

Gliwice, 13.02.2025

Autorzy: Wiktoria Marczyk, Julia Bugaj, Mateusz Górecki, Wojciech Omelańczuk, Michał Pokrzywa, Adrian Zaręba, Jakub Sarno

PROJEKT „MOBILNOŚĆ W VR”

CEL PROJEKTU

Projekt ma na celu zbadanie różnic w odbiorze i doznanach użytkownika podczas korzystania z dwóch różnych metod poruszania się w środowisku VR (wirtualnej rzeczywistości, ang. *Virtual Reality*): gogli z tradycyjnymi kontrolerami oraz bieżni immersywnej. Badanie obejmuje pomiar zarówno obiektywnych parametrów ruchu, jak i subiektywnych odczuć użytkowników podczas wykonywania różnych testów w obydwóch środowiskach. Ważnym aspektem będzie również zbadanie wpływu bieżni immersywnej na załagodzenie objawów choroby VR podobnych do choroby morskiej czy lokomocyjnej, skutkujących m.in. zawrotnymi głowy wywołanymi niezgodnością między ruchem widzianym a odczuwanym przez ciało.

ZAKRES BADANIA

Badania skupione są wokół określenia różnic w efektywności i naturalności ruchu w środowisku wirtualnej rzeczywistości między bieżnią immersyjną a poruszaniem się z wykorzystaniem standardowych kontrolerów (ruch ciągły z użyciem gałki kontrolera bądź teleportacja do wybranego miejsca z użyciem wirtualnego kurSORA i przycisku na kontrolerze). Dotyczy to zarówno zbadania subiektywnego poczucia komfortu użytkownika, jak i analizy dynamicznych aspektów ruchu przy użyciu metod numerycznych opartych na równaniach różniczkowych i fizyce w Unity.

PRZEBIEG BADANIA

Osobie badanej założono gogle VR (Oculus Meta Quest 2 bądź Oculus Meta Quest 3) oraz wyposażono ją w dwa kontrolery – dla ręki lewej oraz prawej.



Rysunek 1. Gogle VR Oculus Meta Quest 2



Rysunek 2. Gogle VR Oculus Meta Quest 3

Przed rozpoczęciem badania przeprowadzono krótkie szkolenie dotyczące obsługi sprzętu oraz zasad bezpieczeństwa w wirtualnej rzeczywistości. Następnie osoba badana miała za zadanie zagrać w trzy gry testowe, opisane w rozdziale Scenariusze gier testowych. W trakcie badania rejestrowano parametry, takie jak ruch użytkownika na podstawie rotacji głową oraz przemieszczenia w wirtualnej rzeczywistości, co pozwoliło na późniejszą analizę wyników. Eksperyment przeprowadzono w kontrolowanych warunkach, z zapewnieniem odpowiedniej przestrzeni do swobodnego poruszania się. Po zakończeniu testu uczestnik miał możliwość podzielenia się swoimi odczuciami oraz ewentualnymi trudnościami napotkanymi podczas badania.

METODYKA I POMIARY

Metodyka pomiarów skupia się wokół takich aspektów, jak tendencje ruchu użytkownika, sprawność wykonania zadania oraz subiektywne odczucia w zależności od sposobu wykonania zadania (z bieżnią bądź bez bieżni). W ramach projektu analizowano następujące wskaźniki:

Podstawowe miary ruchów

- Czas wykonania zadania
- Maksymalna oraz średnia prędkość
- Suma kątów wszystkich obrotów
- Relacja ruchu głowy a obrotu ciała

Sprawność zwrotów

- Maksymalna oraz średnia prędkość obrotu
- Czas wznowienia ruchu po zmianie kierunku ruchu

Spójność w ruchu

- Pomiar przerw w ruchu w celu orientacji w otoczeniu
- Analiza zależności prędkości od czasu

Czas reakcji

- Analiza jak szybko użytkownik odnajduje się w otoczeniu po teleportacji
- Czas reakcji przed wejściem w przestrzeń wizualnie niebezpieczną (np. most nad głęboką wodą, wąska deska zamieszczona nad przepaścią)

Subiektywne odczucia oraz reakcja organizmu

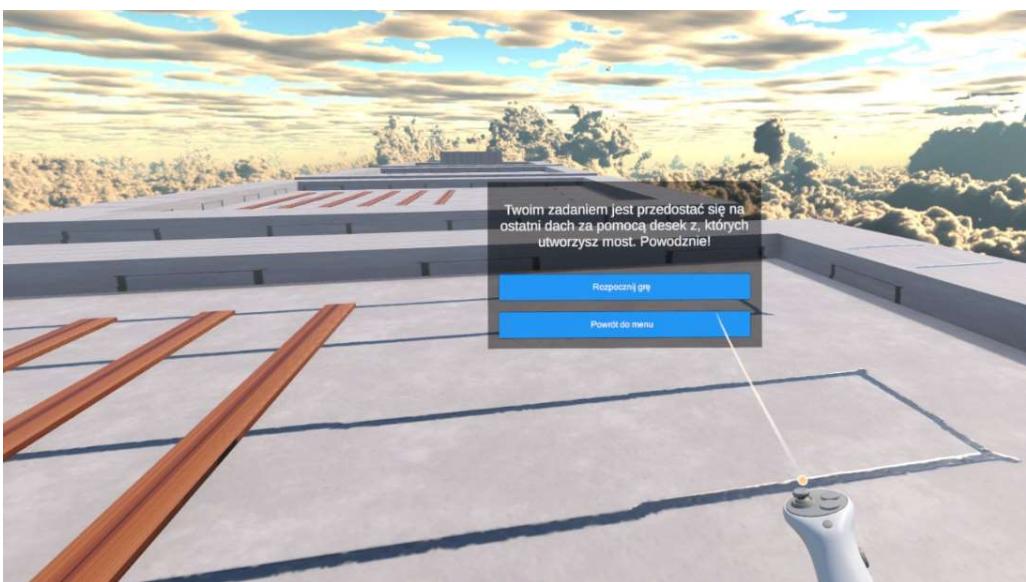
- Ocena naturalności oraz komfortu ruchu
- Wpływ choroby lokomocyjnej na samopoczucie w zależności od sposobu wykonania zadania
- Tętno podczas różnych scenariuszy

SCENARIUSZE GIER TESTOWYCH

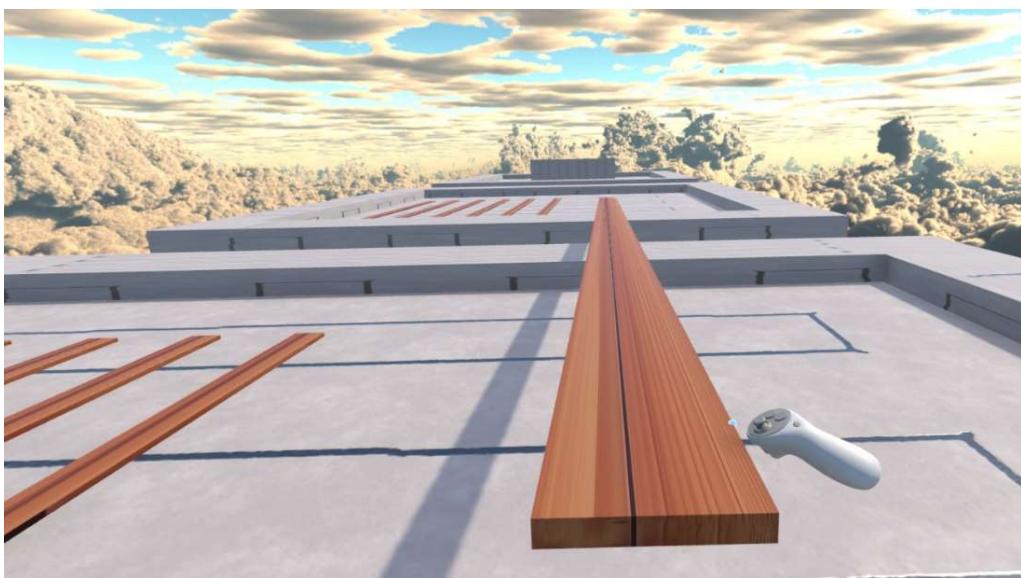
- **Rooftop Level**

Cel: Dotarcie do ostatniego z dachów, budując pomiędzy kolejnymi dachami kładki z desek.

