

Immersion analysis during gameplay in VR and on a PC

Analiza immersji podczas rozgrywki w wirtualnej rzeczywistości oraz na komputerze stacjonarnym

Karol Jakub Moniuszko*, Tomasz Szymczyk

Department of Computer Science, Lublin University of Technology, Nadbystrzycka 36B, 20-618 Lublin, Poland

Abstract

This article concerns the study of immersion and human behavior while in a virtual reality (VR) world. It was compared with the behavior of participants during the traditional process of watching the image displayed on a LCD monitor. The study was conducted on the original test stand and the following vital signs were measured: pulse rate and stress. Additional data about the participants were collected by conducting a questionnaire concerning, among others, feelings, and well-being during the game. The obtained results clearly show that VR gameplay provides much more emotions to the participants. It also makes them able to forget that they are in a virtual world regardless of whether they have used a VR generating device before or not. These results determined the impact of immersion on gameplay appeal and player engagement.

Keywords: virtual reality; immersion; VR games; pulse monitoring

Streszczenie

Artykuł dotyczy badania immersji oraz zachowań ludzi podczas przebywania w świecie wirtualnej rzeczywistości (VR). Porównano je z zachowaniami uczestników podczas tradycyjnego procesu oglądania obrazu wyświetlanego na monitorze LCD. Badania przeprowadzono na autorskim stanowisku i wykonano pomiary następujących parametrów życiowych: pulsu oraz stresu. Dodatkowe dane o uczestnikach zostały zebrane poprzez przeprowadzenie ankiety dotyczącej m.in. odczuć czy samopoczucia podczas rozgrywki. Uzyskane wyniki wskazują jednoznacznie, że rozgrywka VR dostarcza znacznie większych emocji uczestnikom. Sprawia również, że potrafią zapomnieć, iż znajdują się w wirtualnym świecie bez względu na to, czy korzystali już wcześniej z urządzenia generującego VR, czy nie. Wyniki te pozwoliły określić wpływ immersji na atrakcyjność rozgrywki i zaangażowanie gracza.

Słowa kluczowe: wirtualna rzeczywistość; immersja, gry VR; badanie pulsu

*Corresponding author

Email address: karol.moniuszko@pollub.edu.pl (K. J. Moniuszko)

©Published under Creative Common License (CC BY-SA v4.0)

1. Wstęp

Rzeczywistość wirtualna (VR) to symulowane środowisko stworzone przy wykorzystaniu technologii komputerowej. W przeciwieństwie do tradycyjnych interfejsów użytkownika, VR umieszcza użytkownika wewnątrz doświadczenia. Zamiast patrzeć na ekran przed nim, zanurzony jest on w wirtualnym świecie i ma możliwość interakcji z trójwymiarowymi światami [1]. Podstawowym założeniem tej technologii jest wywołanie jak najbardziej realnych i naturalnych dla człowieka doznań. Jest to tak zwane zjawisko immersji [2]. Określane jest ono często przez graczy, projektantów czy badaczy jako niezwykle przeżycie lub zanurzenie. Koncepcja zanurzenia najczęściej używana jest właśnie w odniesieniu do gier w VR. W recenzjach aplikacji często wspomina się o zanurzeniu związanym z realizmem świata gry oraz dźwiękami i muzyką podsycającą atmosferę gry. Stworzenie immersji jest zatem jednym z głównych celów twórców gier i potrafi ono zrujnować lub znacząco uatrakcyjnić rozgrywkę. Poprzez stymulację jak największej ilości zmysłów, takich jak wzrok, słuch, dotyk, a nawet zapach, gra może całkowicie „pochłonać” użytkownika, przez co może on zapomnieć, że znajduje się w wirtualnym świecie. Obecnie głównym

ograniczeniem dla niemal rzeczywistych wrażeń VR jest niedostateczna moc obliczeniowa urządzeń generujących VR [1, 3].

Motywacją do przeprowadzenia badania było zjawisko gwałtownie rozwijającej się technologii VR oraz to, że przyciąga ona coraz większą rzeszę użytkowników na całym świecie. Ikony branży gier twierdzą, że technologia ta wywoła rewolucję w sektorze rozrywkowym, a nawet ma szansę stworzyć silną konkurencję smartfonom [4]. Artykuł pomoże lepiej zrozumieć tę stosunkowo nową technologię oraz to jak zjawisko immersji wpływa na odbiór danej aplikacji przez graczy. Dodatkowo w artykule poruszany jest temat najbardziej naturalnego interfejsu dla użytkownika oraz próba odpowiedzi na pytanie, czy istnieje szansa, że myszka i klawiatura odejdą w zapomnienie już w niedalekiej przyszłości.

