

Veslava OSIŃSKA<sup>1</sup>, Adam SZALACH<sup>2</sup>,  
Dominik PIOTROWSKI<sup>3</sup>, Tomasz GROSS<sup>4</sup>, Jesus MARTINEZ<sup>5</sup>

ORCID: <sup>1</sup>0000-0002-1306-7832, <sup>2</sup>0000-0001-8040-001X,  
<sup>3</sup>0000-0002-3372-4772, <sup>4</sup>0009-0005-3119-6194, <sup>5</sup>0000-0002-0690-0435

DOI: 10.15199/48.2025.11.38

# Ulepszanie wrażeń immersyjnych w wirtualnych galeriach sztuki: rozwój i ocena aplikacji Bitscope VR

*Enhancing the immersive experience in virtual art galleries:  
development and evaluation of the Bitscope VR app*

<sup>1</sup> dr hab. Veslava Osirńska, prof. uczelni, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Instytut Badań Informatyki i Komunikacji, ul. Bojarskiego 1, 87-100 Toruń, Polska

<sup>2</sup> dr inż. Adam Szalach, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Instytut Badań Informatyki i Komunikacji, ul. Bojarskiego 1, 87-100 Toruń, Polska

<sup>3</sup> dr Dominik Piotrowski, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Biblioteka Uniwersytecka, Gagarina 13, 87-100 Toruń, Polska

<sup>4</sup> Tomasz Gross, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Instytut Badań Informatyki i Komunikacji, ul. Bojarskiego 1, 87-100 Toruń, Polska

<sup>5</sup> inż. Jesus Martinez, Politechnika w Walencji, LabLENI, Camino de Vera s/n 46022, Walencja, Hiszpania

**Adres do korespondencji:** wiewo@umk.pl

**Streszczenie:** Wirtualna galeria sztuki może zapewnić nowe, imponujące doświadczenie dla początkujących i systematycznych użytkowników zestawu gogli rzeczywistości wirtualnej (VR). Przedstawiamy możliwości takiej aplikacji Bitscope opracowanej w technologii UNITY. Funkcjonalność została oceniona przez uczestników pod kątem doświadczeń użytkownika (UX). Monitorowanie danych śledzenia ruchu gałek ocznych włączonych w zestawie HTC Vive Pro Eye zostało wykorzystane do weryfikacji obserwacji z ankiet. Ostatecznie opracowano listę wytycznych dotyczących udoskonalenia galerii. Są one niezbędne do osiągnięcia niezbędnego poziomu immersji i przejścia z rozwiązań VR do rozwiązań AR/MR. Abstrakcyjna przestrzeń emocjonalna eksponowanej kolekcji została skonstruowana na podstawie wyników.

**Słowa kluczowe:** VR, eye tracking, galeria sztuki, UX, ewaluacja aplikacji

**Abstract:** Virtual art gallery may provide a new impressive experience for beginners and systematic VR goggle users. We present the possibilities of such an application Bitscope developed in UNITY technology. Functionality was evaluated by users in terms of UX (User Experience) due to questionnaires. Eye tracking data monitoring been enabled in HTC Vive Pro Eye goggle was used to verify observations from the surveys. The list of guidelines for gallery improvement is finally constructed. They are necessary to achieve the necessary level of immersion and move from VR to AR/MR solutions. The abstract emotional space of exposed collection was constructed based on results.

**Keywords:** VR, eye tracking, art gallery, UX, application evaluation

## Wstęp

W ostatnich latach technologie immersyjne, takie jak wirtualna rzeczywistość (ang. Virtual Reality, VR), rozszerzona rzeczywistość (ang. Augmented Reality, AR) oraz rzeczywistość mieszana (ang. Mixed Reality, MR), znacząco się rozwinęły, stając się nie tylko przedmiotem badań, ale również komercyjnym standardem w wielu dziedzinach. Ich wspólnym celem jest tworzenie bardziej angażujących, interaktywnych i realistycznych doświadczeń, które jeszcze niedawno pozostawały wyłącznie w sferze spekulacji. Dzięki tym technologiom możliwe jest projektowanie środowisk cyfrowych, ta-

kich jak galerie sztuki, które nie tylko odzwierciedlają rzeczywistość, lecz także ją rozszerzają lub całkowicie redefiniują, umożliwiając nowy poziom, nieznaną dotąd, interakcji, a co za tym idzie – immersji [1], [2].

