

Paweł Buchwald^{a)*}

^{a)} WSB University / Akademia WSB

* Corresponding author / Autor korespondencyjny: pbuchwald@wsb.edu.pl

Benefits of Using the Metaverse Environment and Virtual Reality in Simulating the Evacuation of People from Buildings

Korzyści z zastosowania środowiska metawersum i wirtualnej rzeczywistości w symulacji ewakuacji osób z budynków

ABSTRACT

Purpose: The aim of this study is to explore the possibilities of the metaverse environment in the context of simulating the evacuation of people from a building. The research hypothesis assumes the feasibility of applying the metaverse environment to conduct a scenario of simulating the evacuation of people. This environment provides the opportunity for a realistic representation of the building's topology and the behaviour of people. Additionally, through the interaction among people, it is possible to reflect basic aspects of the human factor related to user interaction in the evacuation process. The article presents the possibilities of evacuating users from a virtual building using two evacuation scenarios and the potential to gather measurement results related to evacuation time in the metaverse environment. Furthermore, simulated evacuation scenarios aim to answer the question of whether conveying information about the dynamically changing situation during the exit of people from a building can accelerate evacuation time.

Project and Methods: In the study, an empirical research method was employed, involving the implementation of a simulator application operating on the spatial.io platform. Using the unity 3D visualization design tool, a building model was reflected, which was utilized for conducting a virtual evacuation. Business logic was programmed through scripts in the C# programming language, enabling the measurement of the evacuation times of individual users from the building and their movement to the assembly point. To detect the optimal exit route at any given moment, an analysis of the graph was performed based on the Neo4j graph database. After publishing the simulator application, it was possible to simulate the evacuation of people from the building in a virtual environment and gather measurement results related to evacuation times.

Results: The proposed research method provided the opportunity to gather evacuation time results from people using two evacuation scenarios. In evacuation scenarios where users were provided with information about dynamically changing situations on the evacuation route (e.g. the emergence of impassable paths), the times for people to exit the building in simulated evacuations were shorter. The design of a virtual evacuation simulator application demonstrated the utility of the metaverse environment in training individuals on the principles of safe building evacuation and showcased the potential for collecting data on people's behaviour during evacuations.

Conclusions: Based on the obtained experimental results and the analysis of global trends presented in the literature, which demonstrate the use of VR simulators in building evacuation simulations, it can be concluded that the presented simulation method may prove useful both in the field of education and in gathering fundamental results or simulating evacuation scenarios.

Keywords: evacuation simulator, metaverse, unity 3d, spatial.io, graph analysis

Type of article: original scientific article

Received: 21.12.2023; Reviewed: 28.01.2024; Accepted: 02.04.2024;

Author's ORCID ID: P. Buchwald – 0000-0003-2537-7085;

Please cite as: SFT Vol. 63 Issue 1, 2024, pp. 6–17, <https://doi.org/10.12845/sft.63.1.2024.1>;

This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest zbadanie potencjału wykorzystania środowiska metawersum na potrzeby symulowanej ewakuacji osób z budynku. W pracy przyjęto hipotezę badawczą o możliwości zastosowania metawersum w scenariuszu ewakuacji.

Wprowadzenie: Środowisko metawersum pozwala na realistyczne odzwierciedlenie topologii budynku oraz zachowania się ludzi. Dodatkowo dzięki uwzględnieniu interakcji między osobami umożliwia ukazanie podstawowych aspektów czynnika ludzkiego, które wpływają na samą ewakuację. Artykuł przedstawia propozycje realizacji ewakuacji użytkowników z wirtualnego budynku przy wykorzystaniu dwóch scenariuszy ewakuacyjnych oraz zebrania w środowisku metawersum wyników pomiarowych związanych z czasem ewakuacji. Dodatkowo symulowane scenariusze ewakuacyjne mają dać odpowiedź na pytanie, czy przekazywanie informacji o dynamicznie zmieniającej się sytuacji podczas wyjścia osób z budynku może przyspieszyć czas ewakuacji.