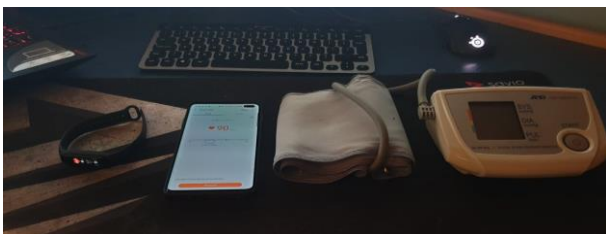
2. Metodyka badań

Badanie zostało przeprowadzone na 20 osobach w wieku od 16 do 58 lat, zarówno na kobietach jak i mężczyznach. Badane osoby znajdowały się w pozycji siedzącej, aby zapewnić im jak największe bezpieczeństwo, a ponadto zminimalizować efekt choroby wirtualnej [5].



Rysunek 1: Widok stanowiska badawczego.

W badaniu wykorzystane zostały okulary VR Oculus Quest 2, oraz komputer Lenovo Legion Y720 z kartą graficzną GTX 1060 oraz procesorem Intel i7-7700k.



Rysunek 2: Widok interfejsów służących do pomiaru pulsu oraz stresu.

Do pomiaru pulsu użyto elektronicznego aparatu do pomiaru ciśnienia krwi firmy A&D Medical, Samsunga s10+ oraz opaski Xiaomi Mi Band 5. Do pomiaru stresu wykorzystano dwa ostatnie urządzenia.

Badanie uwzględnia porównanie immersji podczas rozgrywki na VR oraz PC. Podczas badania zostały wzięte pod uwagę: puls, stres oraz potliwość badanych osób, a także ich prywatne odczucia związane z grą, zebrane poprzez ankietę. Miarą pulsu była liczba uderzeń serca na minutę (BPM, ang. beats per minute). Przed pomiarem pulsu każdy z uczestników znajdował się 3 minuty w pozycji siedzącej i starał się uregulować oddech. Następnie został im zmierzony puls trzema różnymi urządzeniami, aby zapewnić jak najdokładniejszy odczyt wybranych funkcji życiowych. Wyniki z opaski oraz telefonu nie odbiegały znacząco od pomiaru ciśnieniomierzem. Błąd względny pomiaru wyniósł 2,5%. Opaska mierzyła ciśnienie badanym osobom co minutę podczas badania, co pozwoliło określić uśredniony oraz maksymalny pomiar. Po każdym z testów zbierano dodatkowy pomiar z telefonu, aby sprawdzić, czy opaska daje nadal porównywalne wyniki. Zanotowane różnice pomiarów z obu urządzeń nie odbiegały od wcześniej wyznaczonego błędu względnego.

W badaniu założono 2 możliwe błędy pomiarowe, związane z niedoskonałością urządzenia do pomiarów, a także błędem ludzkim podczas odczytywania pomiarów z urządzenia w określonym momencie gry. Warto również nadmienić, że ze względu na sytuację pandemiczną panującą na świecie, grupa badawcza musiała zostać mocno ograniczona, co

może mieć dodatkowy wpływ na wyciągnięte z badań wnioski.

3. Rezultaty badań

Oprócz głównego celu pracy, czyli zbadania immersji na podstawie pulsu oraz stresu, udało się również sformułować interesujące wnioski dotyczące zaleceń korzystania z VR. W pracy zostały również przedstawione najważniejsze pytania i odpowiedzi z ankiety przeprowadzonej po badaniu.



Rysunek 3: Udokumentowany przebieg badania.