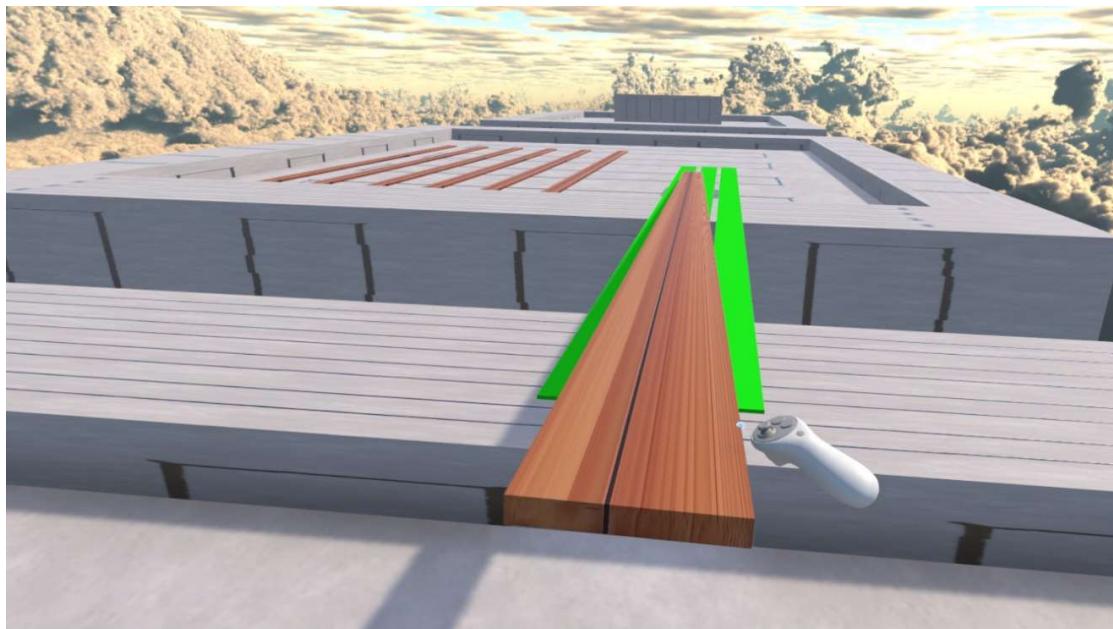
1. Gracz po uruchomieniu poziomu widzi panel z zasadami i celem gry.
2. Poziom rozpoczyna się na pierwszym z 4 dachów oddalonych od siebie na coraz większe odległości.
3. Gracz przy użyciu kontrolera podnosi deskę i kładzie ją pomiędzy dachami
4. Gracz sam decyduje ilu desek chce użyć do budowy kładki.
5. Gracz przechodzi na następny dach i powtarza krok budowy kładki, aż dotrze do ostatniego dachu.



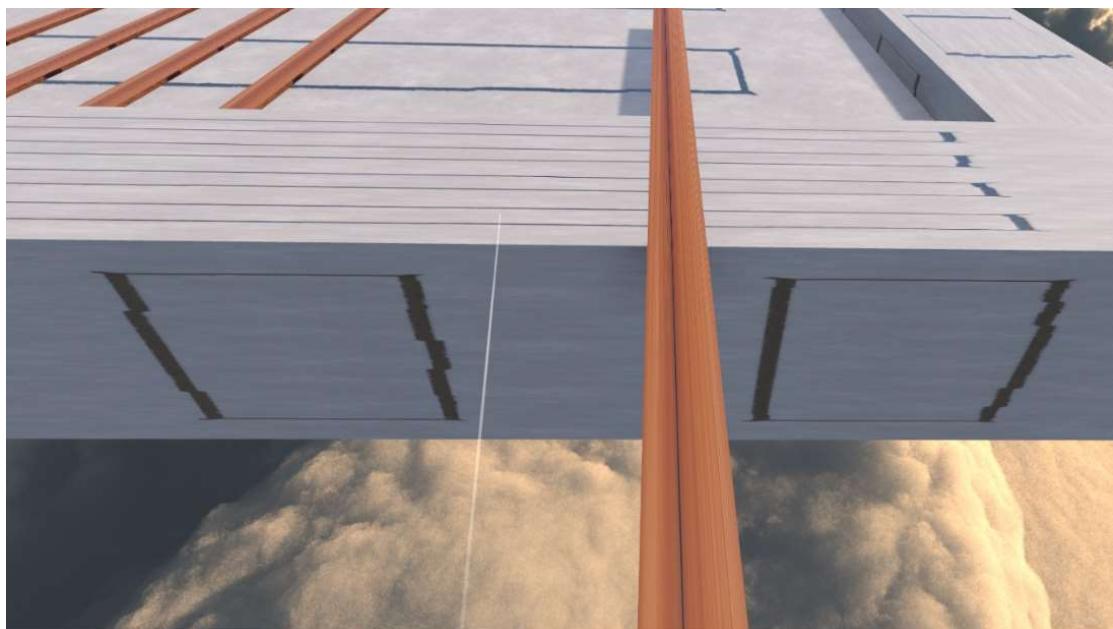
Rysunek 3. Zrzut ekranu z poziomu "Rooftop" – panel z zasadami gry



Rysunek 4. Zrzut ekranu z poziomu "Rooftop" – chwycenie wirtualnej rąką deski z użyciem przycisku na kontrolerze



Rysunek 5. Zrzut ekranu z poziomu "Rooftop" – wyświetlenie pól (na zielono), w które możliwe jest umiejscowienie deski

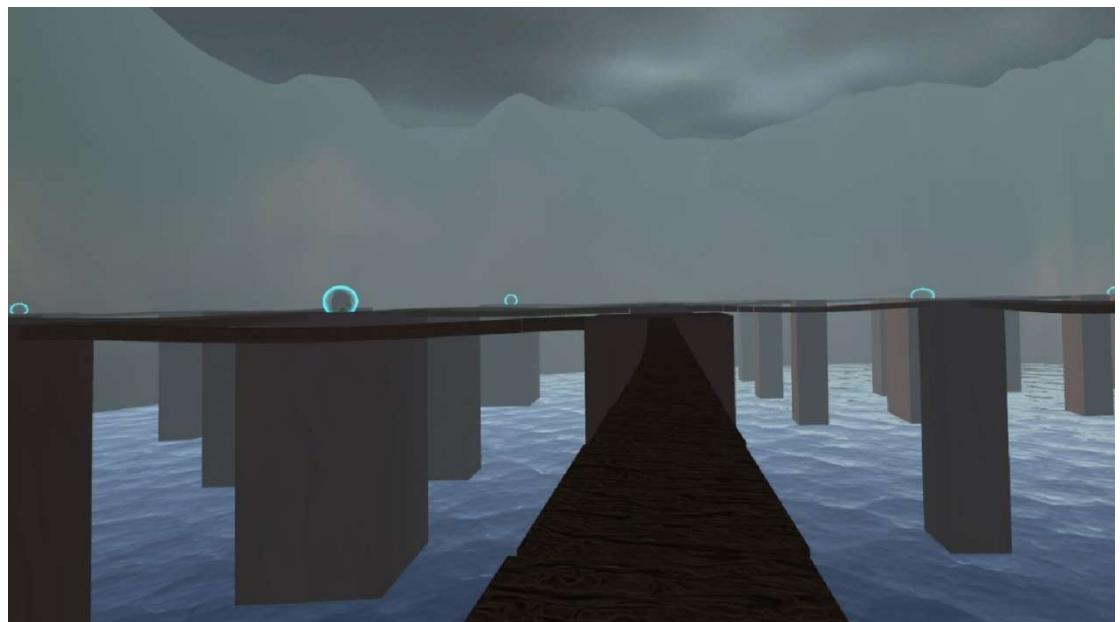


Rysunek 6. Zrzut ekranu z poziomu "Rooftop" – przechodzenie po desce umieszczonej między dachami

- **Bridge level**

Cel: Dotarcie do wymaganej liczby kamieni znajdujących się w labiryncie złożonym z platform połączonych mostami w wyznaczonym czasie.

1. Gracz po uruchomieniu poziomu widzi panel z zasadami i celem gry.
2. Gracz przechodzi między platformami przez chwierające się mosty zawieszone nad głęboką wodą.
3. Podczas przechodzenia mostu za graczem znikają belki, na których stanął.
4. Gracz dociera do wymaganej liczby kamieni w określonym czasie.
5. Gracz zostaje powiadomiony o wygranej.



Rysunek 7. Zrzut ekranu z poziomu „Bridge” – przechodzenie po chwiejących się mostach



Rysunek 8. Zrzut ekranu z poziomu „Bridge” - widok na zegar w grze reprezentujący pozostały czas na wykonanie zadania w minutach i sekundach



Rysunek 9. Zrzut ekranu z poziomu „Bridge” - dotarcie do punktu końcowego, którego dotknięcie wirtualną ręką sterowaną przez kontroler skutkuje zaliczeniem gry

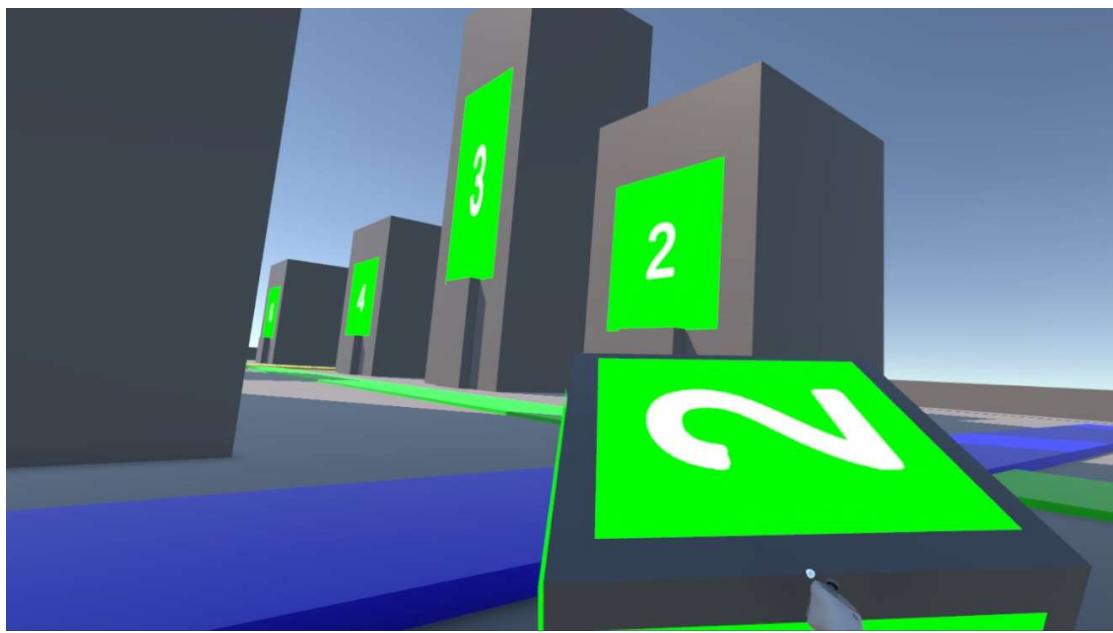
- **Postman level**

Cel: Gracz ma dostarczyć przesyłki pod konkretny adres (oznaczony numerem i kolorem).