Projekt i metody: W opracowaniu przyjęto empiryczną metodę badawczą, która polegała na zrealizowaniu projektu aplikacji symulatora działającej na platformie spatial.io. Przy pomocy narzędzia do projektowania wizualizacji Unity 3D odzwierciedlono model budynku, który był użyty do przeprowadzenia wirtualnej ewakuacji. Zaprogramowano logikę biznesową za pomocą skryptów w języku programowania C#, które pozwoliły na pomiar czasów wyjścia poszczególnych użytkowników z budynku i udania się do punktu zbiórki. Do ustalenia najlepszej w danym momencie trasy wyjścia z budynku użyto analizy grafu zrealizowanej na podstawie grafowej bazy danych Neo4j. Po opublikowaniu aplikacji symulatora możliwe było przeprowadzenie symulowanej ewakuacji osób z budynku w wirtualnym środowisku i zebranie wyników pomiarowych dotyczących czasów ewakuacji.

Wyniki: Zaproponowana metoda badawcza dała możliwość zagregowania wyników czasów ewakuacji użytkowników z zastosowaniem dwóch scenariuszy ewakuacyjnych. W scenariuszach ewakuacji, w których przekazywano użytkownikom informacje o dynamicznie zmieniającej się sytuacji na drodze ewakuacji (np. o zablokowaniu przejścia), czasy opuszczenia budynku przez użytkowników w symulowanej ewakuacji były krótsze. Zaprojektowanie aplikacji wirtualnego symulatora ewakuacji z budynku wykazało przydatność środowiska metawersum w zakresie szkoleń osób z zasad bezpiecznego wyjścia z budynku podczas ewakuacji oraz pokazało możliwość zbierania danych na temat zachowania się osób podczas ewakuacji.

Wnioski: Na podstawie uzyskanych wyników eksperymentalnych oraz analizy tendencji światowych przedstawionych w literaturze, które pokazują zastosowanie symulatorów VR w symulacji ewakuacji z budynków, należy stwierdzić, iż pokazana metoda symulacyjna może być przydatna zarówno w obszarze edukacji, jak i w celu zbierania podstawowych wyników, czy symulacji scenariuszy ewakuacyjnych.

Słowa kluczowe: symulator ewakuacji, metawersum, rzeczywistość wirtualna, unity 3d, spatial.io, analiza grafowa

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 21.12.2023; **Zrecenzowany:** 28.01.2024; **Zaakceptowany:** 02.04.2024;

Identyfikator ORCID autora: P. Buchwald – 0000-0003-2537-7085;

Proszę cytować: SFT Vol. 63 Issue 1, 2024, pp. 6–17, <https://doi.org/10.12845/sft.63.1.2024.1>;

Artykuł udostępniany na licencji CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Introduction

The organisation of fire evacuation drills is an obligation incumbent on owners of public buildings and employee spaces. Such responsibility is set out in the Regulation of the Minister of Internal Affairs and Administration of 7 June 2010 on fire protection of buildings, other buildings and grounds (Polish Journal of Laws: Dz.U. 2010, Nr 109, poz. 719). Managers or owners of establishments designed for more than 50 people who use them on a regular basis are required to carry out practical checks on the organisation and conditions for evacuation at a frequency of not less than once every two years. The evacuation in question can be understood as the efficient and effective exit from a place of danger [1]. The focus of the article presented here is on evacuation, understood as the efficient exit of people from the danger zone, which should be implemented first. Only after people and animals have been safely removed is the evacuation of property and important documentation undertaken. The effective evacuation of people from a building depends on a number of important factors, such as knowledge of the building and evacuation routes, the correct interpretation of signs and evacuation signals, and the number of people evacuated. In particular, the stress resulting from the threat and the failure of evacuees to respond properly during an incident can become the cause of delays in evacuation and subsequent dangerous situations. Conducting evacuation drills at the minimum frequency stipulated by law is not sufficient to give building occupants the opportunity to develop correct responses to possible situations and to develop habits that will be used effectively during an emergency. On the other hand, the possibility of carrying out more frequent evacuation drills is hampered by issues of financial resources and the disruption that trial evacuations cause to the normal functioning of employees in the workspace. Although in many cases the current means of evacuation from buildings is in line with legal provisions, given the above