W ramach projektu naukowego Bitscope (bitscope.umk.pl) stworzenie multimodalnego interfejsu bazującego na pasywnym BCI (Brain – Computer Interface) i rejestracji ruchu oczu. Celem eksperymentu było zbadanie czynników wpływających na immersję podczas eksploracji galerii sztuki w środowisku wirtualnym oraz identyfikacja elementów, które wzbogacają to doświadczenie dzięki unikalnym możliwościom VR.

## Aplikacja

Decyzją zespołu oraz projektantów aplikacja galerii VR została przygotowana w oparciu o silnik Unity. Główną przyczyną takiego wyboru była znajomość tego środowiska przez programistów, co znacząco wpływało na jakość oraz tempo realizowanych prac zespołu. Najistotniejsze jednak okazały się dostępność odpowiednich bibliotek oraz możliwość implementacji środowiska do urządzeń VR, takich jak HTC czy Oculus.

Aplikacja, opracowana w Unity, nawiązuje bezpośrednio komunikację z systemem śledzenia wzroku zestawu HTC Vive Pro Eye poprzez integrację natywnej biblioteki Unity dostarczonej przez producenta sprzętu. Biblioteka ta umożliwia dostęp w czasie rzeczywistym do danych śledzenia wzroku, w tym położenia i kierunku spojrzenia dla obu oczu (pośród innych metryk), a także punktu zbieżności w przestrzeni trójwymiarowej. W kontekście BITSCOPE informacje te są wykorzystywane do przechwytywania dokładnych współrzędnych 3D, w których spojrzenie użytkownika przecina wirtualną scenę, w szczególności w zdefiniowanych wcześniej obszarach zainteresowania.

Dla każdego z tych obszarów zainteresowania pomocnicza kamera umieszczona w scenie przechwytuje statyczny obraz otoczenia ze stałej perspektywy. Następnie stosowany jest niestandardowy algorytm transpozycji współrzędnych w celu przekształcenia punktów skupienia wzroku z przestrzeni 3D na współrzędne 2D w przechwyconym obrazie. Ta transformacja umożliwia analizę danych śledzenia wzroku uzyskanych w środowisku immersyjnym przy użyciu tradycyjnych narzędzi do analizy danych eye trackingowych na ekranie monitora [3], takich jak OGAMA.

Ze względu na złożoność zadań badawczych i wieloprofilowe użytkowanie aplikację podzielono na trzy moduły.

- **Pierwszy** dedykowany jest badaczom w celu projektowania galerii VR, czyli umożliwia on zarządzanie zbiorami obrazów i dopasowanie parametrów wizualnych wyświetlanej sceny. badacz ma możliwość zadecydowania o liczbie wyświetlanych obrazów i ich gęstości umieszczania na ścianach, jak i obecności dystraktorów, czyli obiektów 3D (kwiaty, rzeźby), które możemy zobaczyć w typowych galeriach sztuki. Istotnym udogodnieniem jest wybór tekstury podłogi, np. kamień, drewno, parkiet itp. Okno podglądu pomaga w dopasowaniu atrybutów wizualnych do obrazów takich jak: kolor tła i tekstu napisów, czcionka, ramka.
- **Drugi** moduł odpowiada za zarządzanie obrazami przydzielonymi do badań, umożliwiając segregowanie i porządkowanie zarówno folderów, jak

i plików badawczych. Jednocześnie zawiera prosty moduł pozwalający na tagowanie pojedynczych obrazów, jeśli zaistnieje taka potrzeba. Aplikacja każdorazowo generuje wirtualne warianty rozkładu pomieszczeń oraz kolejności wyświetlanych obrazów w uzależnieniu od ich ilości oraz parametrów startowych danego eksperymentu

- **Trzeci** moduł umożliwia przegląd zrealizowanych badań, pozwalając na odtwarzanie pojedynczego badania w perspektywie 2D, „z lotu ptaka” (Rys. 1).

