punktu widzenia zapewnienia jakości wyrobu.

## 3 Struktura rozprawy doktorskiej

W nawiązaniu do sformułowania hipotezy treść dysertacji została ujęta w pięciu rozdziałach, których szczegółową strukturę przedstawiono w Załączniku nr 1 do niniejszego autoreferatu. **Rozdział pierwszy** dotyczy problematyki zapewnienia jakości produktu. Zawiera definicję oraz różne ujęcia istoty i determinant jakości produktu, poruszając kwestie jakości z perspektywy producenta i klienta, a także związki jakości z cyklem życia produktu. Omawiane są również pojęcie, etapy i metody procesu zapewniania jakości produktu. Dodatkowo rozdział skupia się na jakości gier komputerowych jako produktu, analizując jej istotę i determinanty. Obejmuje także uwarunkowania oraz etapy procesu zapewniania jakości gry komputerowej jako produktu, ukazując istotę tego procesu

**Rozdział drugi** skupia się na zaangażowaniu konsumenta w kontekście jakości produktu. Obejmuje różne koncepcje zaangażowania konsumenta oraz determinanty tego zaangażowania w procesie konsumpcji wyrobu jakim jest gra komputerowa. Ponadto w rozdziale przedstawiona jest analiza, w jaki sposób zaangażowanie stanowi istotny

wyznacznik jakości produktu w kontekście procesu konsumpcji. Część rozdziału dotyczy także czynników psychofizjologicznych jako determinantów i wskaźników poziomu zaangażowania w procesie konsumpcji gry komputerowej.

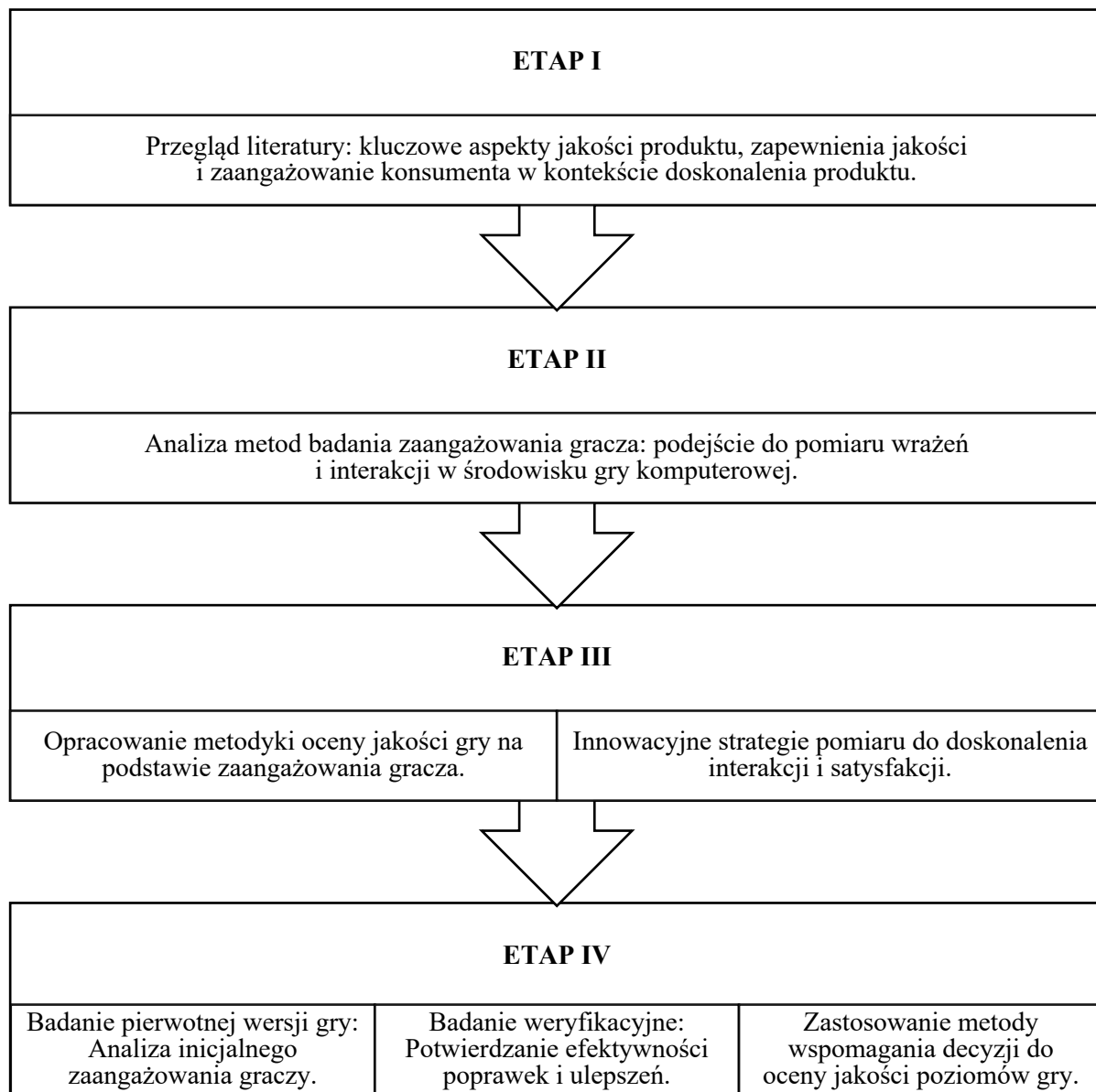
**Rozdział trzeci** koncentruje się na metodycznych aspektach oceny poziomu zaangażowania użytkownika gry komputerowej jako elementu procesu zapewniania jakości produktu. Zawiera analizę różnych metod i mierników służących do oceny poziomu zaangażowania uczestnika gry komputerowej. Dodatkowo omawiane są metody pomiaru czynników psychofizjologicznych w kontekście oceny poziomu zaangażowania w procesie konsumpcji, włączając narzędzia, metody i techniki. Rozdział skupia się również na konstrukcji indeksu poziomu zaangażowania, opartego na wybranych czynnikach psychofizjologicznych charakteryzujących użytkownika gry komputerowej.

W **czwartym rozdziale** dysertacji została przedstawiona autorska metodyka podejścia do pomiaru stopnia zaangażowania uczestnika gier komputerowych. Wprowadza koncepcję pomiaru tego zaangażowania, prezentuje algorytmy przetwarzania wstępnego sygnału EEG (Elektroencefalografii), analizy sygnału oraz algorytm do wyznaczania indeksu zaangażowania. Rozdział ten jest centralnym punktem pracy, prezentując techniczne aspekty i narzędzia wykorzystywane w procesie pomiaru zaangażowania gracza w kontekście gier komputerowych.

W **rozdziale 5**, w kontekście zapewnienia jakości produktu, jakim jest gra komputerowa, poświęcono uwagę badaniom empirycznym, obejmując procedurę weryfikacji proponowanej metodyki w ocenie jakości poszczególnych elementów w grze komputerowej. Omówiono w nim szczegóły dotyczące case study oraz zawarto sekcję analizy i dyskusji wyników, koncentrując się na interpretacji zebranych danych. Następnie omówiono praktyczne wykorzystanie systemów wspomagania decyzji przez twórców gier, ukazując, jak te systemy mogą być efektywnie zastosowane w procesie tworzenia i doskonalenia gier. Na końcu zaprezentowano wnioski wynikające z przeprowadzonych badań empirycznych.

## 4 Metody badawcze

Rozprawa ma charakter badawczo-analityczny, stąd na rysunku 1 została przedstawiona procedura badawcza w kontekście oceny jakości gry, która ma na celu skonstruowanie skutecznych narzędzi pomiarowych.



**Rysunek 1. Procedura badawcza**

Źródło: opracowanie własne.

W pierwszym etapie dokonuje się kompleksowej analizy dostępnej literatury naukowej i branżowej związanej z jakością gier oraz zaangażowaniem graczy. Obejmuje to przegląd istniejących metod badawczych, teorii zaangażowania oraz praktyk w zapewnianiu jakości produktu w branży gier komputerowych.

Kolejny etap skupia się na ocenie różnorodnych metod badawczych stosowanych w badaniach zaangażowania gracza. Analizowane są techniki, takie jak śledzenie reakcji psychologicznych, analiza ruchów gracza, czy też wykorzystanie narzędzi z zakresu neuronauki poznawczej. Celem jest wyselekcjonowanie najbardziej efektywnych metod dla konkretnej oceny jakości gry.

Na podstawie przeglądu literatury i analizy metod badawczych, opracowywana jest autorska metodologia oceny jakości gry. W tym celu wykorzystano gotową grę platformową ze sklepu Unity Asset Store. Następnie, przeprowadzono na niej badanie, wykorzystując narzędzia neuronauki poznawczej, aby określić, który z indeksów zaangażowania jest odpowiedni do oceny jakości gry. Opracowano też metodę do identyfikacji utraty informacji, aby stwierdzić wiarygodność wyciąganych wniosków dotyczących potencjalnych usprawnień w danym elemencie gry.

W ramach ostatniego etapu przeprowadzono badanie na stworzonej przez autora grze platformowej w silniku Unity. Podczas gry monitorowane są reakcje i doświadczenia graczy zgodnie z wcześniej opracowaną metodyką. Analizuje się zarówno subiektywne wrażenia graczy, jak i obiektywne dane, takie jak zachowania użytkowników. Następnie wprowadza się modyfikację elementów w grze o niskiej jakości i przeprowadza badanie weryfikacyjne. Na podstawie wyników badania potwierdza się efektywność opracowanej metody. Dodatkowo stosuje się metodę wspomagania decyzji do oceny jakości poziomów gry.

Podstawową metodą badawczą są przeprowadzone badania z wykorzystaniem sprzętu EEG (elektroencefalografii) oraz Eye Tracker'u. Uzyskane wyniki poddawane są analizie porównawczej oraz statystycznej, której celem jest identyfikacja elementów wymagających poprawy oraz porównanie wyników uczestników pomiędzy grą pierwotną a zmodyfikowaną. W ramach podsumowania pracy przeprowadzono badanie weryfikujące, aby potwierdzić skuteczność wykorzystania indeksu zaangażowania do identyfikacji elementów gry, które wymagają poprawy.