Wprowadzenie

Organizacja ćwiczeń ewakuacji przeciwpożarowej jest obowiązkiem spoczywającym na właścicielach budynków użyteczności publicznej i przestrzeni pracowniczych. Odpowiedzialność taką określa rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 roku dotyczące ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz.U. 2010, Nr 109, poz. 719). Zarządcy bądź właściciele obiektów przeznaczonych dla ponad 50 osób, będących ich stałymi użytkownikami, są zobowiązani do praktycznego sprawdzenia organizacji oraz warunków ewakuacji z częstotliwością nie mniejszą niż raz na dwa lata. Ewakuację, o której mowa, można rozumieć jako sprawne i efektywne opuszczenie miejsca zagrożenia [1]. W prezentowanym artykule skupiono się na ewakuacji rozumianej jako sprawne opuszczenie przez ludzi strefy zagrożenia, która powinna być realizowana w pierwszej kolejności. Dopiero po bezpiecznym wyprowadzeniu ludzi i zwierząt podejmuje się ewakuację mienia i ważnej dokumentacji. Sprawne przeprowadzenie ewakuacji jest związane w dużym stopniu z prawidłowym przygotowaniem do niej samych ewakuowanych. Efektywna ewakuacja ludzi z budynku uzależniona jest od wielu istotnych czynników, takich jak: znajomość budynku i dróg ewakuacyjnych, właściwa interpretacja znaków i sygnałów ewakuacyjnych, liczba ewakuowanych osób. Szczególnie stres wynikający z zagrożenia oraz brak prawidłowej reakcji osób ewakuowanych podczas incydentu mogą stać się przyczyną opóźnień w ewakuacji i kolejnych sytuacji niebezpiecznych. Przeprowadzanie ćwiczeń ewakuacyjnych w minimalnej częstotliwości przewidzianej przez prawo nie jest wystarczające, aby dać użytkownikom budynków możliwość wypracowania prawidłowych reakcji na możliwe sytuacje oraz wyrobienia nawyków, które będą skutecznie stosowane podczas zagrożenia. Z drugiej strony możliwość wykonywania częstszych ćwiczeń ewakuacyjnych hamują kwestie zasobów finansowych i utrudnienia, jakie próbne ewakuacje powodują w normalnym

factors, further methods should be sought to improve people's preparedness and to test the efficiency of evacuation actions, as well as to verify the correct understanding and application of evacuation procedures. This paper proposes a method related to testing the preparation of personnel for evacuation and evacuation procedures using virtual reality systems and a metaverse environment.

Research methods

Environment of virtual reality as a platform for simulating fire-fighting exercises based on existing solutions

Virtual reality systems are used in many areas of simulation. Due to their characteristics regarding immersion and their ability to realistically reflect reality, they are increasingly used in the area of training, realistic visualisations and interactive problem presentations. One such solution is a simulator for safety training in the use of the Modlin airport terminal [2]. The system has been set up to train the services responsible for rescue and firefighting operations and pyrotechnic services. Practice evacuations in an actual facility keep the technical services in a high state of readiness, but can lead to a kind of conflict of interest with the users of the facility, who cannot use it during the exercises. The authors of the system presented an alternative training method using a VR application to simulate rescue operations in incidents such as: participation in firefighting operations on the airfield, neutralisation of oil spills, protection of aircraft refuelling, and implementation of safety procedures provided during flight operations with limited visibility. The use of this type of simulation solution has benefits in terms of minimising training costs, the opportunity to practice procedures that are difficult to replicate in real-world conditions, the opportunity to practice new safety procedures before their final implementation, or the opportunity to verify in a virtual environment new solutions and simulate the use of equipment before they are acquired.

Another simulation environment, which provides a tool to study phenomena that cannot be reflected in reality experimentally due to its cost, is the simulator for evacuation of a school building during a fire [3]. The platform is an example of a tool that uses virtual reality and a numerical simulation tool based on an agent-based approach. The authors of the study show how to integrate a virtual reality platform with numerical simulation tools to recreate a fire hazard. The fire spread scenario is calculated in real time using a building information model and fluid dynamics. Special software for real-time simulation of crowd dynamics was also used. This reflected the behaviour of people in the VR environment during the evacuation process. To demonstrate the applicability of the proposed method, a fire evacuation simulation of an existing school building was carried out. The results show that the proposed virtual reality-based system can be used to recreate hazardous situation scenarios. As a result, it can be used as a training tool to simulate evacuation operations for emergency services.