Interfejs aplikacji dla trzech odrębnych modułów jest spójny i przejrzysty, choć można mieć pewne wątpliwości co do jego nowoczesności – nie stanowiło to jednak priorytetowego celu narzędzia.



Rys. 1. Odtworzenie ścieżki i zachowania badanego dostępne w module do przeglądu wygenerowanych danych aplikacji Bitscope

Przyjęta forma komunikacji z użytkownikiem jest czytelna, co jednoznacznie wpływa na intuicyjność oraz szybkość uczenia się obsługi aplikacji. Ze względu na mnogość konfiguracji, dobór elementów ozdobnych, ścian, podłogi oraz opisów pod obrazami wynikał przede wszystkim z licznych badań pilotażowych oraz przeprowadzonych prób, których celem było osiągnięcie jak najwyższego poziomu immersji oraz odwzorowanie środowiska maksymalnie zbliżonego do rzeczywistej galerii sztuki.

## Material badawczy i metody

Eye tracking (ET) jako technika śledzenia ruchu oczu dostarcza danych skupienia wzroku, nazywanych fiksacjami i skoków pomiędzy nimi, nazywanych sakkadami. Analizując dane ET, możemy określić czas i miejsce fiksacji, a także czas i przebieg sakkad [4]. ET dostarcza informacji, jak rozkłada się uwaga badanego, na co patrzyła osoba i co zaobserwowała. Metoda śledzenia wzroku umożliwia zlokalizowanie pojedynczej fiksacji, jak i skumulowanych fiksacji pochodzących od grupy obserwatorów.

Te dane pomagają zrozumieć jak zachodzi proces percepcji wzrokowej obrazów, w opisywanych bada-

niach – dzieł sztuki. Eksperymenty ET można przeprowadzić również w wirtualnej rzeczywistości. Google HTC Vive Pro Eye o rozdzielczości 1440x1600 pikseli na każde oko, częstotliwości odświeżania 90 Hz i rozpiętości pola widzenia 110° użyte w projekcie, mają zaimplementowany moduł do mierzenia sygnałów ET. Dzięki systemowym bibliotekom nawiązano komunikację z urządzeniem w celu pobierania danych ET podczas sesji VR.

Do galerii o predefiniowanym wnętrzu załadowano 14 obrazów w różnych stylach i parametrach cech wizualnych mieszczących się w szerokim zakresie co zbadano za pomocą współczynnika GIST (Global Image Descriptor). Do udziału w sesji VR zakwalifikowano 75 osoby: 37 kobiet i 38 mężczyzn w przedziale wieku 16-60 lat ( $\bar{x}=26,5$ ). Wizytujący spędzali w galerii VR od 9 do 24 min, przy czym kolejność eksploracji była uzależniona od losowego rozmieszczenia obrazów w 3 kolejnych pomieszczeniach. Średni czas eksploracji jednego obrazu dla całej grupy wyniósł  $t = 2.39$  min. Wygenerowany całkowity wolumen danych ET wyniósł  $N=6\ 221\ 211$  rekordów. Tabela danych zawierała kolumny: id użytkownika, # porządkowy obrazu, id bodźca, tytuł obrazu, czas start, czas momentu rejestracji danej fiksacji, średnica źrenicy w poziomie, średnica źrenicy w pionie, X punktu fiksacji, Y punktu fiksacji.