3.1. Pomiar pulsu

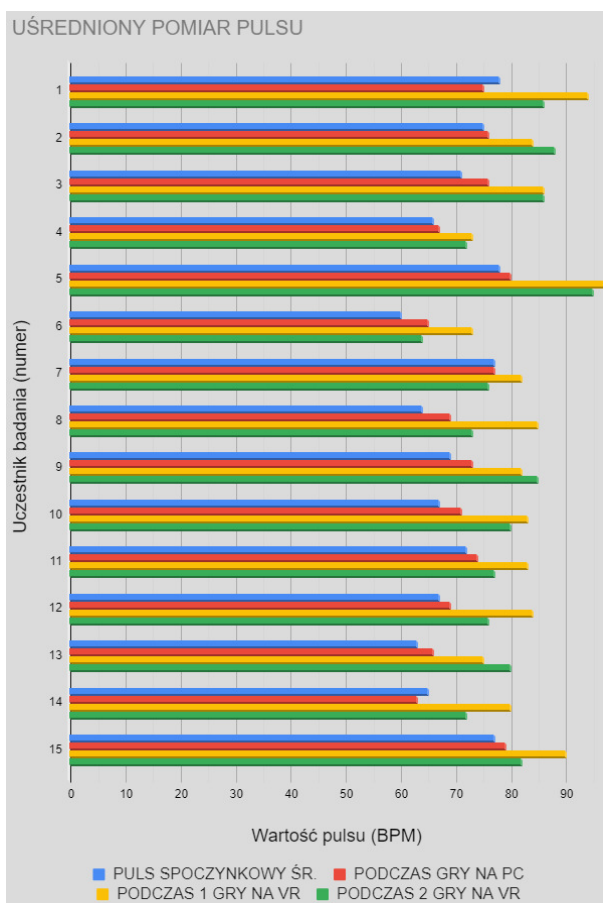
Jak można zauważyć w Tabelach 1 i 2, u każdego z uczestników nastąpił znaczący wzrost pulsu podczas rozgrywki w wirtualnej rzeczywistości. Film wyświetlany na zwykłym monitorze LCD miał znikomy wpływ na wzrost pulsu. Mimo zastosowanych w aplikacji podobnych zabiegów, takich jak jazda tyłem, czy nagły atak na gracza z towarzyszącymi temu dźwiękami. Na te wydarzenia, wszyscy uczestnicy reagowali tylko znajdując się w wirtualnej rzeczywistości. Bardzo jednoznacznie potwierdzają to wyniki pokazane na wykresie (Rysunek 4).

Tabela 1: Uśrednione wyniki pomiaru pulsu

L.p.	Śr. puls spoczynkowy (BPM)	Śr. puls podczas gry na PC (BPM)	Śr. puls podczas 1 gry na VR (BPM)	Śr. puls podczas 2 gry na VR (BPM)
1	78	75	94	86
2	75	76	84	88
3	71	76	86	86
4	66	67	73	72
5	78	80	97	95
6	60	65	73	64
7	77	77	82	76
8	64	69	85	73
9	69	73	82	85
10	67	71	83	80
11	72	74	83	77
12	67	69	84	76
13	63	66	75	80
14	65	63	80	72
15	77	79	90	82
16	67	67	79	78
17	77	80	94	88
18	70	69	81	87
19	69	69	80	82
20	64	71	94	89

Tabela 2: Maksymalne odczyty pulsu badanych osób

L.p.	Maks. puls spoczynkowy (BPM)	Maks. puls podczas gry na PC (BPM)	Maks. puls podczas 1 gry na VR (BPM)	Maks. puls podczas 2 gry na VR (BPM)
1	79	82	99	91
2	75	78	89	90
3	71	76	89	87
4	67	68	75	74
5	82	91	109	99
6	62	67	81	69
7	77	79	89	95
8	65	71	95	82
9	70	79	86	91
10	68	72	87	83
11	73	75	83	79
12	67	71	86	82
13	65	70	79	80
14	66	64	88	76
15	77	82	93	87
16	68	69	83	79
17	80	81	97	92
18	70	70	89	91
19	71	73	87	83
20	68	71	101	95



Rysunek 4: Przedstawienie wyników pomiaru pulsu badanych osób.

3.2. Pomiar stresu

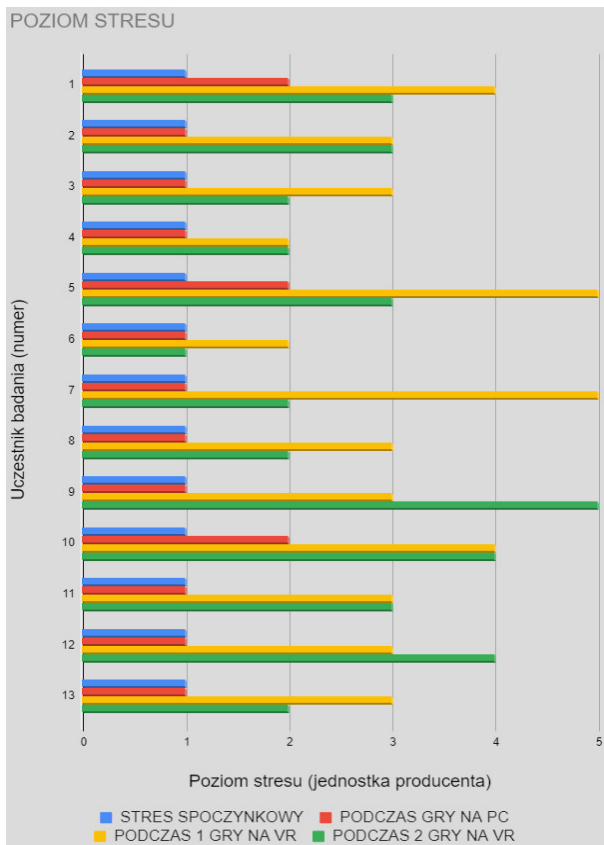
Tabela 3: Uśrednione odczyty stresu badanych osób