funkcjonowaniu pracowników w przestrzeni pracowniczej. Pomimo iż w wielu przypadkach aktualne sposoby ewakuacji z budynków są zgodne z ustaleniami prawnymi, to biorąc pod uwagę powyższe czynniki, należy poszukiwać dalszych metod poprawy przygotowania ludzi i testowania sprawności akcji ewakuacyjnych, a także weryfikacji prawidłowego rozumienia i stosowania procedur ewakuacji. W artykule zaproponowano metodę związaną z testowaniem przygotowania personelu do ewakuacji oraz procedur ewakuacyjnych z zastosowaniem systemów rzeczywistości wirtualnej i środowiska metawersum.

Metody badawcze

Środowisko rzeczywistości wirtualnej jako platforma do symulacji ćwiczeń przeciwpożarowych na podstawie istniejących rozwiązań

Systemy rzeczywistości wirtualnej są stosowane w wielu obszarach symulacji. Poprzez swoje cechy dotyczące immersji i możliwości realistycznego odzwierciedlenia rzeczywistości są one coraz częściej stosowane w obszarze szkoleń, realistycznych wizualizacji oraz interaktywnych prezentacji problemowych. Jednym z takich rozwiązań jest symulator do szkoleń w zakresie bezpieczeństwa użytkownika terminala lotniczego w Modlinie [2]. System ten został utworzony w celu szkolenia służb odpowiedzialnych za działania ratowniczo-gaśnicze oraz służb pirotechnicznych. Próbną ewakuację w rzeczywistym obiekcie pozwalają utrzymywać służby techniczne w stanie wysokiej gotowości, jednak mogą prowadzić do swoistej kolizji interesów z użytkownikami obiektu, którzy podczas prowadzonych ćwiczeń nie mogą z niego korzystać. Autorzy systemu przedstawili alternatywną metodę szkoleniową z zastosowaniem aplikacji VR, która pozwala na zasymulowanie działań ratowniczych przy zdarzeniach takich jak: udział w akcjach przeciwpożarowych na terenie lotniska, neutralizacja wycieków substancji ropopochodnych, zabezpieczenie tankowania samolotów, realizacja procedur bezpieczeństwa przewidzianych podczas wykonywania operacji lotniczych przy ograniczonej widoczności. Zastosowanie tego typu rozwiązania symulacyjnego wiąże się z korzyściami w zakresie minimalizacji kosztów szkoleń, możliwości przećwiczenia procedur, które są trudne do odtworzenia w realnych warunkach, możliwości ćwiczenia nowych procedur bezpieczeństwa przed ich finalnym wdrożeniem. Stwarzają również okazję do weryfikacji w środowisku wirtualnym nowych rozwiązań i symulacji stosowania urządzeń przed ich pozyskaniem.

Innym środowiskiem symulacyjnym, stanowiącym narzędzie do badania zjawisk, które nie mogą być odzwierciedlone w rzeczywistości w sposób eksperymentalny ze względu na związane z nimi koszty, jest symulator ewakuacji budynku szkolnego podczas pożaru [3]. Platforma jest przykładem narzędzia, które wykorzystuje rzeczywistość wirtualną, oraz narzędzia symulacji numerycznej opartego na podejściu agentowym. Autorzy opracowania pokazują, jak zintegrować platformę rzeczywistości wirtualnej z narzędziami do symulacji numerycznej w celu odtworzenia zagrożenia pożarowego. Scenariusz rozprzestrzeniania się pożaru jest obliczany w czasie rzeczywistym z użyciem modelu informacji o budynku

The increasing use of virtual reality to deliver scenario-based training in hazardous environments where real-world training would be difficult, dangerous or raise ethical issues was highlighted in a study by Xi M. and Smith S.P. [4]. Such is the case with evacuation training during fires and the use of virtual fire drills. The publication demonstrates that environments built in virtual reality can be used to represent simulated buildings and fire hazards. This allows evacuation procedures to be practised safely. With this type of solution, the training experience can be affected by the realism achieved in a virtual environment. For example, visual and sound effects and interactions with simulated entities, such as fire, smoke and other evacuees, must be reflected in a way that ensures a high degree of realism. In addition, building such complex environments can be time-consuming and prone to errors. One solution is to use the components that make up the virtual environment, including the building layouts, the interactive environment itself and realistic fire risk simulation in the form of pre-defined components and libraries. The paper describes work to extend the process of creating virtual environments for fire evacuation training. This process integrates 3D building models and code extracts describing evacuation and fire simulation behaviour into the 3D visualisation engine used. The authors also present the possibility of simulating the evacuation behaviour of virtual characters, which are handled through virtual agent software. Moreover, the scalability and efficiency of the simulation performance was confirmed when extending the simulation model. Consistency of agent behaviour was found in terms of evacuation times, scalability of agent populations, addition of fire hazards and increased building complexity.