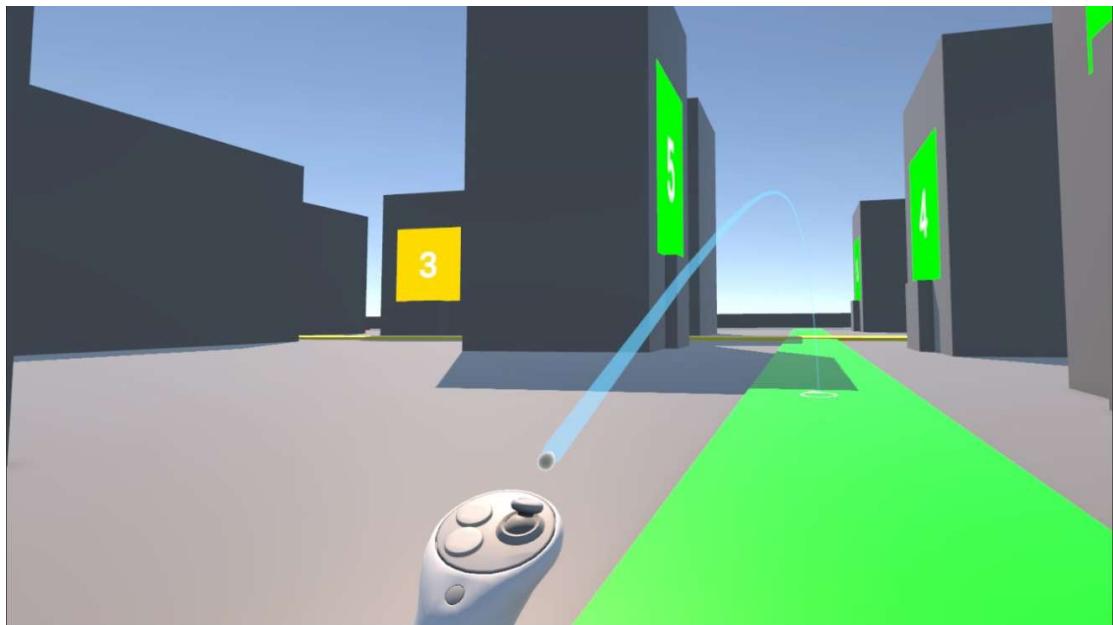
1. Gracz po uruchomieniu poziomu widzi panel z zasadami i celem gry.
2. Gracz podnosi paczkę, która pojawiła się przy poczcie.
3. Gracz niosąc paczkę zanosi ją pod odpowiedni dom.
4. Po dostarczeniu paczki gracz wraca pod pocztę po kolejną paczkę do doręczenia.
5. Gracz powtarza kroki 2-4 aż dostarczy wszystkie paczki / minie limit czasu.



Rysunek 10. Zrzut ekranu z poziomu „Postman” – punkt startowy poczty z paczkami do rozwiezienia



Rysunek 11. Zrzut ekranu z poziomu „Postman” – wzięcie paczki do wirtualnej ręki sterowanej kontrolerem i zaniesienie jej pod wskazany adres



Rysunek 12. Zrzut ekranu z poziomu „Postman” – możliwość teleportacji po ścieżce z wykorzystaniem wirtualnego kurSORA i kontrolera

MODELOWANIE RUCHU I FIZYCZNE PODSTAWY SYMULACJI

Dynamika translacji

W celu zasymulowania fizycznej dynamiki ruchu gracza, konieczne jest zamodelowanie translacji. Równanie ruchu translacyjnego środka masy opisuje zmiany pozycji ciała sztywnego w przestrzeni pod wpływem działających na nie sił.

Równanie 1. Równanie ruchu translacyjnego

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{F}{m}$$

- \mathbf{x} — pozycja środka masy (wektor w 3D)
- \mathbf{F} — całkowita siła działająca na ciało (np. grawitacja, siły kontaktowe)
- \mathbf{m} — masa ciała

Z równania tego wyznaczono zarówno prędkość ($v=dx/dt$), jak i pozycję w czasie ($x(t)$) poprzez całkowanie równania ruchu. W praktyce, ze względu na złożoność analitycznego rozwiązania w wielu przypadkach wykorzystuje się metody numeryczne, które iteracyjnie obliczają zmiany w stanie układu, takie jak metoda Eulera. Polega ona na przybliżonym wyznaczaniu nowych wartości pozycji i prędkości na podstawie wartości w poprzednim kroku czasowym.

Równanie 2. Zależność prędkości od czasu przy założeniu stałego przyspieszenia

$$V_{t+\Delta t} = V_t + a\Delta t$$

Równanie 3. Zależność położenia od czasu przy założeniu stałego przyspieszenia

$$x_{t+\Delta t} = x_t + V_{t+\Delta t}\Delta t$$

- V_t — prędkość w chwili t
- $V_{t+\Delta t}$ — prędkość po upływie czasu Δt
- a — przyspieszenie
- x_t — pozycja w chwili t
- $x_{t+\Delta t}$ — pozycja po upływie czasu Δt
- Δt — krok czasowy, który reprezentuje odstęp między kolejnymi punktami obliczeniowymi w symulacji

ANKIETA

Osoby badane odpowiadały (bądź odpowiedzą) po wykonaniu testów na bieżni immersyjnej) na poniższe pytania:

1. Określ w skali 1-10, gdzie 1 oznacza brak, a 10 oznacza drastyczne objawy jak omdlenie, jak mocno odczuwasz chorobę lokomocyjną podczas korzystania z a) bieżni, b) kontrolerów do poruszania.
2. Określ porządek, w którym ułożone będą zadania testowe od mierzącego najmniej do najbardziej mierzącego.
3. Określ porządek, w którym ułożone będą zadania testowe od relaksującego do najbardziej stresującego podczas używania bieżni.
4. Określ porządek, w którym ułożone będą zadania testowe od relaksującego do najbardziej stresującego podczas używania kontrolerów do poruszania.
5. Określ które z testowanych sposobów sterowania było najbardziej immersyjne, a które najmniej.

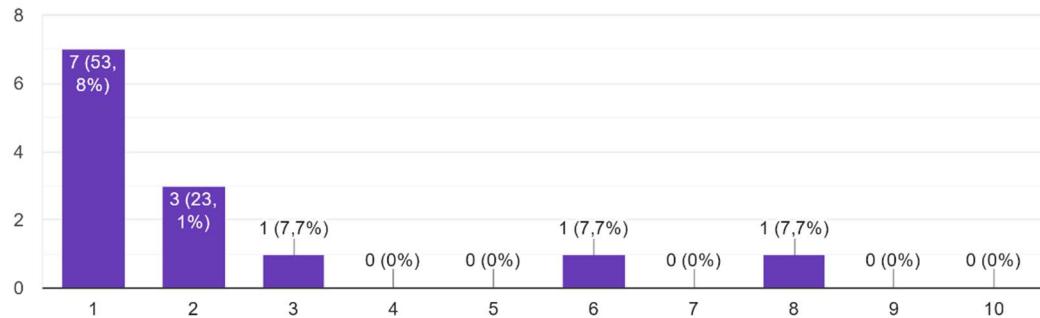
Dodatkowo zadane zostały pytania otwarte:

- Co podczas testów powodowało u testera największą irytację
- Co najbardziej podobało się testerowi
- Jakie było poprzednie doświadczenie testera z urządzeniami VR

- Jakie było poprzednie doświadczenie testera z bieżniami VR

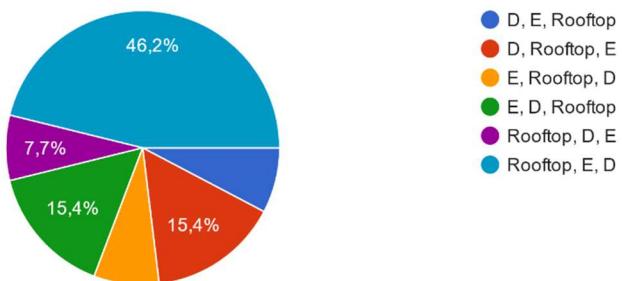
Okreś w skali 1-10, gdzie 1 oznacza brak, a 10 oznacza drastyczne objawy jak omdlenie, jak mocno odczuwasz chorobę lokomocyjną podczas korzystania z VR