L.p.	Poziom stresu spoczynkowego (wartość podana przez producenta)	Poziom stresu podczas gry na PC (wartość podana przez producenta)	Poziom stresu podczas 1 gry na VR (wartość podana przez producenta)	Poziom stresu podczas 2 gry na VR (wartość podana przez producenta)
1	1	2	4	3
2	1	1	3	3
3	1	1	3	2
4	1	1	2	2
5	1	2	5	3
6	1	1	2	1
7	1	1	5	2
8	1	1	3	2
9	1	1	3	5
10	1	2	4	4
11	1	1	3	3
12	1	1	3	4
13	1	1	3	2
14	2	2	4	4
15	1	1	2	3
16	1	1	5	4
17	1	1	3	2
18	1	1	2	2
19	1	2	4	3
20	1	1	3	3

Pomiar stresu odbył się w analogiczny sposób jak pomiar pulsu. Im wyższa liczba (Rysunek 5, Tabela 3), tym większy stres u uczestnika badania. Jest to jednostka podana przez producenta urządzenia do badania stresu.

Stres zbadany został na podstawie zmiany tętna i miał odzwierciedlać faktyczne samopoczucie użytkownika. Sam producent urządzenia podkreśla jednak, że wyniki, w pełni mogą nie odzwierciedlać rzeczywistości [6, 7]. Otrzymane wyniki odpowiadają jednak wzrostowi pulsu, a także zgadzają się z personalnymi odczuciami badanych osób, dzięki czemu można wziąć je pod uwagę.

Wykres (Rysunek 5) jednoznacznie wskazuje, że u wszystkich uczestników nastąpił wzrost stresu podczas rozgrywki na okularach VR. Potwierdzały to również krótkie podsumowania uczestników po badaniu oraz wyniki z ankiety. U większości uczestników można było również zauważyć zwiększoną potliwość podczas przebywania w wirtualnej rzeczywistości. Mogło wynikać to zarówno z ruchów wykonywanych podczas rozgrywki jak i samego stresu oraz strachu, co również zostało potwierdzone przez badane osoby.



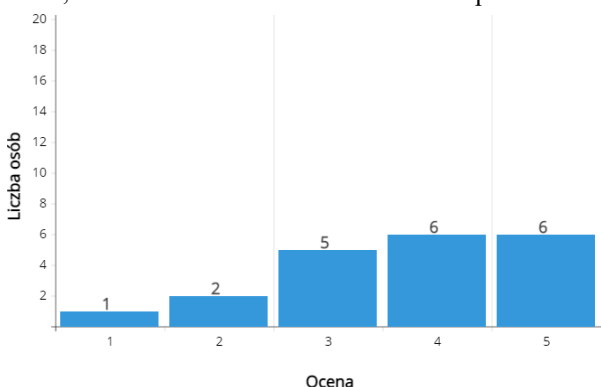
Rysunek 5: Przedstawienie wyników pomiaru stresu badanych osób.

4. Wyniki ankiety

W badaniu brało udział 13 mężczyzn oraz 7 kobiet. Połowa badanych nie miała wcześniej do czynienia z okularami VR i nigdy nie korzystała z tej technologii. Jedna osoba nie grała wcześniej w żadne gry komputerowe, natomiast 35% osób gra w nie praktycznie codziennie. W celu zebrania opinii, przeprowadzono ankietę. Zawierała ona 7 pytań. Odpowiedzi uzyskane na nie, zostaną omówione w kolejnych podrozdziałach.

4.1. Ankieta uporządkowane i nieuporządkowane

W poniższym histogramie im wyższa ocena tym lepsze samopoczucie użytkownika. Oznacza to, że ocena 5 to brak jakichkolwiek dolegliwości podczas korzystania z VR, natomiast ocena 1 to bardzo złe samopoczucie.



Rysunek 6: Histogram odpowiedzi ankietowanych na pytanie „Czy czuł/a się Pan/Pani niekomfortowo lub odczuwał/a jakieś inne dolegliwości podczas rozgrywki w okularach VR?”