Simulations of evacuation using VR environments for the purpose of education and thus increasing fire safety are presented in the publication *A Virtual Reality Simulation Method for Crowd Evacuation in a Multiexit Indoor Fire Environment* [5]. The study presents a method for simulating evacuation using a virtual reality environment from a building with multiple available exits. The study focused on verifying the correctness of the evacuation and the correctness of the users' choice of exit route. Character models and building infrastructure models affecting the realism of the scene were used for the research. The simulation was designed to suggest tests to determine the best possible evacuation routes. It also focused on improving the efficiency of the simulation itself. The demonstrated prototype system allows the use of different scenarios to effectively support the testing of the effectiveness of simulated evacuations and provide reliable results about the preparation of building occupants for evacuation.

The article *Simulating cooperative fire evacuation training in a virtual environment using gaming technology* [6] presents the possibilities of using technologies related to game development and 3D visualisation to implement fire evacuation simulation. The authors note that virtual reality environments can be used to support training and simulate human responses in emergency situations. However, current virtual reality-based training systems have a limited number of intelligent NPCs who lack 'knowledge' of fire science. The solution under discussion is in hybrid form, that is, combining game technology, agent programming and fire science knowledge to design an evacuation training system. The

i dynamiki płynów. Wykorzystano także specjalne oprogramowanie do symulacji w czasie rzeczywistym dynamiki tłumu. W ten sposób odzwierciedlono zachowanie ludzi w środowisku VR podczas procesu ewakuacji. Aby wykazać możliwość zastosowania proponowanej metody, przeprowadzono symulację ewakuacji pożarowej istniejącego budynku szkolnego. Wyniki pokazują, że proponowany system oparty na rzeczywistości wirtualnej może zostać wykorzystany do odtwarzania scenariuszy sytuacji niebezpiecznych. Dzięki temu może być zastosowany jako narzędzie szkoleniowe do symulacji działań ewakuacyjnych dla służb ratowniczych.

Na coraz częstsze wykorzystanie wirtualnej rzeczywistości do przeprowadzania szkoleń opartych na scenariuszach w środowiskach niebezpiecznych, gdzie szkolenie w rzeczywistym świecie byłoby trudne, niebezpieczne lub wiązałyby się z kwestiami etycznymi zwrócono uwagę w opracowaniu autorstwa Xi M. i Smith S.P. [4]. Takim właśnie przykładem jest szkolenie w zakresie ewakuacji podczas pożarów i zastosowanie wirtualnych ćwiczeń przeciwpożarowych. W publikacji wykazano, iż środowiska zbudowane w rzeczywistości wirtualnej mogą być używane do przedstawiania symulowanych budynków i zagrożeń pożarowych. Dzięki temu można bezpiecznie ćwiczyć procedury ewakuacyjne. Przy zastosowaniu tego typu rozwiązań na doświadczenie szkoleniowe może wpływać realizm uzyskany w środowisku wirtualnym. Na przykład efekty wizualne i dźwiękowe oraz interakcje z symulowanymi jednostkami, takimi jak ogień, dym i inni ewakuowani, muszą być odzwierciedlone w sposób zapewniający wysoki stopień realizmu. Dodatkowo budowanie takich skomplikowanych środowisk może być czasochłonne i podatne na błędy. Jednym z rozwiązań jest wykorzystanie składników tworzących środowisko wirtualne, w tym układów budynków, samego interaktywnego środowiska oraz realistycznej symulacji zagrożeń pożarowych w postaci gotowych predefiniowanych komponentów i bibliotek. W opracowaniu opisano prace mające na celu rozbudowę procesu tworzenia środowisk wirtualnych do szkolenia z ewakuacji podczas pożaru. Proces ten integruje modele budynków 3D oraz fragmenty kodu opisujące zachowanie ewakuacji i symulacji pożarowej w zastosowanym silniku do wizualizacji 3D. Autorzy przedstawiają również możliwość symulacji zachowania podczas ewakuacji wirtualnych postaci, które są obsługiwane poprzez oprogramowanie wirtualnych agentów. Ponadto potwierdzono skalowalność i efektywność działania symulacji podczas rozbudowy modelu symulacyjnego. Stwierdzono spójność zachowania agentów w zakresie czasu ewakuacji, skalowalności populacji agentów, dodawania zagrożeń pożarowych oraz zwiększonej złożoności budynków.