13 odpowiedzi



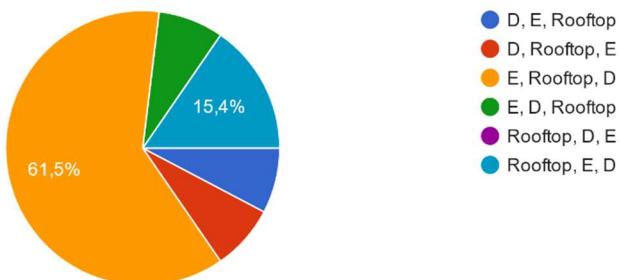
Okreś porządek, w którym ułożone będą zadania testowe od męczącego najmniej do najbardziej męczącego (Level D - mosty zawieszone nad głęboką wodą, Level E - rozwożenie paczek)

13 odpowiedzi

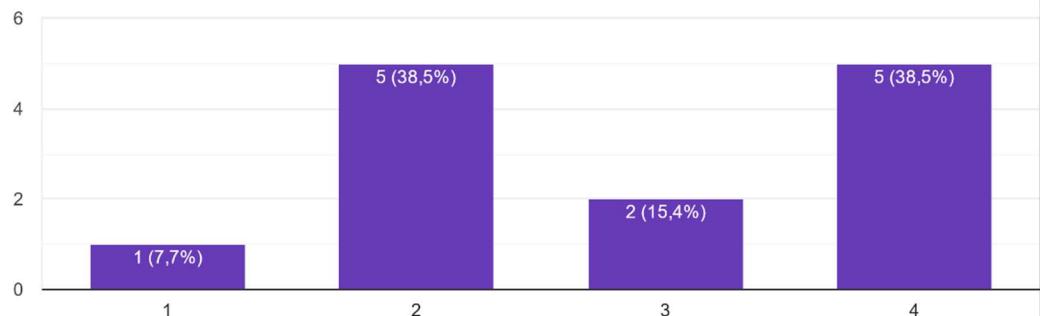


Okreś porządek, w którym ułożone będą zadania testowe od relaksującego do najbardziej stresującego

13 odpowiedzi



Jakie miałeś doświadczenie z urządzeniami VR? Określ w skali 1-4 (1 - to było moje pierwsze doświadczenie, 2 - znikome, max kilka razy miałem ...poradyczne, raz na jakiś czas używam, 4 - częste)
13 odpowiedzi



Co powodowało największą irytację?

13 odpowiedzi

Niepłynne obracanie się na boki

obracanie ekranu (o stały, trochę za duży kąt)

Powolne przechodzenie poziomów

Spadanie z mostów

Prędkość poruszania się

chwiejące się mosty

Upadek z dachu

chwiejące mosty

Finish line na poziomie Rooftop był niejasny, wyglądał jak ściana, w którą nie powinniśmy wchodzić

Brak zbieżności odczucia ruchu i widzianego obrazu

Niewymagające nudne poziomy

Znikające deski na poziomie rooftop

brak (ewentualnie troszkę lepsze oznaczenie gdzie iść dotyczące mostów)

Co się najbardziej podobało?

13 odpowiedzi

Przechodzenie przez mosty

Technologia VR, patrzenie w dół, realistyczność

Wiary i mosty

Mosty

Latające deski na level rooftop

Rzucanie paczkami

Rzucanie paczką

Rzucanie paczkami

Bujanie mostów, mogłyby być miejscami jeszcze mocniejsze

Przechodzenie przez mosty, pozwalało na zabawę, która nie była by tak wymagająca i angażująca gdyby poziom odbywał się na zwykłym ekranie komputera

Rzucanie deskami

Bujające się mosty

Rzucanie paczkami/deskami

Zdecydowana większość osób, które przetestowały zaprezentowane poziomy, na ogólnie dobrze toleruje technologię VR. 53,8 % ankietowanych uznało, iż nie odczuwa żadnych negatywnych objawów podczas użytkowania gogli. Wśród uczestników występuje jednak duże zróżnicowanie pod względem doświadczenia z wirtualną rzeczywistością – część miała jedynie sporadyczny kontakt, ograniczony do kilku okazjonalnych użyć, podczas gdy inni korzystają z niej niemal codziennie. Ten czynnik z pewnością będzie istotny w dalszych badaniach. Osoby obeznane z wirtualną rzeczywistością mogą szybciej adaptować się do środowiska VR, co może skutkować mniejszym ryzykiem wystąpienia negatywnych objawów, takich jak choroba symulatorowa. Z kolei osoby z ograniczonym doświadczeniem mogą wymagać dłuższego okresu adaptacji i mogą być bardziej podatne na dyskomfort. Ponadto różnice w doświadczeniu mogą wpływać na sposób interakcji z otoczeniem VR oraz na efektywność wykonywania zadań w wirtualnym świecie. 61,5 % ankietowanych zgodziło się, iż najbardziej stresującym poziomem jest *Bridge Level*, natomiast 46,2% osób wskazało go również jako najbardziej męczący. Z tego powodu szczegółowej analizie w dalszej części raportu oddane zostaną statystyki z rozgrywki na tym poziomie, w poszukiwaniu różnic w interakcji z wirtualnym otoczeniem między osobami zdrowymi, a chorymi na chorobę VR, a także między osobami zaznajomionymi wcześniej z tymi poziomami (tzw. osobami doświadczonymi), a niedoświadczonymi. Ciekawe jest również to, iż część ankietowanych uznała chwiejące

mosty w grze *Bridge Level* jako najbardziej irytującą mechanikę, natomiast inne osoby uznały, iż ten aspekt najbardziej im się podobał ze wszystkich prezentowanych. Różnorodne reakcje mogą sugerować, że odbiór elementów wirtualnej rzeczywistości jest wysoce subiektywny i zależy od indywidualnych preferencji oraz doświadczenia użytkownika. Może to wskazywać na istotną rolę osobistych predyspozycji, takich jak odporność na stres, przyzwyczajenie do technologii VR czy poziom immersji w odbiorze poszczególnych mechanik. Tego rodzaju zróżnicowanie warto uwzględnić przy projektowaniu przyszłych doświadczeń VR, aby lepiej dostosować poziomy trudności i angażujące elementy do różnych grup odbiorców. Aspektem docenionym przez ankietowanych okazały się być także interaktywne obiekty, takie jak paczki na poziomie *Postman Level* oraz deski na poziomie *Rooftop Level*, które użytkownik miał możliwość brać do wirtualnej ręki i nimi rzucać. Taka reakcja sugeruje, że możliwość bezpośredniego oddziaływania na otoczenie znacząco zwiększa immersję i angażuje użytkowników w rozgrywkę. Warto więc w przyszłych projektach VR rozwijać tego typu elementy, aby jeszcze bardziej zwiększyć poczucie kontroli nad światem wirtualnym.

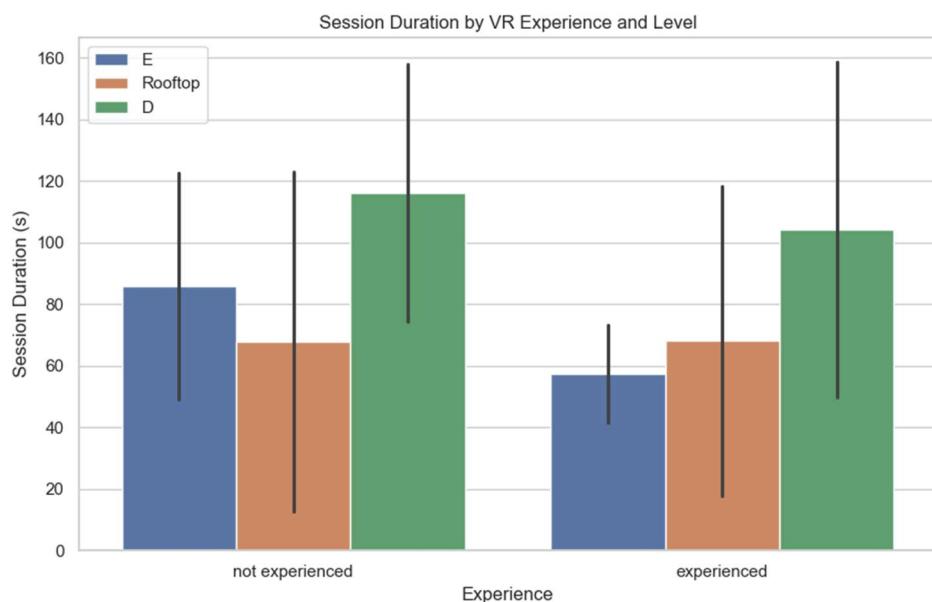
STATYSTYKA

Do uzyskania wniosków (oraz danych porównawczych sposobów kontroli po wykonaniu testów na bieżni) wyliczone zostały (zostaną) następujące wskaźniki:

- Uśredniona wydajność w wykonywaniu każdego z zadań zależnie od sposobu kontroli, każdy scenariusz testowy (liczba poziomów * liczba sposobów kontroli) posiada wskaźnik wydajności użytkowników $\frac{\Sigma(\text{czas wykonania})}{\text{liczba testerów poziomu}}$
- Średnia uzyskiwana szybkość podczas testów, każdy scenariusz testowy posiada wartość średniej szybkości poruszania uzyskiwanej przez użytkowników oraz uśrednioną wartość maksymalnej szybkości $\frac{\Sigma(\text{szybkość poruszania})}{\text{liczba testerów poziomu}}$
- Intensywność obrotów w zależności od sposobu kontroli $\frac{\Sigma(\text{suma kątów obrotów})}{\text{czas wykonania}}$
- Uśrednione wartości ze skali odczucia choroby lokomocyjnej dla każdego z systemów poruszania, wskazanie, który dla większości osób był najmniej problematyczny.
- Z zebranych danych ankietowych, pogrupowane poziomy względem odczucia zmęczenia po przejściu każdego z poziomów.
- Z zebranych danych ankietowych, pogrupowane poziomy względem odczucia stresu po przejściu każdego z poziomów.
- Z zebranych danych ankietowych, pogrupowane poziomy względem odczucia stresu po użyciu każdego z sposobów poruszania.

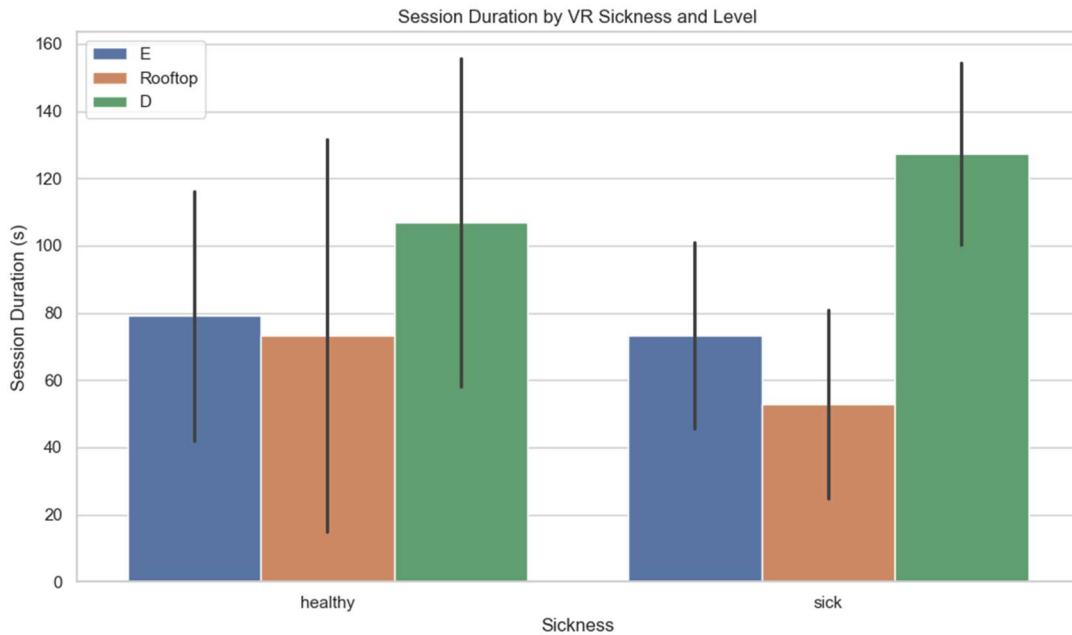
Wyniki przedstawione poniżej zostały uzyskane na podstawie testów przeprowadzonych na 13 uczestnikach. Wśród nich 3 osoby miały wcześniejsze doświadczenie z charakterystyką testów (tzw. osoby doświadczone), a 2 cierpiąły na chorobę VR. Dane zostały zebrane w środowisku Unity, obejmując czas rozpoczęcia i zakończenia testu oraz rejestrowane co klatkę (ok. 60 razy na sekundę) wartości, takie jak: prędkość poruszania się, kąt rotacji głowy i ciała. Na ich podstawie obliczono maksymalną oraz średnią

prędkość ruchu, a także sumaryczne wartości kątów obrotu ciała i głowy. Dodatkowo zarejestrowano czasy postojów wraz z momentem ich rozpoczęcia, przy czym wyróżniono postoje wynikające z podejścia do strefy wizualnie niebezpiecznej, mogącej wywołać dyskomfort lub zawahanie uczestnika testu oraz postoje bezpośrednio po wykonaniu teleportacji, w celu analizy czasu potrzebnego na zorientowanie się w terenie po użyciu takiej formy przemieszczenia. Następnie zebrane dane i zapisane do pliku json odczytano i przetworzono w języku Python przy użyciu takich bibliotek, jak pandas, numpy, matplotlib, seaborn. Jako iż dane zebrane w Unity zapisywane są co klatkę w funkcji Update - mają wysoką częstotliwość. Kod przetwarzający je w języku Python uśrednia prędkość w obrębie każdej sekundy, a rotację wyrażoną w stopniach sumuje w obrębie każdej sekundy. Na podstawie tak agregowanych danych wykreślono umieszczone niżej wykresy. Gry testowe opisano w formie skrótowej, gdzie Level D reprezentuje *Bridge Level*, natomiast *Postman Level* opisano jako Level E.



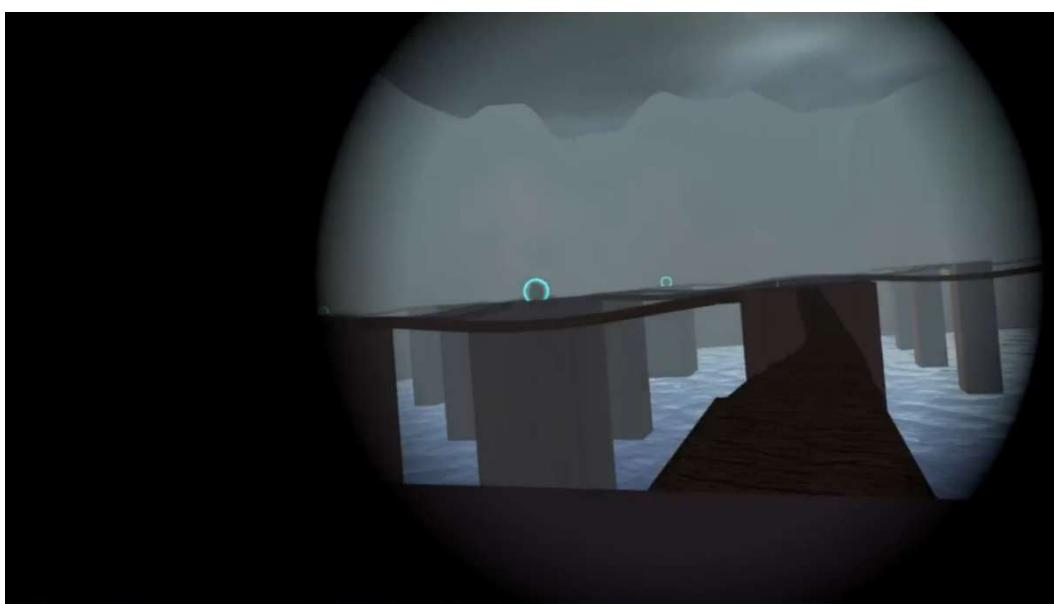
Rysunek 13. Wykres zależności doświadczenia osoby od czasu trwania sesji dla poszczególnych poziomów (gier)

Czasy przechodzenia poziomów zarówno przez osoby zaznajomione wcześniej z grami testowymi, jak i dla tych, które zetknęły się z nimi po raz pierwszy, wypadają dosyć podobnie (Rysunek 13). Może to wynikać z prostoty mechaniki oraz intuicyjnych zasad testowanych gier, co pozwala nowym użytkownikom szybko się wdrożyć w rozgrywkę, nie wymagając długiego procesu adaptacji. Widać jednak dla poziomu wymagającego znajomość otoczenia i umiejętność szybkiej orientacji (*Postman Level*), osoby doświadczane poradziły sobie zdecydowanie szybciej, uzyskując znaczco krótsze czasy rozgrywki od osób mniej doświadczonych. Z kolei w grze o mniej dynamicznej mechanice, koncentrującej się na ostrożnym pokonywaniu chybliwych mostów (*Bridge Level*), to właśnie osoby niedoświadczane spędzały więcej czasu na jej ukończeniu, co może wynikać z ich większej ostrożności i potrzeby lepszego zapoznania się ze środowiskiem.