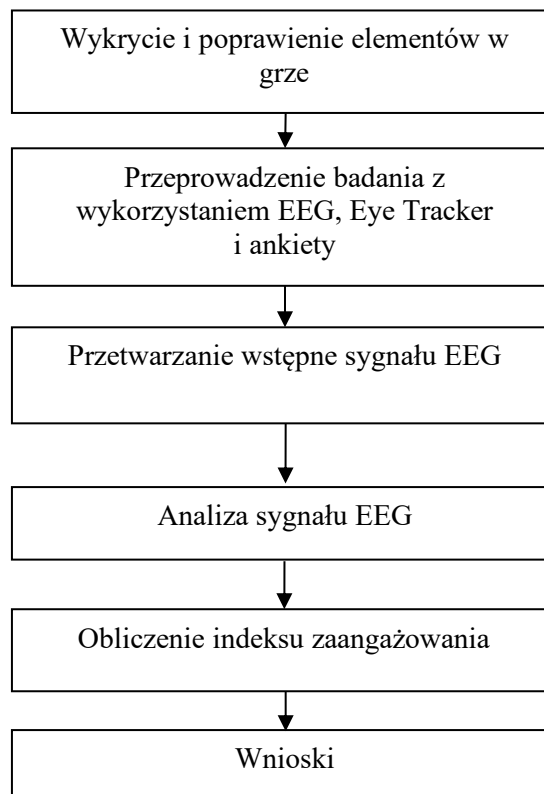
## **5 Procedura badawcza**

Przy koncepcji schematu badawczego (rysunek 1) należy uwzględnić, że mamy różne rodzaje gier, które mogą być przedstawione w dwóch, bądź trzech wymiarach i każdy z typów ma swoje charakterystyczne cechy. Oprócz tego dochodzi aspekt wyboru indeksu zaangażowania spośród sześciu zidentyfikowanych w literaturze. W związku z tym konieczne jest zaprojektowanie mini gier z różnych kategorii oraz przygotowanie ankiety, która będzie zawierała pytania dotyczące oceny gier przez graczy. W dalszej kolejności niezbędne jest przeprowadzenie badania pilotażowego, aby zweryfikować poprawność zapisu danych. Po jego wykonaniu, można przeprowadzić badanie na grupie 30 osób. Na podstawie zarejestrowanych sygnałów EEG

oraz odpowiedzi z ankiet zostanie wyselekcjonowany odpowiedni indeks, który pozwoli na określenie czy dana osoba lubi gry zręcznościowe oraz który indeks zaangażowania powinien być stosowany do oceny elementów w grze

W kolejnym etapie wykonywane jest opracowanie metody pomiaru poziomu zaangażowania gracza. Polega ona na modyfikacji standardowej procedury obliczania indeksu, uwzględniając wyznaczenie indywidualnej częstotliwości Alpha, minimalizację utraty informacji związanej z usuwaniem artefaktów, wyznaczenie całkowitej mocy pola GFP oraz standaryzację indeksu.

Ostatni etap jest etapem badawczym, który ocenia skuteczność proponowanych rozwiązań w poprawie jakości rozgrywki. Na rysunku 2 została przedstawiona procedura badawcza oceny jakości gry.



**Rysunek 2. Procedura oceny jakości gry**

Źródło: opracowanie własne.

Pierwszym krokiem jest opracowanie własnej gry platformowej, która będzie przedmiotem badania pod kątem poprawienia jakości doświadczenia użytkownika. W procesie projektowania gry platformowej zakładamy różnorodność elementów,

uwzględniając zarówno te już obecne, jak i potencjalnie nowe, które mogą wpływać na zaangażowanie graczy. Projekt uwzględnia także aspekty związane z interakcjami wizualnymi. Dzięki tej kompleksowej metodzie projektowania gry, uzyskujemy spójny zbiór czynników, które mogą wpływać na doświadczenie gracza.

Kolejnym krokiem procedury jest przeprowadzanie badania do identyfikacji elementów grze, które są niskiej jakości. Przeprowadzenie badania na grupie 30 uczestników jest kluczowym elementem procesu badawczego. Wybór tej liczby uczestników zapewnia reprezentatywność próby, co z kolei umożliwia bardziej ogólne wnioski dotyczące zaangażowania graczy. W trakcie badania zastosowano zaawansowane technologie pomiarowe, takie jak EEG – umożliwiające precyzyjne monitorowanie aktywności mózgu oraz Eye Tracker – rejestrujący ruchy oczu podczas interakcji z grą. Dodatkowo wykorzystano ankiety, aby zbierać subiektywne odczucia graczy. Kombinacja tych metod pozwala na uzyskanie kompleksowego obrazu reakcji graczy na elementy gry.

Po zakończeniu fazy zbierania danych, następuje etap analizy. Wykorzystano wcześniej opracowany indeks zaangażowania, uwzględniając dane z różnych źródeł. Analiza obejmuje zarówno statystyki opisowe, jak i zaawansowane metody analizy danych, takie jak analiza skupień. Wnioski wyciągane są z uwzględnieniem zarówno reakcji fizjologicznych, jak i subiektywnych doświadczeń graczy.

Po przeprowadzeniu analizy danych, dostosowano komponenty gry zgodnie z rekomendacjami wynikającymi z wyników badania. Kolejne badanie na innej grupie uczestników po wprowadzeniu modyfikacji pozwala na weryfikację czy zaangażowanie graczy uległo poprawie. Weryfikacja ta obejmuje porównanie wyników z etapu początkowego i końcowego, a także ocenę subiektywną graczy. Ostateczna ocena jakości gry bierze pod uwagę nie tylko stopień zaangażowania, ale także ogólną satysfakcję uczestników z interakcji z grą.

W celu obliczenia indeksu zaangażowania przeprowadzono modyfikację standardowej procedury, uwzględniając wyznaczenie indywidualnej częstotliwości Alpha, utratę informacji wynikającą z usuwania artefaktów, wyznaczenie całkowitej mocy pola GFP oraz standaryzację indeksu. Pogrubiony tekst wskazuje, które punkty procedury uległy zmianie:

- 1) wybór analizowanego fragmentu sygnału i synchronizacja danych;
- 2) podział sygnału na próby lub epoki;
- 3) usuwanie artefaktów biologicznych I;
- 4) przetwarzanie wstępne;
- 5) usuwanie artefaktów biologicznych II;

- 6) wyznaczenie indywidualnej częstotliwości Alpha (IAF);
- 7) wykorzystanie pasm Alpha, Beta, Theta odpowiadające konkretnemu indeksowi zaangażowania;
- 8) wyznaczenie wartości średniej i macierzy kowariancji usuniętych danych dla każdej elektrody;
- 9) wyznaczenie całkowitej mocy pola GFP;
- 10) obliczenie wartości indeksu;
- 11) standaryzacja indeksu;
- 12) zastosowanie odchylenia standardowego.

Pierwszym kluczowym elementem obliczenia indeksu zaangażowania, wprowadzonym w ramach modyfikacji standardowego wzoru jest wyznaczenie indywidualnej częstotliwości Alpha (IAF, ang. *Individual Alpha Frequency*). Dzięki temu istnieje możliwość dostosowania zakresów częstotliwości fal Alpha, Beta i Theta do specyfiki każdej osoby. Wartość IAF jest obliczana dla części sygnału, w której badana osoba jest wyciszona. Uzyskuje się to poprzez pokazanie czarnego ekranu przez 60 sekund i prośenie, aby respondent starał się o niczym nie myśleć.

Składowe częstotliwościowe wyznaczono przy użyciu ciągłej falki, a do obliczenia IAF wykorzystano analityczną falkę Morse'a. Następnie obliczono gęstość widmową mocy,

$$P_{i,k} = |c_{i,k}|^2 \quad (5.1)$$

gdzie:

- $c_{i,k}$  jest  $k$ -tą składową częstotliwości dla  $i$ -tej elektrody.

Natomiast do oszacowania IAF wykorzystano następujący wzór (W. kong et al. 2012):

$$IAF_i = \frac{\sum_{k=k_0}^{k_1} f_k P_{i,k}}{\sum_{k=k_0}^{k_1} P_{i,k}}, \quad (5.2)$$

gdzie:

- $k_0$  i  $k_1$  są składowymi częstotliwości odpowiadającymi częstotliwościom najbardziej zbliżonym odpowiednio do 7,5 Hz i 12,5 Hz,

- $f_k$  to częstotliwość składowej częstotliwości  $k$ , a  $IAF_i$  to wartość IAF dla  $i$ -tej elektrody.

Ostatecznie wartość IAF jest obliczana jako średnia  $IAF_i$  dla wszystkich elektrod.

W dalszej kolejności na podstawie obliczonej częstotliwości IAF wyznaczono pasma Alpha, Beta i Theta. Dzięki znajomości pasm, wyliczono dokładne wartości Alpha, Beta i Theta, natężenia pola itp.

Następnie obliczono wartość średnią i macierz kowariancji, która zależy od usunięcia składników ICA. I odwrotnie, przy usuwaniu artefaktów składniki ICA związane z artefaktami powinny pozostać nietknięte, natomiast pozostałe składowe powinny zostać zniwelowane.

Wartości średnie i macierze kowariancji są ustalane oddzielnie dla każdego pasma Alpha, Beta i Theta, ponieważ różne pasma częstotliwości mają różne wartości. W celu wyodrębnienia składowych częstotliwości w zakresie wybranych pasm można zastosować filtr środkowo-przepustowy. Wartości średnie są obliczane za pomocą wzoru:

$$\overline{ICA_{x_i}} = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} ICA_{x_{i,j}}, \quad (5.3)$$

gdzie:

- $ICA_{x_{i,j}}$  jest  $j$ -próbką  $i$ -próbki składnika ICA, a  $N$  jest liczbą próbek.