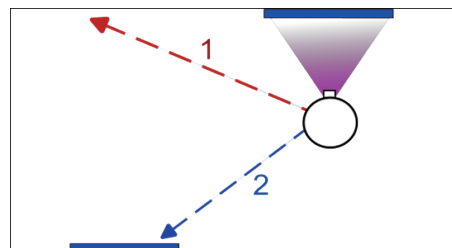
## Błędy danych

Do przechwytywania danych z urządzenia HTC Vive Pro Eye zdefiniowano ostrosłup widzenia, podstawę którego tworzyło pole obrazu z dużym marginesem zahaczającym o pole tytułu. Każde spojrzenie wizytującego poza ten obszar generowało dane o wartości -1 w każdej kolumnie, tak jak ilustruje strzałka 1 na Rys. 2. Rzucenie spojrzenia na inny obraz poza ostrosłupem widzenia (strzałka 2) skutkowało wygenerowaniem błędnego id obrazu, nie mieszczącym się w zakresie wszystkich identyfikatorów obrazów w galerii. Rekordy odpowiadające kierunkowi 1 odfiltrowano – ta liczba wyniosła 1 493 090 (23%).

Proces przetwarzania danych wykazał błędy (ilustruje to strzałka 2, Rys. 2), min. nadmiarowe id bodźca, nie występujące w tabeli referencyjnej: np. 14 obrazom nadano id z zakresu: 126-139. W pliku skumulowanym pojawiły się liczby 140-146. Takich błędnych rekordów wykryto 13 986. Uwzględniając wszystkie wygenerowane nadmiarowe rekordy odniesieniu do predefiniowanego ostrosłupa widzenia N błąd pomiarowy wyniósł 25,5%.

Do przetwarzania i weryfikacji poprawności danych użyto skryptów interpretera Python 3.13 w śro-

dowisku Anaconda, do analizy i wizualizacji map fiksacji – aplikacji Ogama 5.1 ([www.ogama.net](http://www.ogama.net)). Do porównania i klasteryzacji wyników zastosowano algorytmy MDS (Multidimensional Scaling) – skalowanie wielowymiarowe oraz stochastyczną metodę porządkowania sąsiadów w oparciu o rozkład  $t$  ( $t$ -Distributed Stochastic Neighbor Embedding). Użyto również testów statystycznych Manova, Anova, Manna-Whitney'a



Rys. 2. Schemat generowania błędnych danych ET w trakcie sesji VR

## Badanie

Badanie zostało przeprowadzone w specjalnie przygotowanym laboratorium, którego aranżacja umożliwiała efektywną realizację eksperymentów z wykorzystaniem technologii VR. Ze względu na ograniczenia czasowe (około 30 minut na osobę), wielkość próby (74 badanych) oraz dostępność laboratorium, całkowity czas realizacji badania ustalono na okres trzech miesięcy.

Każdy respondent był zapraszany do laboratorium indywidualnie. Badaniem zajmowało się dwóch badaczy: główny oraz wspierający. Główny badacz odpowiadał za aspekt merytoryczny, obejmujący prowadzenie eksperymentu, przeprowadzanie ankiet oraz nadzór nad przebiegiem badania. Badacz wspierający był odpowiedzialny za bezpieczeństwo uczestnika, higienizację sprzętu oraz wsparcie techniczne.

Przed rozpoczęciem badania każdy respondent otrzymywał krótkie wprowadzenie, obejmujące zarys celu eksperymentu oraz wyjaśnienie zasad korzystania z urządzenia VR. Następnie przeprowadzano pierwszą część ankiety, dotyczącą doświadczenia z technologią VR, grammi komputerowymi oraz zainteresowań sztuką.

Po dopasowaniu sprzętu uruchamiano właściwy eksperyment, wspierany przez ankietę dotyczącą znajomości eksponatów, wrażeń oraz tagowania obserwowanych dzieł. Po zakończeniu eksperymentu uczestnik wypełniał ostatnią część ankiety, oceniającą immersyjność galerii oraz własne odczucia podczas badania. W tej części zadawano m.in. następujące pytania:

- Czy miał/a Pan/i poczucie przebywania w fizycznej galerii?

- Jak Pan/i odczuwał/a swoje ciało w wirtualnej galerii?
- Jak szybko upłynął Panu/ni czas w galerii w subiektywnej ocenie?
- Jak intensywnie odczuwał/a Pan/i otaczającą przestrzeń?