Symulacje ewakuacji z zastosowaniem środowisk VR na potrzeby edukacji, a tym samym podwyższenia bezpieczeństwa przeciwpożarowego, przedstawiono w publikacji pt. *A Virtual Reality Simulation Method for Crowd Evacuation in a Multiexit Indoor Fire Environment* [5]. W opracowaniu zaprezentowano metodę symulacji ewakuacji za pomocą środowiska wirtualnej rzeczywistości z budynku z wieloma dostępnymi wyjściami. W badaniu skupiono się na sprawdzeniu poprawności ewakuacji i prawidłowości wyboru drogi wyjścia przez użytkowników. Do badań zastosowano modele postaci oraz modele infrastruktury budynku wpływające na realizm sceny. Symulacja miała na celu zaproponowanie testów, których zadaniem jest określenie jak najlepszych dróg ewakuacji.

system is designed for firefighters. The use of high-accuracy fire data sources was also used in the presented simulation.

Conducting fire training and drills is particularly difficult in healthcare facilities where there are large numbers of people with mobility problems. In addition, the stress of a trial evacuation could expose patients to deteriorating health conditions. For this reason, virtual reality environments are being used in these types of facilities to better prepare staff in terms of carrying out evacuations. The research presented in the publication focused mainly on aspects of comparing traditional evacuation training and virtual training environments, in which the user can be introduced to scenarios of even extremely dangerous fire situations that may occur in a hospital. It also compares data on the financial costs of traditional and VR training, focuses on the differences between methods and technologies for implementing training in virtual environments and on some of the limitations associated with the use of VR technology. The conclusions of the authors' study suggest a further need to develop VR simulations related to fire evacuation training in hospitals [7].

Systems presented in the literature for simulating evacuation in hazardous situations demonstrate the successful application of virtual reality systems for evacuation simulation. The correctness of an evacuation depends on the human factor and the influence of the behaviour of the evacuees themselves in carrying out safety procedures, responding correctly to the threat and controlling the emotions that may arise even during a simulated emergency. The behaviour of the human factor is determined by the interaction between the evacuees themselves. The use of simulated elements of human interaction through the introduction of NPC (non-player character) objects does not fully provide the same possibilities for reflecting human reactions as with the detection of actual human reactions. For this reason, when developing the author's simulation application, it was decided to use not only a virtual reality system, but also a metaverse environment.

Skupiono się również na poprawie efektywności działania samej symulacji. Pokazany prototypowy system umożliwia zastosowanie różnych scenariuszy, co pozwala na skuteczne wsparcie w zakresie testowania efektywności symulowanych ewakuacji i dostarczania wiarygodnych wyników o przygotowaniach użytkowników budynku do ewakuacji.

W artykule pt. *Simulating cooperative fire evacuation training in a virtual environment using gaming technology* [6] przedstawiono możliwości zastosowania technologii związanych z tworzeniem gier i wizualizacji 3D do symulacji ewakuacji przeciwpożarowej. Autorzy zwracają uwagę, iż środowiska rzeczywistości wirtualnej mogą być stosowane do wspierania szkoleń i odtwarzania reakcji człowieka w sytuacjach zagrożenia. Problemem obecnych systemów szkoleniowych opartych na rzeczywistości wirtualnej jest ograniczona liczba inteligentnych postaci niezależnych (NPC), którym brakuje „wiedzy” z zakresu nauk o pożarach. Omawiane rozwiązanie ma postać hybrydową. Oznacza to, że w celu zaprojektowania systemu szkolenia ewakuacyjnego łączy technologię gier, programowanie agentów oraz wiedzę z zakresu pożarnictwa. System jest przeznaczony dla strażaków. W prezentowanej symulacji zastosowano również źródła danych o pożarach o wysokiej wierności.