Elementy macierzy kowariancji są obliczane ze wzoru:

$$\sigma_{ICA_{x_{i,j}}, ICA_{x_{k,j}}} = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} \left( ICA_{x_{i,j}} - \overline{ICA_{x_i}} \right) \left( ICA_{x_{k,j}} - \overline{ICA_{x_k}} \right). \quad (5.4)$$

Stosując powyższe wzory dla każdej składowej ICA, odpowiadającej pojedynczej elektrodzie, obliczana jest wartość średnia i macierz kowariancji. Obliczenia te nie uwzględniają jednak fluktuacji utraty informacji w czasie. Aby temu zaradzić, należy wybrać określony przedział czasu, w którym można wyznaczyć wartość średnią i macierz kowariancji, uwzględniając wszelkie potencjalne zmiany w czasie. Dla każdego danego  $ICA_{x_{i,j}}$  reprezentującego moment czasu  $j$  obliczana jest średnia i macierz kowariancji dla  $ICA_{x_{i,j}}$ . Przy czym  $j$  zawiera się w przedziale między  $j - N_W$ , a  $j + N_W$ , gdzie  $2N_W + 1$  jest szerokością przedziału czasowego.

W celu otrzymania wartości dla wszystkich elektrod, uzyskane wcześniej wartości średnie i kowariancje muszą zostać przekształcone z układu współrzędnych ICA do układu

współrzędnych elektrod. Transformacja ICA jest transformacją współrzędnych przestrzennych, gdzie liczba wymiarów odpowiada liczbie elektrod. Każdy zarejestrowany punkt danych w czasie reprezentuje punkt w tej wielowymiarowej przestrzeni.

Wykorzystując algorytm ICA można wyprowadzić macierz transformacji pozwalającą na obliczenie współrzędnych w układzie współrzędnych ICA na podstawie znanych współrzędnych punktów w układzie elektrod. Podobnie macierz odwrotna umożliwia obliczenie współrzędnych w układzie współrzędnych elektrody na podstawie znanych współrzędnych w układzie współrzędnych ICA. Uzyskane wartości średnie i kowariancje są określone w układzie współrzędnych ICA i wymagają konwersji do układu współrzędnych elektrod. Współrzędne punktów można obliczyć za pomocą wzoru:

$$x_{i,j} = \sum_{k=0}^{M-1} m_{i,k} ICA_{x_{k,j}}, \quad (5.5)$$

gdzie  $M$  jest liczbą elektrod i  $m_{i,k}$  jest elementem macierzy transformacji z układu współrzędnych ICA do układu współrzędnych elektrod.

Wykorzystanie wzorów (wyprowadzenie zostało przedstawione w artykule (Borawski, Biercewicz, and Duda 2020))

$$\bar{x}_i = \sum_{k=0}^{M-1} m_{i,k} \overline{ICA_{x_k}}, \quad (5.6)$$

oraz

$$\sigma_{i,l} = \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{p=0}^{M-1} m_{i,k} m_{l,p} ICA_{\sigma_{x_{k,j}, x_{p,j}}}, \quad (5.7)$$

umożliwia transformację wartości średnich i kowariancji z układu współrzędnych ICA do układu współrzędnych elektrod.

Indeks zaangażowania jaki wybrano w pracy wymaga obliczenia całkowitej mocy pola. Jest ona określana na podstawie amplitud składowych sygnału w całym paśmie. W przypadku wybranego indeksu są to pasma Alpha, Beta i Theta.

Do wyznaczenia GFP zastosowano filtr środkowoprzepustowy. Filtr ten służy do odfiltrowania składowych częstotliwości spoza zakresu częstotliwości, dla których zliczane jest GFP. Następnie obliczono GFP ze wzoru (Cartocci et al. 2019):

$$GFP_{pasm0,E,k} = \frac{1}{N_E} \sum_{i \in E} x_{pasm0,i,k}^2 \quad (5.8)$$

gdzie:

- $GFP_{pasm0,E,k}$  to wartość GFP dla danego pasma częstotliwości,
- $x_{pasm0,i,k}$  to  $k$  - próbka sygnału EEG dla  $i$ -tej elektrody uwzględniona dla wybranego pasma częstotliwości,
- $E$  – zbiór uwzględnionych elektrod,
- $N_E$  – liczba elektrod.

W obliczeniach uwzględniono tylko określone zestawy elektrod.

Po wyznaczeniu wartości GFP konieczne jest obliczenie wartości średnich i wariancji, aby ocenić stopień utraty informacji. Polega to na określeniu wzorów na obliczenie wartości średniej i wariancji przy sumowaniu i podnoszeniu do kwadratu. Zatem średnia utrata informacji dla parametru GFP wyraża się wzorem (wyprowadzenie zostało przedstawione w artykule (Borawski et al. 2020)):

$$GFP_{pasm0,E,\bar{x}_j} = \frac{1}{N_E} \sum_{i \in E} (\bar{x}_{pasm0,1,j}^2 + \sigma_{pasm0,1,j}^2) \quad (5.9)$$

Poniżej został przedstawiony uproszczony wzór na obliczenie górnej granicy wariancji utraty informacji dla GFP:

$$\begin{aligned}
s_{1,j} &= \frac{1}{N_E^2} \sigma_{pasm0,1,j}^4 \\
s_{2,j} &= \frac{1}{N_E^2} \max \left\{ s_{1,j} + \sigma_{pasm0,2,j}^4, \left( \sqrt{s_{1,j}} + \sigma_{pasm0,2,j}^2 \right)^2 \right\} \\
&\vdots \\
GFP_{pasm0,E} \sigma_{max,j}^2 & \\
&= \frac{1}{N_E^2} \max \left\{ s_{N_E-1,j} \right. \\
&\quad \left. + \sigma_{pasm0,N_E,j}^4, \left( \sqrt{s_{N_E-1,j}} + \sigma_{pasm0,N_E,j}^2 \right)^2 \right\}.
\end{aligned} \tag{5.10}$$

Przedstawiony wzór jest uproszczony poprzez wybór wyższej wartości na każdym etapie sumowania. Takie podejście może jednak prowadzić do błędów, gdy wartości wariancji oscylują wokół zera. Dlatego lepiej jest ustalić maksymalny limit dla każdego sumowania osobno. Obliczone wartości są jedynie przybliżeniami i służą do identyfikacji części sygnału, w których utrata informacji jest większa lub mniejsza. W związku z tym nie jest konieczne wyznaczanie dolnej granicy dla wariancji.

Przy obliczaniu indeksu zaangażowania wymagane jest zastosowanie sumy pomiędzy wartościami GFP oraz ilorazu. Wówczas średnia utrata informacji dla indeksu zaangażowania jest równa:

$$\begin{aligned}
Eng_{\bar{x}_j} &= \\
&= \frac{GFP_{Beta_{\bar{x}_j}}}{GFP_{Alpha_{\bar{x}_j}} + GFP_{Theta_{\bar{x}_j}}}.
\end{aligned} \tag{5.11}$$

Górna granica wariancji utraty informacji dla indeksu zaangażowania jest określona następującym wzorem:

$$\begin{aligned}
Eng_{\sigma_{max,j}^2} &= \max \left\{ \sigma_{max,j}^2 (GFP_{Beta}) + \sigma_{max,j}^2 (GFP_{Alpha}) \right. \\
&\quad \left. + \sigma_{max,j}^2 (GFP_{Theta}), \left( \sigma_{max,j} (GFP_{Beta}) \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + \sigma_{max,j} (GFP_{Alpha}) + \sigma_{max,j} (GFP_{Theta}) \right)^2 \right\}.
\end{aligned} \tag{5.12}$$

Ostatnim etapem jest wykonanie normalizacji indeksu. Polega to na przesunięciu pozycji zera i modyfikacji skali. Osiąga się to poprzez zastosowanie operacji odejmowania i mnożenia, gdzie jeden z czynników ma wariancję równą zero. Odejmowanie wykonywane jest z uwzględnieniem wartości średniej:

$$\overline{x_l - s} = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} (x_{l,j} - s) = \overline{x_l} - s. \quad (5.13)$$

Podstawiając, otrzymujemy:

$$\begin{aligned} \sigma_{x_l - s}^2 &= \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} (x_{l,j} - s - \overline{x_l - s})^2 \\ &= \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} (x_{l,j} - \overline{x_l})^2 = \sigma_{x_l}^2. \end{aligned} \quad (5.14)$$

Z powyższego wzoru wynika, że wariancja pozostaje stała przy wykonywaniu odejmowania. W związku z tym typowa utrata informacji dla indeksu znormalizowanego to średnie odchylenie od średniej:

$$\overline{I_{Z_j}} = \frac{\overline{I_j} - \overline{I_B}}{\sigma_{I_B}}, \quad (5.15)$$

gdzie:

- $\overline{I_{Z_j}}$  jest średnią utraty informacji dla  $j$  indeksu po normalizacji,
- $\overline{I_j}$  jest średnią utraty informacji dla  $j$  indeksu przed normalizacją.

Utrata informacji dla indeksu standaryzowanego jest dana wzorem:

$$\sigma_{j_z}^2 = \frac{\sigma_{j_I}^2}{B}, \quad (5.16)$$

gdzie:

- $\sigma_{j_z}^2$  jest wariancją utraty informacji z  $j$ -tego indeksu po standaryzacji,
- $\sigma_{j_l}^2$  jest wariancją utraty informacji z  $j$ -tego indeksu przed standaryzacją.

Ostatnim krokiem metody badawczej było zastosowanie odchylenia standardowego do indeksu zaangażowania. Należy najpierw ocenić, czy odchylenie standardowe wzrasta, gdyż może to być związane z bodźcem dla konkretnego zdarzenia. Ponadto należy określić, czy odchylenie standardowe znacząco przekracza wartość indeksu, wskazując na silny wpływ usunięcia składowych ICA na indeks. Oprócz tego kluczowe jest zbadanie, czy w danym momencie wystąpił artefakt. W efekcie uzyskane informacje skłaniają nas do stwierdzenia, że wnioski wyciągnięte na podstawie wartości indeksu należy traktować z ostrożnością.