Wyniki dotyczące tego pytania oraz własne obserwacje podczas badania pozwalają sformułować wytyczne dotyczące ograniczeń dla uczestników w korzystaniu z tej technologii. Są to:

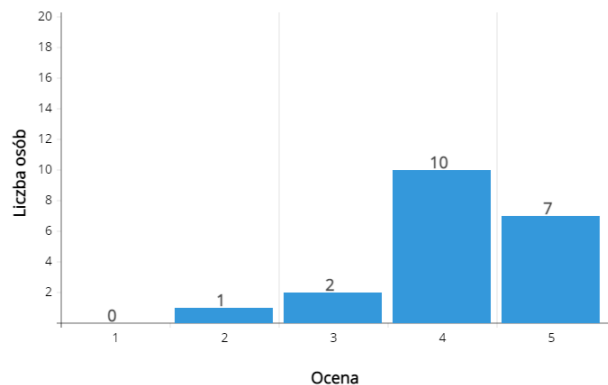
- ograniczenie czasu rozgrywki. Mimo zaleceń producenta okularów VR dotyczących maksymalnie 30-minutowej sesji grania, większość uczestników poczuła dyskomfort już po pierwszych minutach gry,
- zachowanie szczególnej ostrożności w przypadku istniejących chorób, jak np. choroba lokomocyjna [5]. U osoby posiadającej taką dolegliwość musiało nastąpić przerwanie badania, ze względu na bardzo złe samopoczucie – wystąpienie choroby symulatorowej,
- zalecenie, aby przy osobie, która odczuwa nawet lekkie dolegliwości podczas korzystania z VR, czuwała osoba towarzysząca. Podczas badania wystąpiły zawroty głowy u dwóch uczestników.

Należy jednak wziąć pod uwagę fakt, że na rynku istnieje wiele modeli okularów VR i każdy z nich posiada wady oraz zalety konstrukcyjne, które w znaczny sposób wpływają na komfort ich użytkowania. Okulary użyte w badaniu, czyli Oculus Quest 2 są jednymi z najnowszych okularów na rynku, jednak znajdują się w średnim przedziale cenowym. Mimo wysokiej rozdzielczości wyświetlanego obrazu (1832x1920 pikseli na każde oko) oraz wysokiej częstotliwości jego odświeżania (do 90Hz), producent nie dał dużych możliwości dostosowania okularów do użytkownika. Ograniczony rozstaw soczewek, waga oraz słabe dostosowanie samych okularów do kształtu głowy mogą nasilić niektóre dolegliwości oraz zwiększyć poziom zmęczenia oczu. Na rynku nadal nie ma idealnego urządzenia, jednak wciąż pojawiają się nowe rozwiązania, które w pewnym stopniu eliminują występujące problemy [8].

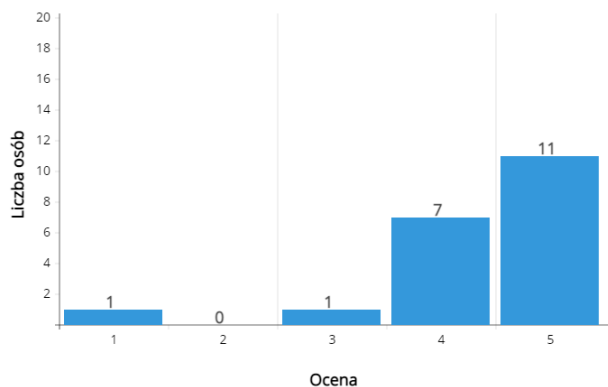
4.2. Ankieta – Pytania dotyczące wpływu grafiki i dźwięku na immersję aplikacji

Analogicznie do poprzedniego pytania z ankiety, im wyższa ocena w powyższych histogramach tym większy wpływ na immersję (1 – brak wpływu, 5 – ogromny wpływ). Większość uczestników uznała, że dźwięk ma większy lub tak samo ważny wpływ na immersję gracza jak oprawa wizualna. Nie jest to może tak oczywiste, ale dźwięk jest niezwykle ważny w odbiorze filmu lub gry. Dobrym przykładem jest tutaj znany gatunek filmowy jakim jest horror. Utwory tego gatunku składają się zwykle z komponentu wizualnego oraz dźwiękowego, w którym oprawa muzyczna i dźwiękowa często odgrywa ważniejszą rolę niż dialogi. Niektórzy twórcy filmowi twierdzą, że horror jest przede wszystkim dźwiękowym medium. Wykorzystane w filmie dźwięki tj. krzyki, skrzypienie, powolne kroki, narastająca w tle muzyka, czy jej nagły brak nie są w żaden sposób przypadkowe. Mają one wyzwolić u widzów poczucie strachu i napięcia, które będzie towarzyszyło im do końca seansu [9]. Oczywiście nie można też pominąć oprawy wizualnej. Pełni ona również niezwykle ważną rolę w odbiorze medium, co również wynika z badania. Można zatem stwierdzić, że estetyczna grafika, zaawan-