## Metody usprawnienia badania.

W wyniku pilotażowych badań oraz przeprowadzonych testów, udało się zdefiniować kilka istotnych problemów wpływających na poprawę doświadczeń użytkownika w procesie eksploracji galerii [5]. Głównym problemem zaobserwowanym, w szczególności przez użytkowników, którzy nie mieli wcześniej styczności z VR i wirtualnymi galeriami była nawigacja w przestrzeni i obsługa kontrolerów.

Na podstawie obserwacji oraz testowych, pierwszą niedogodnością była problematyka drzwi, pozwalających na przechodzenie pomiędzy poszczególnymi pomieszczeniami. Zdarzały się konfiguracje w których drzwi w losowych przypadkach umieszczane były na przeciwległych ścianach. W przypadku użytkowników mniej obytych z nawigacją za pomocą kontrolerów zdarzały się przypadki „dwukliku” lub jednoczesnego kliknięcia na dwóch kontrolerach, co skutkowało pominięciem jednego z pomieszczeń. Należy zaznaczyć, że były to sytuacje losowe ale dość często spotykane. Efekt ten zniwelowano, mniejszą losowością oraz blokadą możliwości wygenerowania takiego układu pomieszczeń.

Powyższy problem doprowadził badaczy do słusznej decyzji rezygnacji z jednego kontrolera. W efekcie, użytkownicy mieli mniej możliwości popełnienia błędu nawigacyjnego, nie musieli zastanawiać się którym kontrolerem operować i poruszać się po przestrzeni. Na skutek tej decyzji znacząco spadła również wspomniana wcześniej problematyka pomijania pomieszczenia. Co więcej w kilku przypadkach zdarzyły się sytuacje w których na skutek zbyt chaotycznego procesu poruszania przez niewprawionych użytkowników dochodziło do sytuacji opuszczenia obszaru galerii (przenikanie ścian) co prowadziło do zawieszenia aplikacji lub nieprawidłowego działania.

Nawigacja i kontrola przestrzeni przez użytkownika, miała jeszcze jeden ważny mankament, mianowicie zbyt mocno ograniczoną przestrzeń rzeczywistą (w laboratorium był to obszar ok 2.5 x 2.5 metra). Było to znacząco nie współmierne do przestrzeni w wirtualnej galerii co przy połączeniu urządzenia HTC Vive Pro EYE podłączonego bezpośrednio przewodem do komputera znacząco komplikowało poruszanie się po galerii. Alternatywnie poza fizyczną korektą pozycji

użytkownik miał możliwość korzystania z tzw. „teleportacji” czyli wskazywał przestrzeń za pomocą wirtualnego wskaźnika co o ile ułatwiało poruszanie się po galerii o tyle utrudniało zajęcie odpowiedniej pozycji w celu obserwacji eksponatów.

Na skutek przeprowadzonych testów oraz ocen użytkowników wprowadzono wirtualne znaczniki na podłodze galerii (czarne trójkąty na Rys. 1) które po „teleportacji” w ich obszar, automatycznie ustawiały respondenta w startowej optymalnej pozycji do obserwacji obrazu. Wszystkie zmiany wprowadzone w procesie ewaluacji znacząco poprawiły ocenę respondentów w trakcie dalszych testów.

## Wyniki eksperymentu

Wyniki ankiety przeprowadzonej po sesji pokazały że większości uczestników (62/75) czas w galerii upłynął bardzo szybko (5 w pięcioskalowej skali). Na osi ilustrującej zakres percepcji przestrzeni – od galerii rzeczywistej (punkt 0) do galerii wirtualnej (VR) (punkt 5) ponad dwie trzecie uczestników (63/75) zlokalizowało swoje subiektywne wrażenie w górnej części skali, wskazując wartości 3, 4 lub 5, co oznacza wyraźne poczucie przebywania w galerii wirtualnej. Natomiast w pytaniu dotyczącego lokalizacji ciała w przestrzeni galerii ten wynik był nieco niższy: 51 na 75 osób oceniło swoje wrażenie zanurzenia się na 3-5. Test Manna-Whitney’a ( $p < 0,0001$ ,  $\alpha = 0,05$ ) potwierdził, że korelacja pomiędzy wrażeniem przebywania w galerii fizycznej a oceną immersji jest istotna statystycznie.