## **6 Określenie jakości elementów w grze platformowej**

### **6.1 Wybór indeksu zaangażowania**

W literaturze opisano różne indeksy zaangażowania, przy czym każdy z nich został zastosowany w innym celu. W związku z tym konieczne jest ustalenie, który indeks najlepiej odzwierciedla opinię badanego, aby zidentyfikować elementy gry platformowej wymagające poprawy (etap III procedury badawczej – rysunek 1).

Pierwszym krokiem było wybranie i zmodyfikowanie mini gry komputerowej (zob. rysunek 3). Gra została pobrana z Unity Asset Store i odpowiednio przystosowane do badania. Gracz miał za zadanie osiągnąć jak najlepszy wynik poprzez zabijanie pojawiających się stworów.



**Rysunek 3. Wykorzystanie mini gry do określenia, który indeks zaangażowania należy wykorzystać – Platformowa gra 2D**

Źródło: opracowanie własne.

Adaptacja badania obejmowała implementację skryptu do rejestracji zdarzeń w grze komputerowej, takich jak naciśnięcia klawiszy przez uczestników, śmierć postaci w grze czy ukończenie poziomu. Skrypt zapisywał dane z dokładnym czasem wystąpienia zdarzeń do pliku Excel. Gra trwała jedną minutę, aby zapewnić spójność i kontrolę nad czasem trwania rozgrywki. Przed rozpoczęciem gry wyświetlana była instrukcja dotycząca poruszania się w grze oraz jej celu.

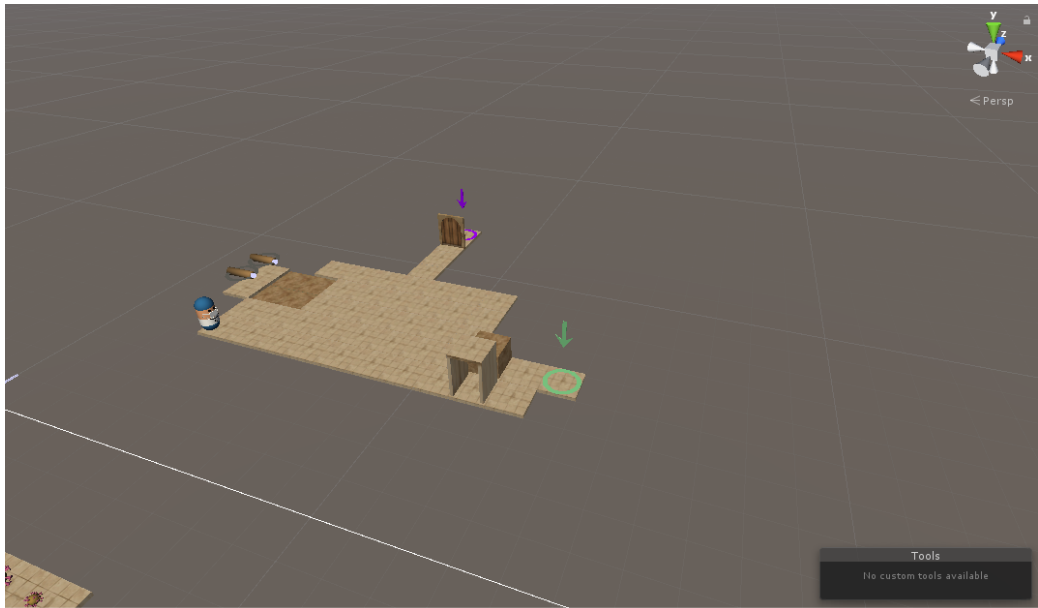
Następnie przeprowadzono badanie (na dwóch grupach 30 osobowych) przy wykorzystaniu sprzętu EEG. Elektrody w przypadku I grupy zostały umieszczone zgodnie z międzynarodowym system 10–10, w przypadku drugiej w systemie 10–20 (Jurcak, Tsuzuki, and Dan 2007). Wykorzystano następujący układ dla grupy I – AF3, AF4, F3, F4, F7, F8, FC5, FC6, P7, P8, T7, T8, O1, O2, P3, C3, Pz, Fz, Cz, FPz i P4, dla grupy II – F3, F4, F7, F8, Cz, P3, Pz, P4. Każda z elektrod wymagała nawilżonej końcówki w celu lepszej przewodności. Częstotliwość próbkowania wynosiła 500 Hz. Po zakończeniu badania EEG z każdym z uczestników została przeprowadzona ankieta. Osoby odpowiadały na zestaw pytań oceniających ich wcześniejsze spotkania z grami wideo oraz ich cechy indywidualne. Poproszono o wskazanie preferowanego typu gry, przy czym większość badanych wybrała gry zręcznościowe (27 osób), a mniejsza grupa - gry logiczne (3 osoby). Uczestnicy potwierdzili, że są graczami okazjonalnymi. Ostatnie pytania miały na celu zebranie ich opinii na temat gry,

w którą grali, w tym jakie aspekty ich zdaniem wymagały poprawy oraz w jakich sytuacjach ich zaangażowanie rosło lub malało.

W wyniku uzyskano, że najbardziej odpowiednim indeksem do określania zaangażowania pod względem czy ktoś lubi daną grę jest zastosowanie indeksu  $\frac{Theta}{Alpha-2}$ , gdzie częstotliwości Theta są z przedziału 4–8 Hz, a Alpha-2 z przedziału 7–13 Hz. Dokładne obliczenia zostały przedstawione w artykule (Biercewicz, Borawski, and Duda 2020). Natomiast do wyrażenia zaangażowania pod względem elementów w grze najbardziej odpowiednim indeksem okazał się indeks  $\frac{Beta-5}{Alpha-4+Theta}$ , gdzie Beta jest z przedziału 14–19.9 Hz, Alpha z 8–10.9 Hz oraz Theta z 4–8 Hz.

## 6.2 Studium przypadku

W celu zbadania opracowanej metody (Etap IV procedury badawczej - rysunek 1) przeprowadzono badania na dwóch grupach 30 osobowych z takim samym rozkładem elektrod EEG. Pierwsza z grup została wykorzystana do zidentyfikowania obszarów wymagających poprawy w grze, natomiast druga grupa do weryfikacji gry po uwzględnieniu wprowadzonych poprawek. Badaniu została poddana autorska gra platformowa stworzona w silniku Unity. Gra składa się z siedmiu różnych poziomów. Każdy z poziomów zawierał cel pośredni (zielony punkt), do którego gracz musiał najpierw dotrzeć, aby w dalszej kolejności udać się do teleportu (fioletowy punkt) przenoszącego do kolejnego poziomu. Przykładowy poziom został przedstawiony na rysunek 4.



**Rysunek 4. Zrzut ekranu z gry przedstawiający drugi poziom**

Źródło: opracowanie własne.

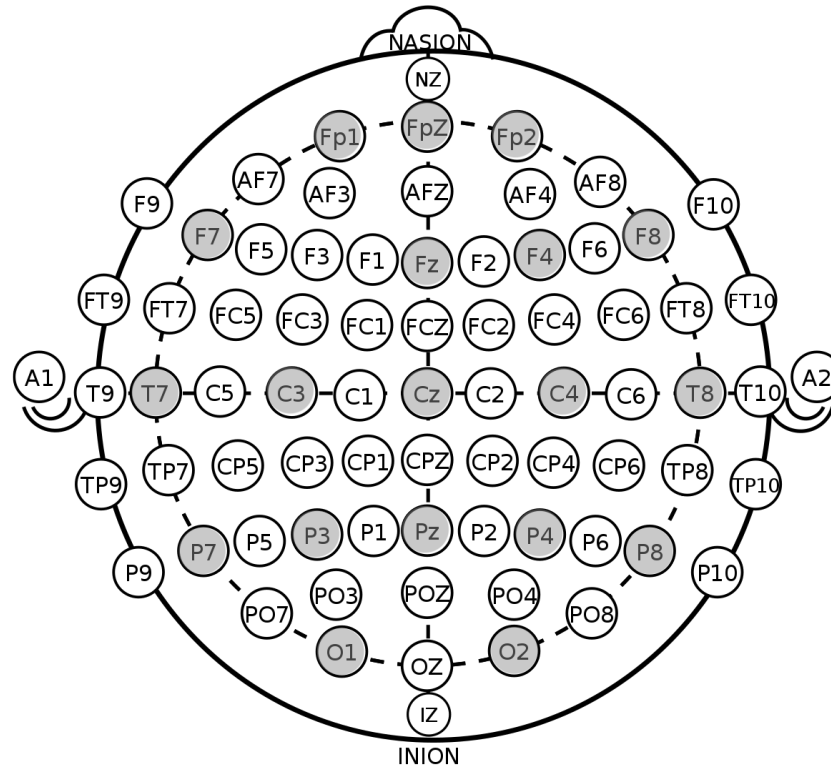
Na rysunku 4 jest widoczna postać, obok której znajdują się lasery. W przypadku wejścia w ich promień, gracz umiera i zaczyna poziom od nowa. Na wprost postaci znajdują się obiekty, których można zmieniać miejsca.

Każdy z poziomów był ograniczony czasowy. Ograniczenie czasowe wynika z tego, że każdy z uczestników miał na głowie założony czepek EEG. Po upływie średnio 30 minut powoduje to dyskomfort u badanego przez co mógłby się rozprasać. W przypadku, gdy osoba nie ukończyła poziomu była automatycznie przenoszona do kolejnego.

Każda osoba przed przystąpieniem do badania została poinformowana o przebiegu badania i podpisała formularz oświadczający o dobrowolnym udziale w badaniu. Badanie przeprowadzono zgodnie z Deklaracją Helsińską w laboratorium, które uzyskało zgodę Komisji Bioetycznej Okręgowej Izby Lekarskiej w Szczecinie, Uchwała nr 02/KB/VII/2020, z dnia 18 czerwca 2020 r. Ważnym elementem badania przeprowadzonego z użyciem narzędzia EEG jest odpowiednie przygotowanie miejsca. Ma to istotny wpływ na jakość pozyskanych danych z urządzenia pomiarowego (EEG i Eye Tracker).