sowana fizyka gry (możliwe interakcje ze światem gry), a także wykorzystanie i dobranie odpowiednich dźwięków przestrzennych ma niezwykle duży wpływ na zaburzenie gracza w wirtualnym świecie.

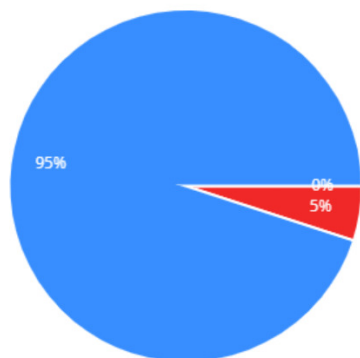


Rysunek 7: Histogram odpowiedzi ankietowych dotyczących wpływu oprawy wizualnej gier na immersję aplikacji.



Rysunek 8: Histogram odpowiedzi ankietowych dotyczących wpływu dźwięku i muzyki gier na immersję aplikacji.

4.3. Ankieta – Pytania dotyczące zaangażowania i emocji podczas rozgrywki



■ Odczuwałem większe zaangażowanie podczas rozgrywki na PC
 ■ Odczuwałem takie samo zaangażowanie na obu urządzeniach
 ■ Odczuwałem większe zaangażowanie podczas rozgrywki na VR

Rysunek 9: Wykres przedstawiający odpowiedzi na pytanie „Czy odczuwał/a Pan/Pani większe zaangażowanie podczas gry VR niż w przypadku gry na PC?”

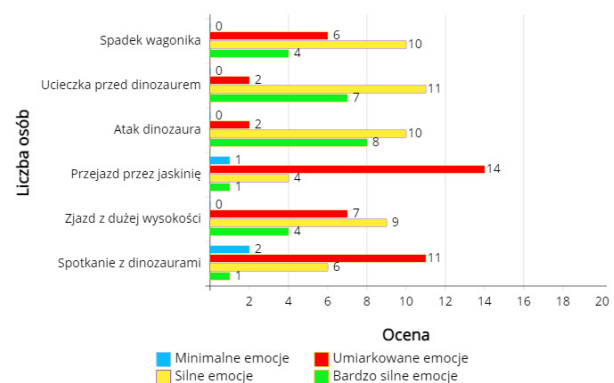
Wszyscy uczestnicy badania odczuwali większe emocje podczas gry w VR. Podobnie było z zaangażowaniem – 90% uczestników udzieliło twierdzącej odpowiedzi. Mowa tutaj o odruchach oraz wymaganych interakcjach podczas rozgrywki. Uczestnik, który odczuwał identycz-

ne zaangażowanie w przypadku obu urządzeń był najmłodszym oraz najbardziej doświadczonym graczem, co może sugerować, że przy częstszym korzystaniu z okularów ekscytacja nie jest już tak duża, a użytkownik przyzwyczaja się do wymagań gry.



Rysunek 10: Wykres przedstawiający odpowiedzi na pytanie „Czy odczuwał/a Pan/Pani większe emocje podczas gry VR niż w przypadku gry na PC?”

Największe emocje wywołały etapy wiążące się z nagłym przyspieszeniem wagonika lub atakiem dinozaurów, który powodował dyskomfort u badanych. Ciekawym zjawiskiem było wywołanie u uczestników wrażenia przeciążeń występujących podczas jazdy, jedynie przy pomocy dźwięku oraz efektów wizualnych. Podczas ostrych zakrętów czy wybicia się wagonika w powietrze większość badanych wychylała się na różną stronę, jakby miało to miejsce w realnym świecie.



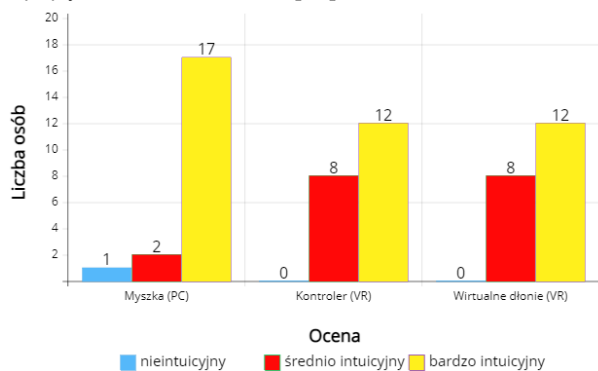
Rysunek 11: Histogram przedstawiający wyniki pytania, jak silne emocje wywołały u uczestników poszczególne etapy gry.