Dane ET załadowano do aplikacji Ogama gdzie wygenerowano parametry fiksacji. Tabela skumulowanej liczby fiksacji liczyła 999 wierszy – o 51 wierszy mniej od oczekiwanej wartości dla 75 uczestników i 14 obrazów (1050). Powodem redukcji były braki zarejestrowanych danych dla 3 osób oraz pominięcie niektórych obrazów przez kilku uczestników w sytuacji niespodziewanego wyjścia z aplikacji (np. kilkukrotny wcisk triggera kontrolera).

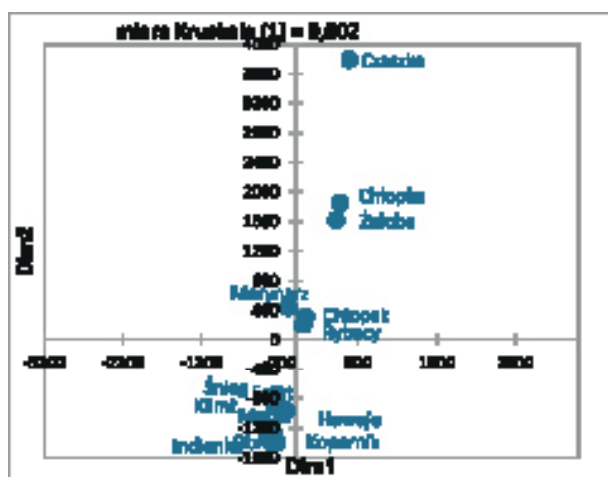
Czas eksploracji obrazów w środowisku VR nie był narzucony z góry i różnice czasu były znaczące w obrębie próby badanych. Parametry ET oparte o sakkady i fiksacje znormalizowano do czasu eksploracji dla każdego uczestnika (Tab. 1). Te wartości dla każdego z obrazów pokazuje pierwszy wiersz.

Dla 8 wektorów parametryzujących uśrednione fiksacje i sakkady obliczono macierz odległości i następnie w celu redukcji wymiarów zastosowano metodę skalowania wielowymiarowego, w którym Dim1 i Dim2 są abstrakcyjnymi współrzędnymi służące do konstruowania przestrzeni podobieństwa badanych obiektów (Rys. 3). Funkcja jakości ma-

Tabela 1. Uśrednione dane ET percepcji 14-tu obrazów dla wszystkich uczestników( fiks – fiksacje, sak -sakkady)

	Kopernik	Chłopak	Marynarz	Śnieg	Matka	Klimt	Chłopka	Obłąd	Żałoba	Rybacy	Czaszka	Hawaje	Indianka	Egipt
fiks/s	2,3	5,5	8,3	4,5	3,0	3,6	9,2	2,5	8,0	6,4	10,2	3,9	1,8	4,3
fiks/sak	618	2236	2343	1147	977	977	3843	605	3611	2123	5768	943	504	1141
długość sak	85	116	93	100	85	82	104	91	108	102	119	82	83	96
prędkość sak	2,8	2,1	2,8	2,9	2,7	2,8	2,1	2,7	2,2	2,1	2,2	2,8	2,7	2,8
średnia czasu trwania fiks	281	429	284	250	277	266	477	241	457	364	391	398	350	240
mediana czasu trwania fiks	208	287	207	202	195	205	339	190	273	279	264	215	227	193
długość fiks	18818	11829	16308	18021	13186	17247	10833	18683	16256	15967	13458	13480	13320	18083
prędkość ścieżki wzroku	197	710	856	455	238	412	695	228	772	709	1047	312	144	432