Do najważniejszych czynności należą: wyciszenie pomieszczenia, ustawienie światła, wygodne miejsce do siedzenia, łatwy dostęp do urządzeń peryferyjnych (w opisywanym badaniu była to myszka i klawiatura oraz monitor), usunięcie z obszaru badania wszelkich urządzeń zakłócających. Czynności te wykonano z każdym uczestnikiem badania. Następnie respondent rozgrywał grę instruktażową.

Kolejnym krokiem było przygotowanie respondenta do badania poprzez założenie czepka (Enobio 20, Neuroelectrics) oraz podłączenie elektrod do skóry głowy. Nakładka z 20 elektrodami została umieszczona w punktach (zob. rysunek 5): P7, P4, Cz, Pz, P3, P8, O1, O2, T8, F8, C4, F4, Fp2, Fz, C3, Fp1, T7, F7 i Fpz i służyła do rejestracji sesji badawczej.

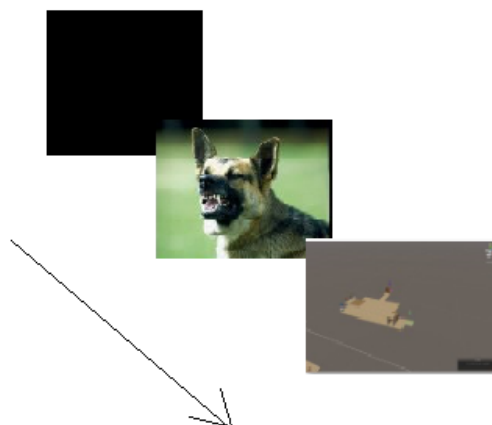


**Rysunek 5. Rozmieszczenie elektrod**

Źródło: opracowanie własne.

Elektrody zostały umieszczone zgodnie z systemem 10-20 - międzynarodowym systemem umieszczenia elektrod EEG. Wymagały one zwilżenia nasady, aby zapewnić właściwe przewodnictwo między skórą głowy i elektrodą. W celu weryfikacji, czy elektrody EEG miały dobry kontakt ze skórą głowy, mierzono wartość impedancji za pomocą oprogramowania Neuroelectrics® Instrument Controller (NIC2) v2.0.11.1. Częstotliwość próbkowania wynosiła 500 Hz.

Po wykonaniu powyższych czynności rozpoczynano badanie (zob. rysunek 6). Przed pojawieniem się ekranu z gry pokazywał się czarny ekran, który był wyświetlany przez 60 sekund. Celem tego kroku było uspokojenie emocji i fal mózgowych uczestników badania.



**Rysunek 6. Chronologiczna kolejność zdarzeń podczas badania**

Źródło: opracowanie własne.

Po tym czasie pojawiał się obraz z wściekłym psem, który pochodzi z międzynarodowego systemu obrazów afektywnych (ang. *International Affective Picture System*, IAPS) (Lang, Bradley, and Cuthbert 2008). Posłużyło to do późniejszej normalizacji sygnału EEG. Następnie została zainicjowana gra, podczas której rejestrowano ukończenie przez respondenta każdego z poziomów. Dane były zapisywane w pliku Excel, który później został wykorzystany do analizy. Po zakończeniu rozgrywki przeprowadzono ankietę, która składała się z następujących pytań:

- 1) wiek,
- 2) płeć,
- 3) jakie przeszkody sprawiły Tobie największą trudność?
- 4) jakie przeszkody były dla Ciebie łatwe?
- 5) czy wszystkie instrukcje były dla Ciebie zrozumiałe?
- 6) jakie elementy w grze byś poprawił(a)?
- 7) na jakim poziomie oceniasz swoje zaangażowanie w skali od 1-brak do 5-bardzo.

Po przeanalizowaniu i zidentyfikowaniu obszarów wymagających poprawy w kontekście jakości gry, przeprowadzono kolejne badanie na nowej grupie 30 uczestników. Metodologia przeprowadzenia badania była zgodna z tym, co miało miejsce w przypadku pierwszej grupy.

### 6.3 Badanie gry platformowej bez modyfikacji

Zebrane dane z ankiety zostały przeanalizowane przy użyciu programu Excel. Wyniki zostały zaprezentowane w tabeli 1.

Tabela 1. Podsumowanie wyników ankiety po badaniu

Lp.	Pytanie z ankiety	Podsumowanie grupa I	Podsumowanie grupa II
1.	Wiek	średni wiek 24 lata	średni wiek 22 lata
2.	Płeć	15 kobiet oraz 15 mężczyzn	15 kobiet oraz 15 mężczyzn
3.	Jakie przeszkody sprawiły Tobie największą trudność?	Lasery oraz poruszanie się	Poruszanie się
4.	Jakie przeszkody były dla Ciebie łatwe?	klocki	klocki
5.	Czy wszystkie instrukcje były dla Ciebie zrozumiałe?	27 osób – Tak, 3 – Nie	27 osób – Tak, 3 – Nie
6.	Jakie elementy w grze byś poprawił(a)?	Poruszanie się postacią	Poruszanie się postacią
7.	Na jakim poziomie oceniasz swoje zaangażowanie w skali od 1-brak do 5-bardzo	3,96	4,27

Źródło: opracowanie własne.

Zarówno w jednym jak i drugim badaniu wzięło udział 30 osób – 15 kobiet oraz 15 mężczyzn. Uczestnicy grupy I wśród przeszkód sprawiających największą trudność w grze w głównej mierze wymieniali lasery oraz sposób poruszania się postacią. W przypadku drugiej grupy, głównym wyzwaniem była kwestia poruszania się w grze. Została zastosowana konwencjonalna mechanika poruszania się, popularna w tego typu grach. Jest prawdopodobne, że gdyby gracze mieli więcej czasu, byłiby w stanie lepiej przystosować się do tego rodzaju ruchu i nie napotkaliby problemów. Z kolei na odpowiedź dotyczącą pytania, które przeszkody były łatwe respondenci wymieniali przesuwanie klocków. Istotnym aspektem jest, że dla 90% uczestników (w grupie I oraz II) wszelkie instrukcje były zrozumiałe. Ważną częścią ankiety była samoocena zaangażowania. Zaobserwowano, że w grupie I średnie zaangażowanie było na poziomie 3,96. Natomiast w grupie II, gdzie została poprawiona gra średnie zaangażowanie było na poziomie 4,27.

Dane sygnału EEG zostały przeanalizowane przy użyciu programu Matlab R2019a. Analizę sygnału EEG rozpoczęto od filtracji pasma i usunięcia zakłóceń sieci energetycznej (częstotliwości powyżej 50 Hz). Ponadto sygnał został poddany detrendingowi i filtracji przy użyciu biblioteki Fieldtrip. Sygnał spektralny EEG był następnie analizowany przy użyciu falki Morse'a, która obliczała średnią częstotliwość szczytową pół sekundy w ramce (J. M. Lilly and S. C. Olhede 2010; Lilly and Olhede 2012; Wachowiak et al. 2018). Natomiast w celu obliczenia częstotliwości Alpha, Beta i Theta sygnał podzielono na odpowiednie pasma – Alpha 7–13 Hz oraz 8-10.9 Hz, Beta 13–25 Hz oraz 14–19,9 Hz i Theta 4–8 Hz.

Po przeprowadzeniu badania z wykorzystaniem metod neuronauki poznawczej na 30 osobach (grupa I), obliczono indeks zaangażowania dla każdej z osób. W tabeli 2 przedstawiono, jak kształtuje się średnie zaangażowanie na poszczególnych poziomach.

Tabela 2. Średnie zaangażowanie na poszczególnych poziomach

Kolejność	Poziom	Średnie zaangażowanie
1	Poziom 1	-0,013
2	Poziom 2	-0,051
3	Poziom 3	-0,001
4	Poziom 4	0,012
5	Poziom 5	0,031
6	Poziom 6	0,025
7	Poziom 7	0,030

Źródło: opracowanie własne.

Najniższe zaangażowanie występuje na poziomie 1, 2 oraz 3. Ogólnie zaangażowanie może świadczyć, że poziomy te wymagają udoskonalenia. Natomiast najwyższe występuje na poziomie 5 oraz 7. Z ankiety oraz obserwacji zauważono, że poziom 5 okazał się najtrudniejszym poziomem. W związku z tym nie powinien on być w środku rozgrywki, ponieważ może to powodować, że gracz może szybciej opuścić grę. Oprócz samego poprawienia elementów na poziomach konieczne jest odpowiednie ułożenie poziomów według skali trudności. Jest to jeden z elementów, który powinien zostać poprawiony na większości poziomów - poza ostatnim poziomem, gdzie gracz miał za zadanie jedynie unikać poruszających się obiektów.

W tabeli 3 przedstawiono średnie zaangażowanie, jakie było zaobserwowane u graczy przy przesuwaniu obiektów oraz ile razy wystąpiły błędne oraz prawidłowe interpretacje wyciąganych wniosków na podstawie  $\sigma$ .