4.4. Ankieta – Pytanie dotyczące najbardziej intuicyjnego interfejsu

Najnowsza technologia pozwala na odzwierciedlenie rzeczywistej pozycji i rotacji rąk użytkownika w wirtualnym świecie. Z racji tego, że połowa badanych nie miała do czynienia z VR, wyniki dotyczące łatwości nawigowania po aplikacji za pomocą kontrolerów czy technologii wirtualnych dłoni są bardzo pozytywne. Rozwój technologii wykrywania dłoni i używania ich podczas rozgrywki może zwiększyć znacząco immersję graczy. Jest to najbardziej naturalny interfejs dla czło-

wieka. Zmniejsza to tzw. próg wejścia w korzystaniu z tej technologii.

Samo widzenie własnych dłoni w wirtualnym świecie przelamuje kolejną barierę między światem rzeczywistym, a wirtualnym i powoduje jeszcze większe zanurzenie się w grze. W aplikacjach możemy spotkać różne awatary dłoni, jak np. kończyny potwora, skrzydła, czy oczywiście dłonie ludzkie, co również ma wpływ na immersję. W badaniu opisanym w artykule pt. "These are not my hands!": Effect of Gender on the Perception of Avatar Hands in Virtual Reality, u kobiet zaobserwowano mniejsze poczucie zanurzenia w aplikacji, gdy używały awatarów męskich dłoni, natomiast u mężczyzn ten sam problem występował przy użyciu awatarów nie będących ludzkimi dłońmi [10].



Rysunek 12: Histogram odpowiedzi do pytania „Który interfejs jest dla Pana/Pani najbardziej intuicyjny?”

5. Wnioski

W artykule przedstawiono wyniki badania immersji podczas przebywania osób w wirtualnej rzeczywistości. Ukazują one jednoznacznie jak duży wpływ na wrażenia z gry ma zanurzenie gracza w jej świecie. U każdego z badanych można było zaobserwować wyraźny wzrost pulsu oraz stresu podczas przebywania w wirtualnym świecie w stosunku do pulsu spoczynkowego, czy tego podczas gry na standardowym komputerze. Oznacza to, że VR dostarczył im znacznie większych emocji, co również potwierdził każdy uczestnik w ankiecie. Objawy choroby symulatorowej, występujące u badanych, nie zniechęciłyby ich do ponownego zanurzenia się w wirtualnym środowisku. W krótkim czasie badania technologia ta zdołała zaintrygować każdego z uczestników, bez względu na jego wiek, czy wcześniejsze doświadczenia z VR. Jednym z czynników takiego zachowania mogło być wystąpienie immersji podczas rozgrywki, zwłaszcza w czasie najbardziej ekscytujących momentów, takich jak ucieczka przed atakującym dinozaurem, dynamiczna zmiana prędkości wagonika, czy zaawansowana fizyka i możliwości interakcji z obiektami gry. Istotny wpływ na zadowolenie z rozgrywki oraz faktyczne zanurzenie się w świecie gry, mają kontrolery, które pozwalają użytkownikowi na stosunkowo proste i intuicyjne sterowanie. Większość badanych nie miała problemu z nawigowaniem po aplikacji, a także doceniła ciągle rozwijającą się technologię wirtualnych dłoni, która ich zdaniem w przyszłości może znacznie poprawić wrażenia z gry.

Gry komputerowe czy konsolowe mogą uzależnić użytkownika, a znaczny na to wpływ ma właśnie immersja. Mogą również spowodować zatracenie się w ich świecie w pozytywnym tego słowa znaczeniu. Jest to osiągnięte dzięki ogromnej pracy i zaangażowaniu ich twórców. Grafika, dźwięki oraz mechanika gry muszą znajdować się na najwyższym poziomie i wymagają często wielu lat pracy, aby sprostać wymaganiom graczy [11].