Przeprowadzenie szkoleń i ćwiczeń przeciwpożarowych jest szczególnie utrudnione w placówkach służby zdrowia, w których występuje duża liczba osób mających problemy z samodzielnym poruszaniem się. Dodatkowo stres związany z próbną ewakuacją mógłby narazić pacjentów na pogorszenie stanu zdrowia. Z tego względu w tego typu placówkach do lepszego przygotowania personelu w zakresie przeprowadzania ewakuacji stosuje się środowiska rzeczywistości wirtualnej. Przedstawione w publikacji badania skupiały się głównie na aspektach porównania tradycyjnych szkoleń z zakresu ewakuacji i wirtualnych środowisk szkoleniowych, w których można wprowadzić użytkownika w scenariusze nawet skrajnie niebezpiecznych sytuacji pożarowych, jakie mogą wystąpić w szpitalu. Porównano również dane dotyczące kosztów finansowych szkoleń tradycyjnych i VR, skupiono się na różnicach między metodami i technologiami implementacji szkoleń w wirtualnych środowiskach oraz na pewnych ograniczeniach związanych z zastosowaniem technologii VR. Wnioski z przeprowadzonych przez autorów badań sugerują dalszą potrzebę rozwijania symulacji VR związanych ze szkoleniem w zakresie ewakuacji przeciwpożarowej w szpitalach [7].

Przedstawione w literaturze systemy symulacji ewakuacji w sytuacjach niebezpiecznych potwierdzają skuteczne zastosowanie systemów rzeczywistości wirtualnej na potrzeby symulacji ewakuacji. Poprawność przeprowadzenia ewakuacji jest uzależniona od czynnika ludzkiego i wpływu zachowania samych ewakuowanych na wykonanie procedur bezpieczeństwa, prawidłowe reagowanie na zagrożenie oraz kontrolowanie emocji, jakie mogą pojawić się nawet podczas symulowanego zagrożenia. Zachowanie czynnika ludzkiego jest zdeterminowane interakcją pomiędzy samymi ewakuowanymi. Zastosowanie symulowanych elementów interakcji pomiędzy ludźmi poprzez wprowadzenie obiektów NPC (ang. *non-player character*) nie odzwierciedla reakcji ludzkich w takim stopniu, jak dzieje się to w przypadku detekcji rzeczywistych reakcji człowieka. Z tego względu przy opracowaniu autorskiej aplikacji symulacyjnej zdecydowano się na użycie nie tylko systemu rzeczywistości wirtualnej, ale także środowiska metawersum.

Implementation of the simulation of the evacuation of people from a building in the metaverse environment on the basis of the author's system

The concept of metaverse includes more complex and unified virtual environments that allow users to move freely between different digital areas and to interact with each other. Such environments can be described as spaces in which different elements of virtual reality are interconnected in a coherent way, enabling contact and shared experiences, as well as access to functionality from different platforms and applications [8]. Popular metaverse environments that can be used to build applications that work with virtual reality include:

- Facebook Horizon Workrooms (now: Meta) – serves to create a virtual environment for business meetings and teamwork [9];
- Decentraland: a blockchain-based platform that allows users to create, view and trade content and properties in a virtual world [10];
- Second Life: not one of the newest platforms, but still functions as a virtual environment where users can create content, trade virtual properties and interact with other users;
- Spatial.io: a platform that enables collaboration in virtual space. Users can work together, using a variety of devices and experiencing the virtual space as a place to meet, make presentations or work together. Cooperation in 3D space allows for a more interactive experience, which can be particularly useful for remote working, business meetings or online education. The dynamic development of this platform means that it is increasingly being used for training and various simulations using VR. The platform allows the functionality contained therein to be used not only through virtual reality helmets, but also through the use of mobile devices or a web browser [11].