Tabela 3. Średnie zaangażowanie przy przesuwaniu obiektów

Poziom	Przesuwanie obiektów	Błędne interpretacje $\sigma$	Prawidłowe interpretacje $\sigma$
Poziom 1	0,019	26	4
Poziom 2	-0,018	14	16
Poziom 3	-0,011	16	14
Poziom 4	0,09	7	23
Poziom 5	-0,006	10	20
Poziom 6	-0,34	15	15
Poziom 7	-0,35	5	25

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie uzyskanych wyników (tabela 3) dla poziomu 1 otrzymano średnie zaangażowanie przy przesuwaniu klocków na poziomie 0,019. Dodatkowo stosując opracowaną metodę do weryfikacji wyciąganych wniosków sprawdzono czy konieczne jest poprawianie klocków, aby uzyskać wyższe zaangażowanie u uczestników. W rezultacie uzyskano 26 przypadków, gdzie odchylenie standardowe było na wyższym poziomie niż wartość indeksu. Należy wziąć pod uwagę, że usunięcie składowej ICA bardzo silnie wpłynęło na wartość indeksu. Biorąc pod uwagę, jak duży wpływ wywarło to na indeks, a mamy tylko cztery przypadki, gdzie odchylenie standardowe było poniżej wartości indeksu, należy wspomniane zdarzenie odrzucić z badań dlatego, że istnieje duża szansa na błędną interpretację reakcji gracza. Odwrotną sytuację, gdzie mamy zdecydowanie więcej prawidłowych interpretacji, uzyskano dla poziomu 4 (23 prawidłowe i 7 błędnych interpretacji), poziomu 5 (20 prawidłowych i 10 błędnych interpretacji) oraz poziomu 7 (25 prawidłowych i 5 błędnych interpretacji). W przypadku poziomu 4 uzyskano niższe przesuwanie klocka po dojściu do punktu kontrolnego niż wcześniej. Dla poziomu 5 oraz poziomu 7 uzyskano niskie zaangażowanie przy przesuwaniu klocków przed dotarciem do punktu kontrolnego. Natomiast dla pozostałych poziomów – poziom 2, poziom 3 oraz poziom 6 nie uzyskano zdecydowanej większości w przypadku prawidłowych czy błędnych interpretacji.

Dodatkowo dokonano analizy map cieplnych poziomów, aby określić, gdzie skupiała się uwaga badanych. Najbardziej interesujące wyniki odnotowano dla poziomu 1, poziomu 4, poziomu 5 oraz poziomu 7.

W związku z otrzymanymi wynikami postanowiono wprowadzić następujące korekty:

- 1) dodano niezależną postać, która przypominała o końcu zbliżającego się czasu;
- 2) dodano walutę, za pomocą której można kupić wskazówkę, jak należy przejść poziom. W celu jej zdobycia gracz musiał ominąć wszystkie napotkane przeszkody (pomoc dla poziomu 5);
- 3) zmieniono kolejność przechodzenia poziomów – poziom 2, poziom 3, poziom 1, poziom 4, poziom 7, poziom 6, poziom 5;
- 4) zmodyfikowano poziom 1 poprzez dodanie ograniczenia możliwości wykonania ruchów (przemieszczenia klocka) maksymalnie 20 razy. Po wykorzystaniu limitu uruchamiał się kolejny poziom;
- 5) zmodyfikowano poziom 4 poprzez usunięcie ostatnie lasera i przybliżenie;
- 6) zmodyfikowano poziom 7 poprzez usunięcia klocka i wprowadzenie migającego lasera.

#### **6.4 Badanie weryfikacyjne**

Po wprowadzeniu zmian przeprowadzono badanie z wykorzystaniem metod neuronauki poznawczej na 30 osobach (grupa II) i obliczono ponownie indeks zaangażowania dla każdej z osób na konkretnym poziomie. Postanowiono sprawdzić hipotezę, że średnie zaangażowanie w obu grupach jest istotnie statystycznie. W tym celu postawiono wykorzystać test statystyczny T-Studenta. W tabeli 4 przedstawiono wyniki badania statystycznego.

Tabela 4. Wartość statystyki T dla dwóch prób niezależnych

Poziom	Kolejność grupa I	Średnie zaangażowanie w grupie I	Kolejność grupa II	Średnie zaangażowanie w grupie II	Poziom istotności p	Wartość statystyki T
Poziom 1	1	-0,013	3	0,100	0,008	-2,768
Poziom 2	2	-0,051	1	0,045	0,005	-2,895
Poziom 3	3	-0,001	2	0,070	0,093	-1,708
Poziom 4	4	0,012	4	0,090	0,090	-1,640
Poziom 5	5	0,031	7	0,099	0,243	-1,179
Poziom 6	6	0,025	6	0,093	0,244	-1,177
Poziom 7	7	0,030	5	0,081	0,360	-0,922

Źródło: opracowanie własne.

Możemy zaobserwować, że istotnie statystycznie różnice między średnim zaangażowaniem są dla poziomu 1 oraz poziomu 2 ( $p < 0,05$ ). Dla poziomu 3 oraz poziomu 4 ( $0,05 < p < 0,1$ ) różnice te nie są istotnie statystycznie, ale są istotne na poziomie tendencji statystycznej (Gibbs and Gibbs 2015), czyli są bliskie klasycznej wartości  $p < 0,05$ . Natomiast w przypadku poziomu 5, poziomu 6 oraz poziomu 7 różnice między średnim zaangażowaniem są nieistotne statystycznie. Na podstawie uzyskanych wyników możemy wnioskować, że wprowadzona ostatnia zmiana na poziomie 7 nie przyczyniła się do istotnego polepszenia jakości gry. Jednakże można zaobserwować, że średnie zaangażowanie w grupie II dla wszystkich poziomów gry jest większe od osób z grupy I. Oprócz tego zaangażowanie uczestników na każdym z poziomów jest bardzo zbliżone do siebie nie tak jak to miało miejsce w przypadku grupy I. Warty uwagi jest, że zmiana kolejności poziomów przyniosła efekt w postaci wzrostu zaangażowania do poziomu 1. Poziom ten stał się bardziej logiczny ze względu na wprowadzoną zmianę w postaci ograniczenia ruchu gracza. Później mamy spadek, przez dwa poziomy ze względu na to, że są to poziomy bardziej zręcznościowe. Natomiast na końcu mamy wzrost ze względu na to, że jest wprowadzany nowy przedmiot, którego wcześniej nie było - i na ostatnim poziomie mamy podobne zaangażowanie jak na poziomie 1 ze względu na to, że jest to również bardziej poziom logiczny niż zręcznościowy. W związku z tym wydaje się, że ustawienie poziomów w odpowiedniej kolejności przyniosło zamierzony efekt pod względem jakościowym.

Następnie wykonano analizę jakości elementów gry za pomocą metody TOPSIS. Metoda ta pozwala na określenie, które z ocenianych elementów są najbliższe ideałowi, poprzez ocenę ich odległości od najlepszych i najgorszych wartości w danym zbiorze.

Tabela 5. Obliczenie wartości miary dla metody TOPSIS

	$S_j$	Ranking	Klasa
<b>Poziom 1</b>	0,026	14	2
<b>Poziom 2</b>	0,045	13	2
<b>Poziom 3</b>	0,242	6	2
<b>Poziom 4</b>	0,203	10	3
<b>Poziom 5</b>	0,088	12	2
<b>Poziom 6</b>	0,133	11	3
<b>Poziom 7</b>	0,343	5	4
<b>Poziom Pop 1</b>	0,359	4	4
<b>Poziom Pop 2</b>	0,627	1	1
<b>Poziom Pop 3</b>	0,487	3	3
<b>Poziom Pop 4</b>	0,228	7	2
<b>Poziom Pop 5</b>	0,213	8	3
<b>Poziom Pop 6</b>	0,204	9	2
<b>Poziom Pop 7</b>	0,566	2	2

Źródło: opracowanie własne.

Analiza wyników metodą TOPSIS (tabela 5) pokazuje, że poziom gry poziom pop 2 osiągnął najwyższą wartość  $S_j$ , wynoszącą 0,627, co plasuje go w klasie 1, czyli najwyższej kategorii jakościowej. To oznacza, że poziom pop 2 jest najbliższy idealnemu rozwiązaniu w porównaniu do pozostałych ocenianych elementów gry. Z drugiej strony, poziom 1 uzyskał najniższą wartość  $S_j$ , wynoszącą tylko 0,026, co przyporządkowuje go do klasy 2. Oznacza to, że poziom 1 wymaga znaczącej poprawy, aby zbliżyć się do najlepszych standardów jakościowych.

Przedziały klas zostały ustalone na podstawie średniej wartości  $S_j$  oraz jej odchylenia standardowego. Klasyfikacja w klasach 1, 2, 3 i 4 umożliwia porównanie, które poziomy gry są już blisko idealnego rozwiązania (klasa 1) i które wymagają dalszych usprawnień (klasy 2, 3 i 4).

Dalsza analiza pokazuje, że większość poziomów gry (jak poziom pop 3, poziom 4, poziom pop 5 i poziom 6) znajduje się w klasie 2 lub 3, co wskazuje na solidny poziom, ale z możliwościami poprawy. Z kolei poziomy, takie jak poziom 7

i poziom pop 1 osiągnęły wartości  $S_j$  umożliwiające przypisanie ich do klasy 4, co sugeruje, że wymagają one znacznych zmian lub ulepszeń, aby stać się bardziej konkurencyjnymi w kontekście jakości gry.

Na końcu, wyniki zostały zaprezentowane przy użyciu metody VMCM (tabela 6), która ocenia jakości elementów na podstawie wektorowego miernika skonstruowanego z uwzględnieniem złożonych relacji między różnymi wskaźnikami. Porównanie wyników obu metod pozwoli na uzyskanie bardziej wszechstronnego i dokładnego obrazu jakości ocenianych elementów gry.

Tabela 6. Wynik miary agregatywnej dla metody VMCM

	Wynik	Klasa
PoziomPop7	0,408289	1
Poziom7	0,247193	2
PoziomPop6	0,215602	2
PoziomPop3	0,191693	2
PoziomPop5	0,179581	2
PoziomPop1	0,143204	2
Poziom6	0,125529	3
Poziom4	0,113413	3
PoziomPop4	0,107146	3
Poziom5	0,059286	3
PoziomPop2	0,041846	3
Poziom3	0,003905	4
Poziom2	-0,00559	4
Poziom1	-0,0676	4

Źródło: opracowanie własne.