W przypadku VR, można powiedzieć, że użytkownik dosłownie znajduje się w grze. Pomimo uproszczonej grafiki, która często odbiega od flagowych gier na PC, gracze odczuwają silniejsze emocje. Dużo częściej czują, że oni sami są zagrożeni, a granica między światem rzeczywistym, a wirtualnym ztraca się, gdy interakcje w grze wymagają od użytkowników faktycznej aktywności fizycznej [12]. Wykorzystane jest to również w branży filmowej. Podobnie jak podczas seansu w kinie 3D, samo wrażenie głębi podczas przebywania w VR robi na użytkownika niesamowite wrażenie. Wiele platform takich jak Netflix, YouTube, czy BigScreen znając możliwości wirtualnej rzeczywistości, oferuje obejrzenie filmu w zaciszu domowym, w jakości nie odbiegającej od uzyskiwanej podczas oglądania seansów w znanych multiplexach kinowych [13]. VR wraz z rozwojem technologii ma wręcz nieograniczony potencjał i z pewnością możemy spodziewać się, coraz większej rzeszy jego użytkowników.

Małym zaskoczeniem może być łatwość poruszania się i nawigowania w wirtualnym świecie nawet przez osoby starsze, które nigdy wcześniej nie miały do czynienia z okularami VR. Można również założyć, że następne generacje urządzeń generujących VR nie będą wykorzystywane jedynie do celów rozrywkowych. Technologia wirtualnych dłoni otwiera ścieżki w branży biznesowej czy badawczej, wykorzystując najbardziej naturalny interfejs dla człowieka. Obecnie już można zaobserwować wzrost powstawania aplikacji mających na celu utworzenie wirtualnego środowiska pracy czy spotkań biznesowych lub towarzyskich. Technologia ta jest jednak dalej na wczesnym etapie rozwoju i z pewnością, w niedalekiej przyszłości rozwiązanie to nie zastąpi dotychczasowej pracy biurowej, czy korzystania z interfejsu w postaci myszki i klawiatury.

Literatura

- [1] Czym jest wirtualna rzeczywistość, <https://www.marxentlabs.com/what-is-virtual-reality/>, [26.03.2019].
- [2] E. Brown, P. Cairns, A grounded investigation of game immersion, Association for Computing Machinery, New York, 2004.
- [3] S. Jayaram, H. I. Connacher, K. W. Lyons, Virtual assembly using virtual reality techniques, *Computer-Aided Design* 29 (1997) 575-584.
- [4] Możliwe kierunki rozwoju technologii VR w przyszłości, <https://www.forbes.pl/technologie/vr-w-przyszlosci-jak-rozwinię-sie-wirtualna-rzeczywistosc/m3hb9fs>, [27.10.2017].

- [5] I. Plakhotniuk, M. Popko, T. Szymczyk, Health Aspects of Immersion in VR. Virtual Disease - Factor or Myth?, INTED 2019: 13th International Technology, Education and Development Conference (2019) 543-551.
- [6] Sposób mierzenia stresu pulsometrem z telefonu, <https://www.wirtualnemedial.pl/artykul/pulsometr-w-smartfonie-galaxy-s5-sprawdzi-tez-poziom-stresu> , [28.05.2014].
- [7] Informacje od producenta, dotyczące mierzenia stresu, <https://www.samsung.com/pl/support/mobiledevices/jak-korzystac-z-samsung-health-przy-uzyciu-galaxy-watch/> , [2020].
- [8] Ł. Pełka, Ł. Podstawka, T. Szymczyk, Analiza porównawcza gogli do VR, Journal of Computer Sciences Institute 10 (2019) 36-43.
- [9] G. N. Martin, (Why) Do You Like Scary Movies? A Review of the Empirical Research on Psychological Responses to Horror Films, Frontiers in Psychology 10 (2019) Article 2298.
- [10] V. Schwind, P. Knierim, C. Tasci, P. Franczak, N. Haas, N. Henze, "These are not my hands!": Effect of Gender on the Perception of Avatar Hands in Virtual Reality, CHI '17: Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (2017) 1577-1582.
- [11] P. Świątek, Immersja w grach MMO, czyli o „farmieniu expa” słów kilka, Media i Społeczeństwo 2 (2012) 94-100.
- [12] J. T. Lin, Fear in virtual reality (VR): Fear elements, coping reactions, immediate and next-day fright responses toward a survival horror zombie virtual reality game, Computers in Human Behavior 72 (2017) 350-361.
- [13] W. Siwak, Matrix i pół-Matrix, czyli rzeczywistość wirtualna i rzeczywistość rozszerzona jako wyzwania dla tożsamości, kultury, sztuki, Rocznik Naukowy Kujawsko-Pomorskiej Szkoły Wyższej w Bydgoszczy, Transdyscyplinarne Studia o Kulturze (i) Edukacji 11 (2016) 355-388.