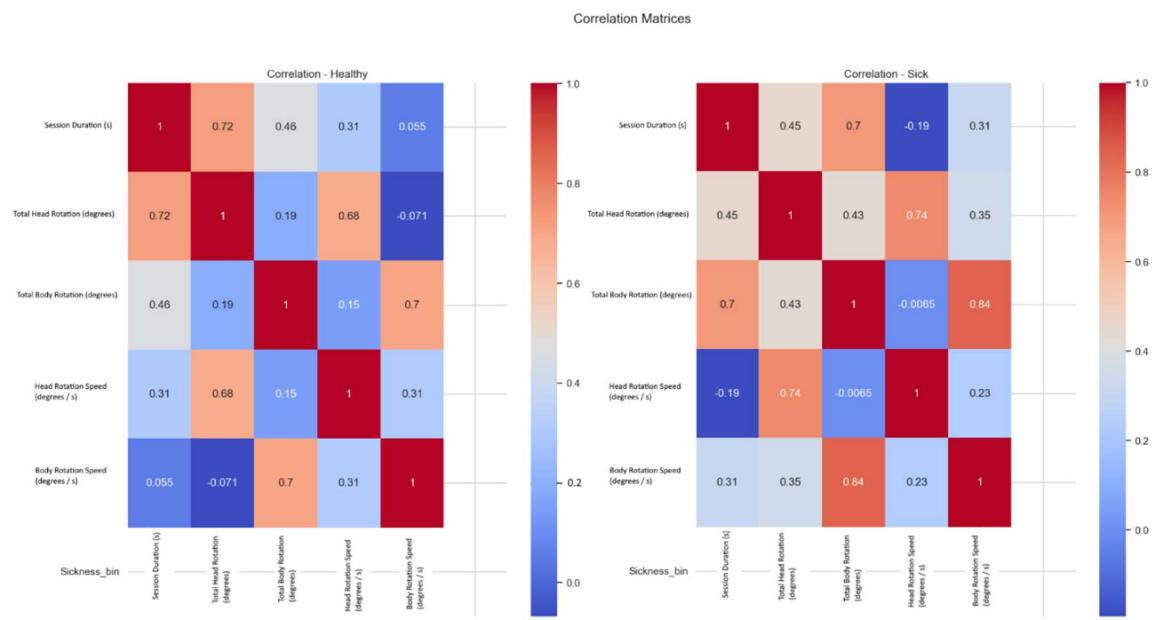


Rysunek 14. Wykres zależności choroby od czasu trwania sesji dla poszczególnych poziomów (gier)

Czasy przechodzenia poziomów przez osoby cierpiące na chorobę VR oraz osoby zdrowe są również dosyć zbieżne (Rysunek 14). Może to wynikać z przystępności mechanik gry i skuteczności zastosowanych sposobów minimalizujących dyskomfort, takich jak winieta (Rysunek 15). Efekt ograniczenia widocznego pola widzenia podczas przemieszczania się i rotowania poprzez przyciemnienie i zwężenie widoku w rogach ekranu pomaga zmniejszyć dyskomfort, zawroty głowy i nudności wywołane niezgodnością między ruchem widzianym a odczuwanym przez ciało. Dzięki temu gry testowe nie powodowały znaczącego nasilenia objawów choroby, a tym samym konieczności robienia dłuższych przerw, bądź występujące objawy wpływają jedynie na samopoczucie osoby badanej, lecz nie na jego zdolność do efektywnego ukończenia poziomu.



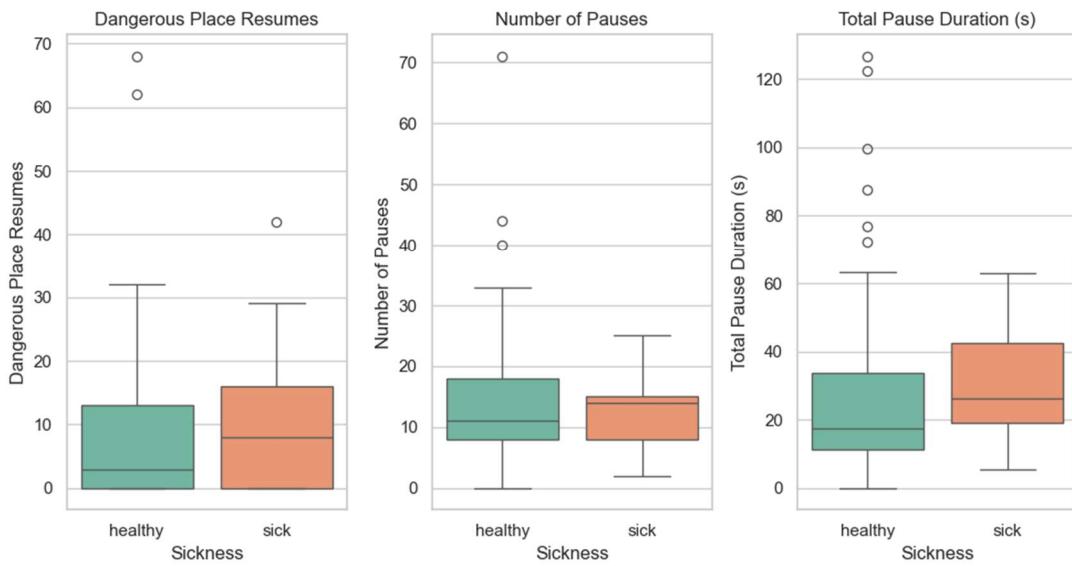
Rysunek 15. Efekt winiety występujący przy przemieszczaniu się i rotowaniu ciałem



Rysunek 16. Macierze korelacji

Z macierzy korelacji (Rysunek 16) widać u osób zdrowych wysoką dodatnią zależność między czasem trwania sesji a rotacją głowy (**0.72**). Im dłużej sesja Twoja, tym większy zakres ruchu głowy. Jednak dla rotacji ciałem korelacja ta nie jest już tak silna (**0.46**). Dla osób chorych zaś widać odwrotny efekt – im dłużej osoba spędza czas w świecie wirtualnej rzeczywistości, tym częściej angażuje ruch całego ciała (korelacja na poziomie **0.7**), jednak korelacja między czasem sesji a rotacją głowy, wynosząca **0.45** może sugerować, że osoby chore mają mniejszą zdolność do wykonywania ruchów głową w trakcie dłuższych sesji. Z tego wynika, iż u osób zdrowych dłuższy czas sesji jest bardziej związany z ruchami głowy, natomiast u osób chorych dominują ruchy ciała, co może sugerować inne strategie kompensacyjne. Inną obserwacją jest, iż u osób zdrowych istnieje bardzo niska, zerowa korelacja między rotacją głowy a prędkością rotacji ciała (**-0.071**). Osoby te kontrolują ruchy niezależnie i nie potrzebują angażować ciała do kompensacji ruchów głowy. Inaczej rysuje się to u osób chorych, dla których zależność ta plasuje się na poziomie (**0.35**). Jest to umiarkowana korelacja, lecz nadal zdecydowanie większa w stosunku do osób zdrowych. Może to oznaczać trudności w izolowaniu ruchów głowy i konieczność angażowania całego ciała do ich wykonywania, co może być efektem problemów z koordynacją lub kompensacją ograniczonej mobilności szczytu.

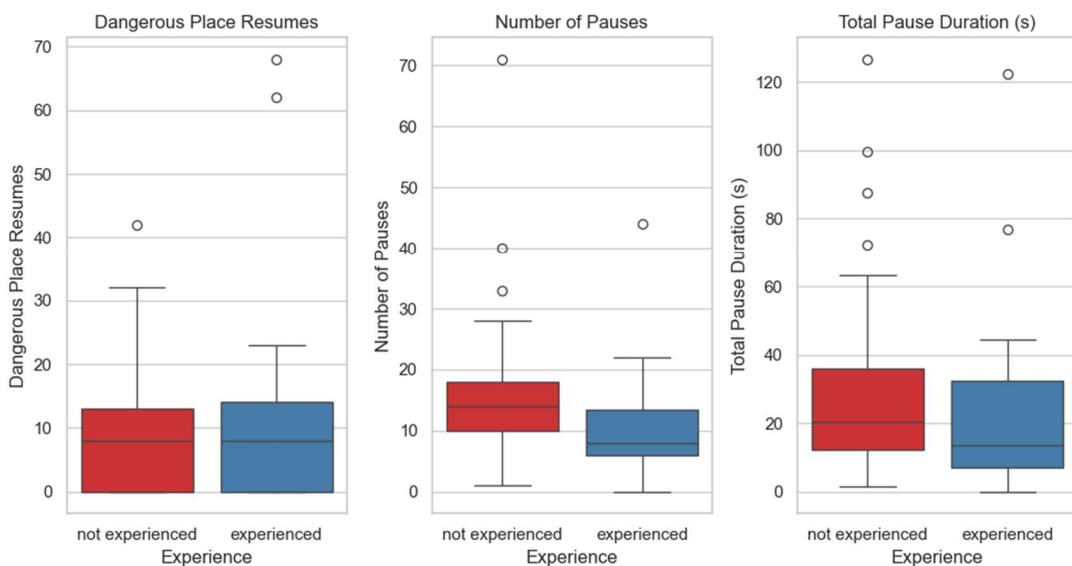
Pause Parameters: Healthy vs. Sick



Rysunek 17. Zestawienie liczby przerw i ich długości dla osób zdrowych i chorych na chorobę VR