Poziom pop 7 uzyskał najwyższą wartość miary, wynoszącą 0,408289, co kwalifikuje go do klasy 1. Oznacza to, że poziom pop 7 charakteryzuje się najwyższą jakością spośród wszystkich badanych poziomów. Kolejne poziomy, poziom 7, poziom pop 6, poziom pop 3, poziom pop 5 oraz poziom pop 1, uzyskały wartości miar odpowiednio: 0,247193, 0,215602, 0,191693, 0,179581 oraz 0,143204. Wszystkie te poziomy zostały przypisane do klasy 2, co wskazuje na ich dobrą jakość, choć nie tak wysoką jak poziom pop 7. Poziomy poziom 6, poziom 4, poziom pop 4, poziom 5 oraz poziom pop 2 uzyskały wartości miar wynoszące odpowiednio: 0,125529, 0,113413, 0,107146, 0,059286 oraz 0,041846. Te poziomy zostały zaklasyfikowane do klasy 3, co oznacza, że ich jakość jest przeciętna. Na końcu, poziomy poziom 3, poziom 2 oraz poziom

1 uzyskały najniższe wartości miar: 0,003905, -0,00559 oraz -0,0676. Te poziomy przypisano do klasy 4, co wskazuje na ich najniższą jakość spośród wszystkich badanych poziomów. Podsumowując, analiza jakości elementów gry wykazała znaczną różnorodność w jakości poszczególnych poziomów. Najwyższą jakość wykazał poziom pop 7 (klasa 1), a najniższą jakość mają poziom 3, poziom 2 oraz poziom 1 (klasa 4). Wyniki te mogą służyć jako podstawa do dalszej optymalizacji i poprawy jakości elementów gry w poszczególnych poziomach.

## 6.5 Podsumowanie założeń koncepcji

Uzyskane wyniki dla przedstawionych sytuacji są zgodne z oczekiwaniami. Przede wszystkim zaangażowanie uczestnika powinno rosnąć w miarę upływu czasu, dając mu czas na „odpoczynek”. Odpoczynek rozumiany nie w sensie fizycznym, lecz wyczerpujący umysł w celu rozwiązywania problemów. W związku z tym ważnym aspektem jest odpowiednie zbalansowanie gry. Z badania uzyskano informację, jakie kroki należy zastosować, aby dowiedzieć się, które elementy w grze należy poprawić, aby zwiększyć poziom jakości gry. Po pierwsze otrzymano niski wskaźnik zaangażowania dla przesuwania klocków na poziomie 1 (przed modyfikacją gry). Jednak ze względu na wysokie odchylenie standardowe należy odrzucić wniosek o konieczności modyfikacji tego elementu. Postanowiono więc dodać ograniczenie w możliwości wykonywanych ruchów, co przyniosło wyższe zaangażowanie w zmodyfikowanej wersji gry. Dodatkowo na wyższe zaangażowanie mogło wpłynąć ustawienie poziomów. Po drugie uzyskując niższe wartości odchylenia standardowego dla poziomu 4 i poziomu 7 wskazywało, że wprowadzenie zmiany jest konieczne do uzyskania wyższej jakości. Dodatkowo przyczyniło się do tego, że zaangażowanie na obu tych poziomach mocno nie odstawało od siebie. Przez co zaangażowanie gracza było w miarę na podobnym poziomie na poziomie 4, poziomie 5, poziomie 6 i poziomie 7.

Przedstawione podejście można zastosować nie tylko dla indeksu zaangażowania, ale także dla innych wskaźników, takich jak indeks koncentracji, emocji itp. Za pomocą odchylenia standardowego badamy rzetelność wniosków. Im wyższa wartość odchylenia standardowego, tym większa zmienność sygnału, czyli mniejsza niezawodność. Należy jednak pamiętać, aby zweryfikować, czy wysoka wartość odchylenia standardowego nie jest związana z usuniętym artefaktem.

Dodatkowo wnioski wynikające z użycia metod TOPSIS i VMCM pozwalają na dalsze udoskonalenie procesu optymalizacji poziomów gry. Poziom pop 7 uzyskał najwyższą wartość miary, wynoszącą 0,408289, co kwalifikuje go do klasy 1, co oznacza, że poziom pop 7

charakteryzuje się najwyższą jakością spośród wszystkich badanych poziomów. Kolejne poziomy: poziom pop 6, poziom pop 3, poziom pop 5 oraz poziom pop 1 uzyskały wartości miar odpowiednio: 0,247193, 0,215602, 0,191693, 0,179581 oraz 0,143204. Wszystkie te poziomy zostały przypisane do klasy 2, co wskazuje na ich dobrą jakość, choć nie tak wysoką jak poziom pop 7.

Poziomy poziom 6, poziom 4, poziom pop 4, poziom 5 oraz poziom pop 2 uzyskały wartości miar wynoszące odpowiednio: 0,125529, 0,113413, 0,107146, 0,059286 oraz 0,041846. Te poziomy zostały zaklasyfikowane do klasy 3, co oznacza, że ich jakość jest przeciętna. Na końcu, poziomy poziom 3, poziom 2 oraz poziom 1 uzyskały najniższe wartości miar: 0,003905, -0,00559 oraz -0,0676. Te poziomy przypisano do klasy 4, co wskazuje na ich najniższą jakość spośród wszystkich badanych poziomów.

Analiza jakości elementów gry wykazała znaczną różnorodność w jakości poszczególnych poziomów. Najwyższą jakość wykazał poziom pop 7 (klasa 1), a najniższą jakość mają poziom 3, poziom 2 oraz poziom 1 (klasa 4). Sugeruje to, że wprowadzone modyfikacje na poszczególnych poziomach przyczyniły się do znaczącego wzrostu jakości gry. Jednakże jeszcze pozostaje przestrzeń do dalszej optymalizacji i poprawy jakości elementów gry w poszczególnych poziomach.

Badania wykazały, że zarówno metody TOPSIS, jak i VMCM mogą być wykorzystywane do badania jakości poziomów gry komputerowej. Obie metody umożliwiają sporządzenie rankingu i klasyfikacji. Uzyskane wyniki pokazują jednak, że metoda VMCM jest bardziej wrażliwa na zmiany w wartościach danych uwzględnianych w obliczeniach i jest bardziej skuteczna w przypadku nowych danych, które należy uwzględnić w obliczeniach (odtworzenie macierzy). Różnice w obu metodach wynikają głównie z różnych podejść metodologicznych stosowanych do tworzenia macierzy. W metodzie TOPSIS macierz powinna być „najlepszym” obiektem dla całego analizowanego okresu. Modyfikacja tego okresu w jakikolwiek sposób wymaga odtworzenia macierzy od podstaw. Nie pozwala również na wykorzystanie macierzy rzeczywistych lub macierzy niebędących próbkami.

Z drugiej strony metoda VMCM eliminuje ograniczenia metody TOPSIS. Miara nie jest ograniczona ani od dołu, ani od góry, co pozwala na lepsze niż w przypadku obiektów macierzy umożliwienie dołączania obiektów spoza próbki bez konieczności tworzenia nowej macierzy oraz jest bardziej wrażliwa na dynamikę zmian. Wektorem pomiarowym może być dowolny obiekt utworzony na podstawie danych próbki (z wykorzystaniem I lub III kwartyła) lub spoza próbki (dowolny rzeczywisty obiekt) i nie jest wymagane, aby był to obiekt idealny. Dlatego

dopuszczalne jest rozważenie obiektów lepszych niż macierz, co powoduje, że zagregowana wartość miary może być większa niż jeden.

Porównując obie metody w kontekście oceny jakości elementów gry, metoda VMCM może być uznana za bardziej odpowiednią z kilku powodów. Po pierwsze, VMCM oferuje wyższą precyzję w przypisaniu poziomów do klas dzięki uwzględnieniu złożonych relacji między wskaźnikami. Po drugie, metoda ta jest mniej wrażliwa na skalowanie danych, co zapewnia bardziej stabilne i spójne wyniki. Po trzecie, VMCM pozwala na bardziej szczegółową i dokładną ocenę, co jest kluczowe w kontekście optymalizacji i poprawy jakości elementów gry. Jednakże w sytuacjach, gdzie kluczowe jest szybkie i proste porównanie alternatyw, metoda TOPSIS może być bardziej odpowiednia. Metoda ta polega na ocenie odległości każdego obiektu od idealnego rozwiązania, co pozwala na szybkie wyznaczenie rankingu alternatyw.

## **Wnioski końcowe**

W pracy zaproponowano metodykę badania jakości gry uwzględniającą stopień zaangażowania uczestników rozgrywki komputerowej. Składa się ona z następujących etapów: pierwszy etap – przegląd literatury, drugi etap - analiza metod badania zaangażowania gracza, trzeci etap - opracowanie metodyki oceny jakości gry na podstawie zaangażowania gracza, czwarty etap– weryfikacja opracowanej metody.

W pierwszej fazie (zwanej etapem I) wykonywany jest przegląd literatury, który obejmuje badania i analizę istniejących prac naukowych, artykułów i innych źródeł związanych z obszarem tematycznym produktu. Kluczowym celem tego etapu jest zgłębienie istotnych aspektów dotyczących jakości produktu, zapewnienia jakości oraz zaangażowania konsumenta. Poniżej zostały przedstawione istotne elementy składające się na ten etap:

- 1) Definicja jakości produktu:
  - a) analiza różnych definicji jakości produktu z literatury;
  - b) identyfikacja kluczowych atrybutów i cech charakteryzujących wysoką jakość.
- 2) Zapewnienie jakości:
  - a) przegląd różnych metod i narzędzi zapewniania jakości;
  - b) analiza standardów jakościowych.
- 3) Zaangażowanie konsumenta:
  - a) ocena różnych strategii zaangażowania konsumenta w kontekście produktu;

- b) badanie wpływu zaangażowania konsumenta na lojalność i satysfakcję klienta.
- 4) Rola konsumenta w doskonaleniu produktu:
- a) badanie roli konsumenta w procesie doskonalenia produktu;
  - b) identyfikacja sposobów, w jakie konsument może być zaangażowany w poprawę jakości produktu.