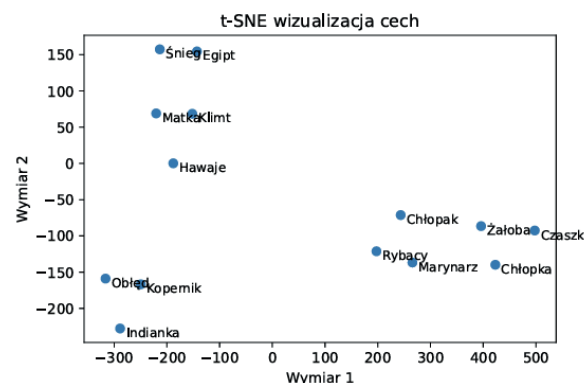
powania w przestrzeni dwuwymiarowej miara Kruskala = 0,002, co jest satysfakcjonującym wynikiem (im mniejszy tym lepiej) [6].



Rys. 3. Wykres skalowania wielowymiarowego percepcji obrazów na podstawie uśrednionych danych ET z Tab. 1 (Etykiety obrazów odpowiadają tym z Tab. 1)

Mapowanie ukazuje zgrupowanie danych ET w dwóch różnych ćwiartkach: 1 i 3. algorytm MDS do pierwszej zakwalifikował obrazy, które mają wspólną cechę – są wykonane w stylu realistycznym i w tonacji sepii (p. aneks, nry 5-9). To oznacza, że obrazy realistyczne wszyscy uczestnicy postrzegali podobnie. Co ciekawe, inna metoda redukcji wymiarów, t-SNE [7] zilustrowany na Rys. 4, potwierdziła grupowanie serii obrazów według stylów artystycznych: realistyczne, grafiki (nr. 1-4 w Aneksie) oraz współczesny (5 ostatnich elementów w Aneksie)). Oba algorytmy do wymienionego klastra zaklasyfikowały również grafikę „Marynarz” (3) skupiającą uwagę widzów

w sposób zbliżony do obrazów realistycznych. Zagadnienie wymaga kontynuacji badań.



Rys. 4. Wykres t-SNE uśrednionych parametrów ET dla 14 obrazów galerii

## Dyskusja i wnioski

Wyniki ankiety przetworzone przy zastosowaniu testów statystycznych świadczą o dominującym wrażeniu immersji w środowisku VR, a więc skuteczności zastosowanej technologii w wywołaniu realistycznego doświadczenia przestrzennego w zaprezentowanej wirtualnej galerii sztuki.

BITSCOPE w zamysł autorów i podobnie jak wiele innych projektów tego typu [8], [9] pełni funkcję pomostu między rzeczywistością wirtualną a klasycznymi metodami analizy wizualnej, ułatwiając współdziałanie technologii immersyjnych i oprogramowania do analizy poznawczej.

Z oceny respondentów wynikało że kluczowymi elementami wpływającymi na immersję były: nawigacja

pomiędzy pomieszczeniami, animacyjny efekt towarzyszący momentowi teleportacji. Rozwiązanie projektantów Bitscope polegające na wygaśnięciu jednej sceny i płynne zastąpienie drugą nie sprzyjało powstaniu wrażenia fizycznego poruszania się. Jak twierdzili badani: “lepiej byłoby żeby zamiast przeskoków w przestrzeni, obiekt do którego przybliżam się był cały czas w zasięgu wzroku”.

Krytyczne uwagi dotyczyły także opóźnienia renderowania obrazu przy szybkich ruchach głową, na co częstotliwość odświeżania HTC Vive Pro Eye ma pośredni wpływ.

Następnie, ocenie poddawano UX przestrzeni galerii, gdzie jako najważniejsze wymieniono: lokalne (punktowe) oświetlenie obrazu, rozdzielczość zamieszczonych obrazów, globalna kolorystyka i tekstura wnętrza, a na końcu rozpraszacze dźwiękowe.