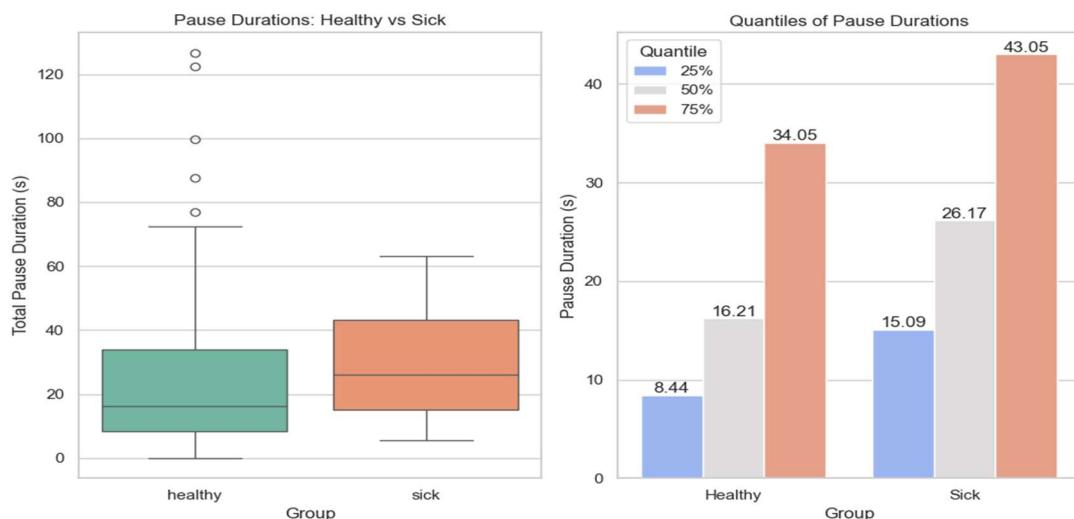
Osoby chore nie wymagały wykonywania większej ilości przerw w stosunku do osób zdrowych (Rysunek 17). W wyniku użycia takich mechanik, jak winieta, które łagodzą objawy choroby VR, osoby te nie wykazywały konieczności zdejmowania gogli w celu unormowania zawrotów głowy, co może świadczyć o przystępności scenariuszy testowych dla osób zmagających się z problemami z błędniakiem. Natomiast jeśli te osoby zdecydowały się na przerwę, trwała ona dłużej w porównaniu do osób zdrowych.

Pause Parameters: Experienced vs. Inexperienced



Rysunek 18. Zestawienie liczby przerw i ich długości dla osób doświadczonych i niedoświadczonych

Osoby niedoświadczone zdecydowanie częściej zatrzymywały się w środowisku gier testowych w celu zorientowania się w przestrzeni (Rysunek 18.). Jest to zrozumiałe zjawisko, jako iż osoby bez wcześniejszego doświadczenia w danym środowisku VR potrzebują więcej czasu na zrozumienie otoczenia. Może to również wynikać z większej chęci eksploracji w porównaniu do osób doświadczonych, które często poruszają się płynniej i bardziej intuicyjnie, przechodząc gry testowe w sposób już niemal automatyczny.

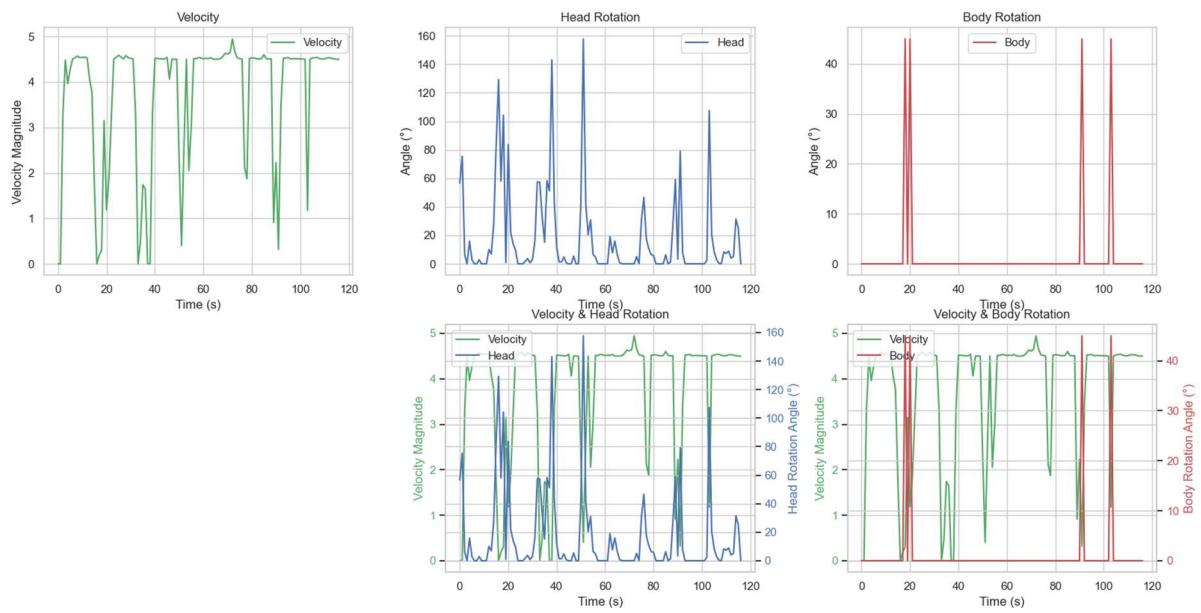


Rysunek 19. Zestawienie wykresu pudełkowego przedstawiającego całkowity czas trwania pauz dla uczestników zdrowych i chorych na chorobę symulatorową oraz wykresu słupkowego reprezentującego wartości kwartyli czasu pauz (25%, 50%, 75%) dla obu grup

W celu lepszego zrozumienia rozkładu danych przy porównaniu czasu pauz wśród osób zdrowych i chorych na chorobę VR, wyliczono dolny i górny kwartyl oraz medianę. W ten sposób można sprawdzić gdzie koncentruje się większość wartości. Otrzymany rezultat zamieszczono na wykresie słupkowym (Rysunek 19). Wartości dla osób chorych są wyższe we wszystkich trzech kwantylach niż dla osób zdrowych. Szczególnie wyraźną różnicę widać w 75. percentylu, gdzie najdłuższe pauzy są znacznie dłuższe u osób chorych. W porównaniu do osób zdrowych, osoby chore mają średnio dłuższe przerwy w każdej z analizowanych grup kwantylowych. Różnice w czasie pauzy między osobami chorymi a zdrowymi stają się coraz wyraźniejsze wraz z upływającym czasem. Z tego może wynikać, iż osoby chore wymagają więcej czasu na regenerację, kiedy już zdecydują się na postój w wirtualnym świecie.

Folder: Wiktoria_ch
Health: sick
Experience: experienced

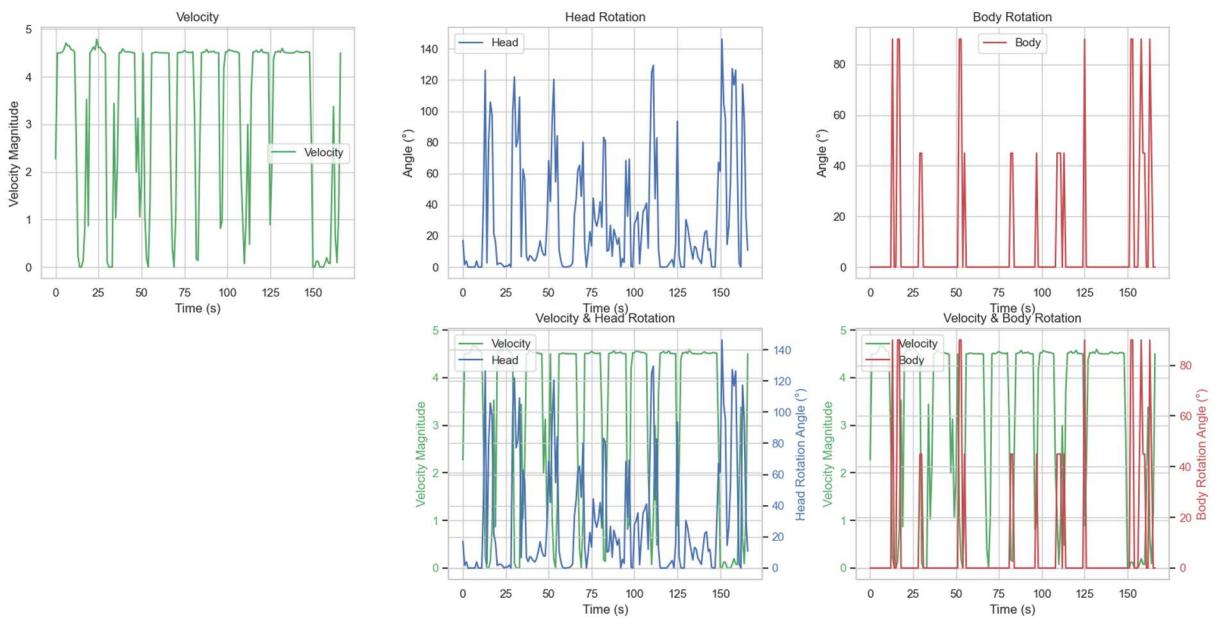
Plik 11/34: Level_D_VR_2025-02-06_19-35-02.json (←/→ to navigate)