W drugim etapie (fazie II) wybiera się adekwatny wskaźnik do oceny zaangażowania gracza, co umożliwi dokładne określenie jakości elementów gry. Do tego celu wykorzystano grę platformową, której czas trwania nie przekraczał jednej minuty. Takie podejście umożliwiło swobodne przeprowadzenie badania, wykorzystując sprzęt i metody neuronauki poznawczej, takie jak EEG i Eye Tracker, oraz ankietę. Po analizie statystycznej wyników uzyskanych z EEG, Eye Tracker i ankiety, uzyskano indeks, który pozwala określić preferencje danej osoby w zakresie gier zręcznościowych i wskazuje, jakie elementy gry wymagają modyfikacji.

Po weryfikacji uzyskanych rezultatów podjęto prace metodyczne nad modyfikacją i dostosowaniem procedury analizy sygnału do specyfiki badania (etap III). Prace obejmowały m.in. określenie indywidualnej częstotliwości Alpha (IAF), wyznaczanie średnich wartości oraz macierzy kowariancji opartej na usunięciu składników ICA. W dalszej kolejności była obliczana całkowita moc pola (GFP), która stanowiła podstawę do wyznaczenia wartości indeksu zaangażowania. Uzyskane w ten sposób wartości podlegały jeszcze procedurze normalizacji. Działania te pozwalają przyjąć założenie o wiarygodności procesu obliczeniowego. Wartością dodaną jest również porównywanie wartości indeksu zaangażowania z odchyleniem standardowym. Jeśli odchylenie standardowe wielokrotnie przekracza poziom wartości indeksu zaangażowania, wiadomo, że usunięcie składowej ICA silnie wpływa na wartość indeksu. Należy też zwrócić uwagę na możliwość pojawienia się w danym momencie artefaktu. W rezultacie uzyskane informacje skłaniają do stwierdzenia, że wnioski dotyczące poprawienia elementu w grze należy traktować z ostrożnością.

Czwarta faza (etap IV) odpowiada za zastosowanie wyselekcjonowanego indeksu zaangażowania do oceny jakości elementów w grze. W tym przypadku stworzono autorską grę platformową, która zawierała siedem różnych poziomów o różnym stopniu trudności. Zostały również stworzone poziomy instruktażowe, których celem było wstępne zapoznanie się z grą. Badania zostały przeprowadzone przy wykorzystaniu sprzętu neuronauki poznawczej (EEG, Eye Tracker) oraz ankiety. Po zgromadzeniu wyników przeprowadzono analizę statystyczną.

Wyniki analiz pokazały, które elementy w grze i na jakim poziomie determinują niski poziom zaangażowania gracza, co przekłada się na jakość gry. Potwierdzeniem uzyskanych wyników było zestawienie ich z wynikami ankiety oraz Eye Tracker'a. Stanowiło to z kolei podstawę do podjęcia decyzji o potrzebie modyfikacji zawartości gry komputerowej.

Po dokonaniu koniecznych modyfikacji w elementach gry, przeprowadzono kompleksowe badanie weryfikacyjne z zastosowaniem metod wspomagania decyzji, a dokładniej metod VMCM oraz TOPSIS. Metoda VMCM okazała się lepsza od TOPSIS, ponieważ oferuje wyższą precyzję w przypisywaniu poziomów do klas jakości, uwzględniając złożone relacje między wskaźnikami oraz jest mniej wrażliwa na skalowanie danych, co zapewnia stabilniejsze i spójniejsze wyniki. Dodatkowo pozwala na bardziej szczegółową i dokładną ocenę, co jest kluczowe dla optymalizacji i poprawy jakości elementów gry.

Analiza wyników wykazała wyraźny wzrost zaangażowania graczy na większości poprawionych poziomów gry. Dane te zostały pozyskane zarówno z bezpośrednich obserwacji zachowań graczy, jak i z ankiet przeprowadzonych wśród uczestników, w których oceniali swoje zaangażowanie oraz satysfakcję z rozgrywki. Metoda VMCM pozwoliła na precyzyjne zmierzenie i porównanie wartości jakościowych obu wersji gry, potwierdzając przewagę nowej wersji.

W rezultacie, można jednoznacznie stwierdzić, że wprowadzone zmiany przyczyniły się do znaczącej poprawy jakości rozgrywki, co zostało potwierdzone zarówno przez obiektywne metryki zaangażowania, jak i subiektywne oceny uczestników badania. Metoda VMCM okazała się skutecznym narzędziem w ocenie wartości dodanej przez nowe elementy gry, co stanowi cenny wkład w dalszy rozwój i optymalizację projektu.

## Bibliografia

- Biercewicz, Konrad, Mariusz Borawski, and Jarosław Duda. 2020. "Method for Selecting an Engagement Index for a Specific Type of Game Using Cognitive Neuroscience" edited by M. J. Katchabaw. *International Journal of Computer Games Technology* 2020:2450651. doi: 10.1155/2020/2450651.
- Borawski, Mariusz, Konrad Biercewicz, and Jarosław Duda. 2020. "Determination of the Inaccuracies of Calculated EEG Indices." *Sensors* 20(19). doi: 10.3390/s20195715.
- Cartocci, Giulia, Enrica Modica, Dario Rossi, Bianca M. S. Inguscio, Pietro Aricò, Ana C. Martinez Levy, Marco Mancini, Patrizia Cherubino, and Fabio Babiloni. 2019. "Antismoking Campaigns' Perception and Gender Differences: A Comparison among EEG Indices" edited by S. Conforto. *Computational Intelligence and Neuroscience* 2019:7348795. doi: 10.1155/2019/7348795.
- Duarte, Luiz Cláudio, and Andre Battaiola. 2017. "Distinctive Features and Game Design." *Entertainment Computing* 21. doi: 10.1016/j.entcom.2017.03.002.
- Gibbs, N. M., and S. V. Gibbs. 2015. "Misuse of 'Trend' to Describe 'Almost Significant' Differences in Anaesthesia Research." *BJA: British Journal of Anaesthesia* 115(3):337–39. doi: 10.1093/bja/aev149.
- Goldberg, M., and C. Vendel. 2012. *Atari Inc: Business Is Fun*. Syzygy Company Press.
- J. M. Lilly and S. C. Olhede. 2010. "On the Analytic Wavelet Transform." *IEEE Transactions on Information Theory* 56(8):4135–56. doi: 10.1109/TIT.2010.2050935.
- Jurcak, Valer, Daisuke Tsuzuki, and Ipeita Dan. 2007. "10/20, 10/10, and 10/5 Systems Revisited: Their Validity as Relative Head-Surface-Based Positioning Systems." *NeuroImage* 34(4):1600–1611. doi: 10.1016/j.neuroimage.2006.09.024.
- Kaplan, Goknur. 2006. "Games and Simulations: A New Approach in Education." *Games and Simulations in Online Learning: Research and Development Frameworks* 1–20. doi: 10.4018/978-1-59904-304-3.ch001.

- Lang, P. J., M. M. Bradley, and B. N. Cuthbert. 2008. "International Affective Picture System (IAPS): Affective Ratings of Pictures and Instruction Manual." *Technical Report A-8, Gainesville, FL: University of Florida.*
- Lilly, Jonathan, and Sofia Olhede. 2012. "Generalized Morse Wavelets as a Superfamily of Analytic Wavelets." *IEEE Transactions on Signal Processing* 60. doi: 10.1109/TSP.2012.2210890.
- W. kong, X. Zhao, S. Hu, J. Zhang, G. Dai, G. Vecchiato, and F. Babiloni. 2012. "The Study of Memorization Index Based on W-GFP during the Observation of TV Commercials." Pp. 2198–2202 in *2012 International Conference on Systems and Informatics (ICSAI2012).*
- Wachowiak, Mark, Renata Smolikova-Wachowiak, Michel Johnson, Dean Hay, Kevin Power, and F. Williams-Bell. 2018. "Quantitative Feature Analysis of Continuous Analytic Wavelet Transforms of Electrocardiography and Electromyography." *Philosophical Transactions of The Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences* 376:20170250. doi: 10.1098/rsta.2017.0250.

## **Załącznik nr 1: Struktura rozprawy doktorskiej**

### **Rozdział 1 Problematyka zapewnienia jakości produktu**

- 1.1. Istota i determinanty jakości produktu
- 1.2. Proces zapewniania jakości produktu – pojęcie, etapy, metody
- 1.3. Jakość gry komputerowej jako produktu
- 1.4. Uwarunkowania i etapy procesu zapewnienia jakości gry komputerowej

### **Rozdział 2 Zaangażowanie konsumenta w kontekście jakości produktu**

- 2.1. Koncepcje zaangażowania konsumenta
- 2.2. Determinanty zaangażowania konsumenta w proces konsumpcji wyrobu
- 2.3. Zaangażowanie w proces konsumpcji jako wyznacznik jakości produktu
- 2.4. Czynniki psychofizjologiczne jako determinanta i wskaźnik poziomu zaangażowania w proces konsumpcji

### **Rozdział 3 Metodyczne aspekty oceny poziomu zaangażowania użytkownika gry komputerowej jako elementu procesu zapewnienia jakości produktu**

- 3.1. Metody i techniki oceny poziomu zaangażowania uczestnika gry komputerowej
- 3.2. Pomiar czynników psychofizjologicznych w kontekście oceny poziomu zaangażowania w proces konsumpcji-narzędzia, metody, techniki
- 3.3. Konstrukcja indeksu poziomu zaangażowania w oparciu o wybrane czynniki psychofizjologiczne charakteryzujące użytkownika gry komputerowej

### **Rozdział 4 Proponowana metodyka pomiaru stopnia zaangażowania uczestnika gier komputerowych**

- 4.1. Koncepcja pomiaru stopnia zaangażowania
- 4.2. Przygotowanie początkowe danych EEG – Kluczowe etapy wstępnej analizy sygnału
- 4.3. Ekstrakcja cech sygnału EEG
- 4.4. Procedura weryfikacji proponowanej metodyki

### **Rozdział 5 Określenie jakości poziomów w grze platformowej**

- 5.1. Studium Przypadku
- 5.2. Analiza i dyskusja wyników
- 5.3. Praktyczne wykorzystanie systemów wspomaganie decyzji przez twórców gier do podnoszenia jakości produktu
- 5.4. Wnioski z badań