Za pomocą redukcji danych ET wykryto, że ludzka percepcja podobnie przetwarza obrazy w stylu re-

alistycznym, przedstawiające postacie lub przedmioty natury i otoczenia (martwa natura – czaszka). Otrzymany wieloskalowy zbiór danych wymaga dalszych prac nad modelem dotyczącego znalezienia wspólnych cech obiektów jak i spersonalizowania doświadczenia widza, a nawet emocjonalnego profilu kolekcji obrazów.

## Podziękowania

Badania przeprowadzono w ramach projektu Bitscope (no 2021/03/Y/ST6/00002) przy wsparciu Narodowego Centrum Nauki w ramach programu CHIST-ERA IV, który otrzymał dofinansowanie na podstawie Umowy Finansowej nr 857925 w ramach Programu finansowania badań naukowych i innowacji Unii Europejskiej Horyzont 2020.

Przyjęto: 10.11.2025, zaakceptowano: 12.11.2025, opublikowano: 24.11.2025

## Materiał galerii VR



1. J.M.W. Turner - Rain, Steam, and Great Smog - 1844



2. Wassily Kandinsky - On an Open Plain - 1911



3. Edward Hopper - Morning in Washington - 1925



4. Gustav Klimt - Woman in a Blue Dress - 1907



5. Diego Velázquez - Boy with Lute - 1655



6. J.M.W. Turner - Rain, Steam, and Great Smog - 1844



7. J.M.W. Turner - Rain, Steam, and Great Smog - 1844



8. J.M.W. Turner - Rain, Steam, and Great Smog - 1844



9. J.M.W. Turner - Rain, Steam, and Great Smog - 1844



10. J.M.W. Turner - Rain, Steam, and Great Smog - 1844



11. J.M.W. Turner - Rain, Steam, and Great Smog - 1844



12. J.M.W. Turner - Rain, Steam, and Great Smog - 1844



13. J.M.W. Turner - Rain, Steam, and Great Smog - 1844



14. J.M.W. Turner - Rain, Steam, and Great Smog - 1844

## LITERATURA

- [1] Chen J., Application and Challenges of Virtual Reality (VR) in Art Exhibition Planning. *Appl Math Nonlinear Sci.*, 2024;9. doi: 10.2478/amns-2024-1454.
- [2] Slater M, Sanchez-Vives MV., Enhancing our lives with immersive virtual reality, *Front Robot AI.* 2016;3:74. doi: 10.3389/frobt.2016.00074.
- [3] Hyka, A., Vejar, A, Analysis of 3D head rotations for eye tracking calibration in large computer monitors, *Przeгляд Elektrotechniczny*, 1 (2023), doi:10.15199/48.2023.01.56.
- [4] Holmqvist K., Nyström M., Andersson R., Dewhurst R., Jarodzka H., van de Weijer J. (2015). *Eyetracking: a comprehensive guide to methods and measures.* Oxford University Press.
- [5] Hachaj, T., Ogiela, MR., Baraniewicz, D., Evaluation of Gesture Description Language in the role of touchless interface for virtual reality environment, *Przeгляд Elektrotechniczny*, 5 (2017), doi:10.15199/48.2017.05.12
- [6] Kruskal JB., Multidimensional Scaling by Optimizing Goodness of Fit to a Nonmetric Hypothesis, *Psychometrika*, 29 (1964), 1–27, doi:10.1007/bf02289565.
- [7] van der Maaten, L.J.P., Hinton, G.E., Visualizing Data Using t-SNE, *Journal of Machine Learning Research*, 9 (2008), 2579–2605.
- [8] Bernhard K., Henning S., Development of a software tool to evaluate the tolerability of different VR-movement types, *Health Technol.*;14 (2024), 781–90. doi: 10.1007/s12553-024-00873-4.
- [9] Tarnowski, P., Kołodziej, M., Makowski, A., Rak, R., A system for synchronous acquisition of selected physiological signals aimed at emotion recognition, *Przeгляд Elektrotechniczny*, 12 (2016), doi: 10.15199/48.2016.12.77.