Rysunek 20. Dane badanej osoby z poziomu "Bridge Level", która jest chora i doświadczona

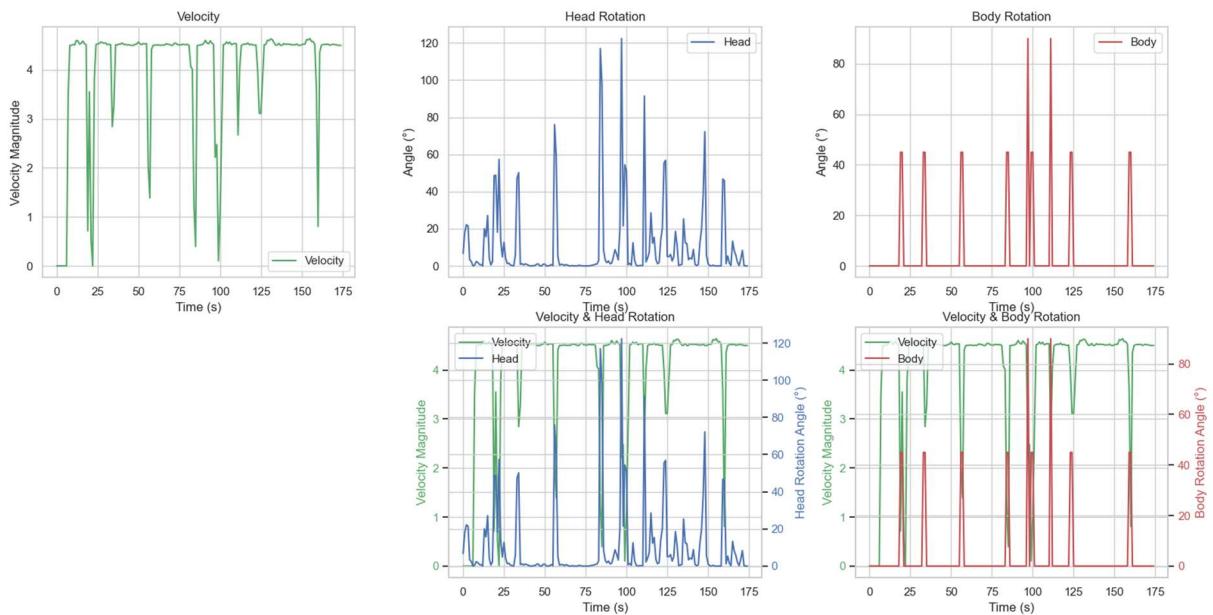
Folder: Cyrez
Health: healthy
Experience: experienced

Plik 8/34: Level_D_VR_2025-02-11_13-06-02.json (←/→ to navigate)



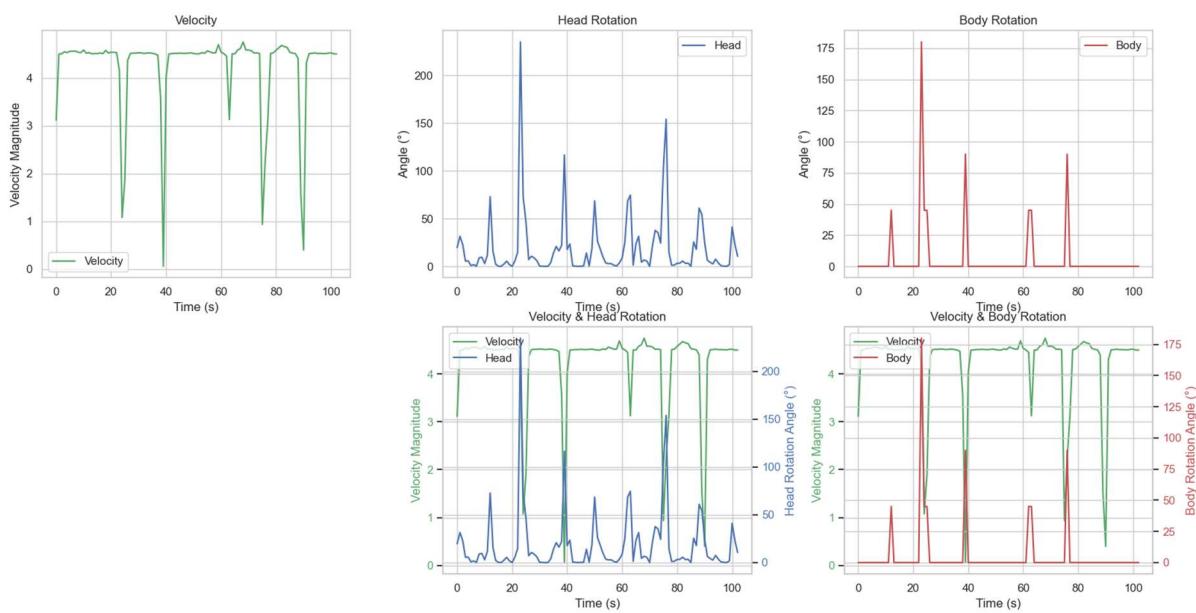
Rysunek 21. Dane badanej osoby z poziomu "Bridge Level", która jest zdrowa i doświadczona

Osoba chora (Rysunek 20) w przeciwieństwie do osoby zdrowej (Rysunek 21), nie synchronizuje ruchu z rotacją głowy ani ciała. W tym wypadku chory zatrzymuje się w miejscu, aby wykonać rotację, po czym wznowia ruch. Osoba zdrowa natomiast płynnie łączy ze sobą te czynności, ponieważ nie odczuwa takiego samego dyskomfortu jak osoba chora. Dodatkowo znacznie częściej i swobodniej nawiguje w przestrzeni VR, na co wskazuje zagęszczenie na wykresach reprezentujących rotację głową i ciałem w czasie.



Rysunek 22. Dane badanej osoby z poziomu "Bridge Level", która jest zdrowa i niedoświadczona

Osoba niedoświadczona (Rysunek 22) przypomina w aspekcie synchronizacji ruchu i obrotów osobę chorą (Rysunek 20), może to być spowodowane tym, iż osoba niedoświadczona dopiero zaznajamia się ze środowiskiem wirtualnej rzeczywistości i nie zna jego ograniczeń. Adaptacja do przestrzeni wirtualnej rzeczywistości wymaga czasu i stopniowego przyzwyczajania się do sposobu poruszania się. Osoba niedoświadczona jest jednak pewniejsza w rotacji ciałem i zdecydowanie częściej i bardziej komfortowo obraca się, co wskazuje znowu na większe podobieństwo do osoby zdrowej. Analizując wykresy, można zauważyc, że pewna dynamika ruchu bazująca na słabym skoordynowaniu ruchu i obrotów może wynikać zarówno z barier zdrowotnych, jak i braku wcześniejszej ekspozycji na tego typu środowisko. To spostrzeżenie podkreśla znaczenie stopniowej adaptacji, które mogą pomóc w zmniejszeniu początkowego dyskomfortu i poprawieniu płynności ruchu w wirtualnym świecie.



Rysunek 23. Dane badanej osoby z poziomu "Bridge Level", która jest chora i niedoświadczona

Po raz kolejny osoba chora wykazuje pewną tendencję ruchu słabszej koordynacji ruchu oraz mniejszej płynności w rotacjach. Kąty obrotu są zauważalnie mniejsze w porównaniu do osoby doświadczonej.

WNIOSKI

Z analizy powyższych wykresów można dostrzec pewne tendencje ruchu osób chorych względem osób zdrowych. Częstsze angażowanie ciała z dłuższym czasem trwania sesji w przeciwieństwie do osób zdrowych, dla których czas gry korelował z większym zakresem ruchu głowy. Sugeruje to inne strategie kompensacyjne. Dodatkowo osoby zdrowe lepiej kontrolowały niezależność ruchów głowy i ciała oraz ruchu w grze w przeciwieństwie do osób chorych, które zatrzymywaly się przed wykonaniem rotacji. Zastosowanie jednak pewnych mechanik minimalizujących dyskomfort w poruszaniu się w przestrzeni wirtualnej, takich jak opisana wyżej winieta, znaczco wpłynęły na odczucia osób chorych, sprawiając iż gry były dla nich bardziej przyjazne, pomimo niekomfortowych scenerii, takich jak chyboliwe mosty, przechodzenie po cienkich deskach na dużej wysokości. Istnieje duża szansa, że zastosowanie bieżni immersyjnej wprowadzi nowe spostrzeżenia na temat wzorców ruchu użytkowników. Bieżnia immersyjna umożliwia analizę parametrów ruchowych, takich jak długość kroków, rytm chodu czy stabilność postawy, co może mieć istotne znaczenie w kontekście diagnostyki. Może również pomóc w ocenie, czy osoby chore wykazują większą ostrożność lub zmieniają swoje nawyki ruchowe w zależności od poziomu immersji i trudności środowiska wirtualnego.

LINK DO REPOZYTORIUM

https://github.com/MichalPokrzywa/PBL_VRImmersion.git

W tym do pomiarów uczestników:

[Statystyki MC PBL Mobilność VR](#)