The Unity 3D development environment and the functionality provided through the Spatial.io platform were used to execute the simulation application. With this solution, a reflection of the sheer volume of the building and the individual fittings was achieved. In addition, using the available 3D models of the office equipment, it was possible to implement the appearance of the office building in the VR space from which the evacuation was practised. Examples of the visualisation of individual sections of the mapped building are shown in Figure 1. As part of the model preparation for the simulation, functions were also created in visual script notation, which was used to reflect the business logic controlling the entire simulation. The implemented software allowed the detection of events that were related to the entry of users into the different zones of the virtualised building. In this way, it was also possible to monitor the user's correct response to the hazard and to make observations about the behaviour of all users during evacuation.

The start of the evacuation event itself, and the detection of whether all users had left the virtual building, were also implemented programmatically using a collider system in the Unity

Realizacja symulacji ewakuacji osób z budynku w środowisku metawersum na podstawie autorskiego systemu

Koncepcja metawersum obejmuje bardziej złożone i jednolite środowiska wirtualne, które pozwalają użytkownikom na swobodne poruszanie się między różnymi cyfrowymi obszarami oraz na interakcje pomiędzy sobą. Środowisko takie może być opisywane jako przestrzenie, w których różne elementy wirtualnej rzeczywistości są ze sobą powiązane w spójny sposób, umożliwiając kontakt i współdzielenie doświadczeń, a także dostęp do funkcjonalności z poziomu różnych platform i aplikacji [8]. Do popularnych środowisk typu metawersum, które mogą być zastosowane do budowy aplikacji działających z wykorzystaniem rzeczywistości wirtualnej, należą:

- Facebook Horizon Workrooms (obecnie: Meta) – służy stworzeniu wirtualnego środowiska dla spotkań biznesowych i pracy zespołowej [9];
- Decentraland: platforma oparta na technologii blockchain, która umożliwia użytkownikom tworzenie, przeglądanie treści i nieruchomości w wirtualnym świecie oraz handel nimi [10];
- Second Life: nie należy do najnowszych platform, ale nadal funkcjonuje jako wirtualne środowisko, gdzie użytkownicy mogą tworzyć treści, handlować nieruchomościami wirtualnymi i prowadzić interakcje z innymi użytkownikami;
- Spatial.io: platforma, która umożliwia współpracę w przestrzeni wirtualnej. Użytkownicy mogą wspólnie pracować, korzystając z różnych urządzeń i doświadczając wirtualnej przestrzeni jako miejsca spotkań, prezentacji, czy wspólnego działania. Współpraca w przestrzeni 3D pozwala na bardziej interaktywne doświadczenia, co może być szczególnie przydatne w pracy zdalnej, spotkaniach biznesowych czy edukacji online. Dynamiczny rozwój tej platformy sprawia, iż jest ona coraz częściej wykorzystywana do szkoleń i różnych symulacji z zastosowaniem VR. Platforma umożliwia korzystanie z funkcjonalności w niej zawartej nie tylko za pomocą helmów do rzeczywistości wirtualnej, ale również poprzez zastosowanie urządzeń mobilnych lub przeglądarki internetowej [11].

Do realizacji aplikacji symulacyjnej użyto środowiska programistycznego Unity 3D oraz funkcjonalności udostępnianej przez platformę Spatial.io. Dzięki temu rozwiązaniu uzyskano odwziedlenie samej kubatury budynku oraz poszczególnych elementów wyposażenia. Dodatkowo, przy pomocy dostępnych modeli trójwymiarowych wyposażenia biurowego, udało się odtworzyć wygląd biurowca w przestrzeni VR, z którego ćwiczono ewakuację. Przykłady wizualizacji poszczególnych fragmentów odwzorowanego budynku przedstawiono na rycinie 1. W ramach przygotowania modelu do symulacji utworzono również funkcje w notacji visual script, która posłużyła do odwziedlenia logiki biznesowej kontrolującej całą symulację. Zaimplementowane oprogramowanie pozwoliło na detekcję zdarzeń, które były związane z wejściem użytkowników do poszczególnych stref zwirtualizowanego budynku. W ten sposób można również było kontrolować prawidłową reakcję użytkownika na zagrożenie oraz dokonywać

environment. Allowing individual avatars to collide with each other was also an important element, affecting the realism of the evacuation. This provided the opportunity to simulate events such as more users passing through corridors, passageways with smaller widths or architectural constrictions that could impede evacuation. Responding to characters colliding with each other also made it possible to simulate the problem of less smooth movement of building users during evacuation and blocking each other in stairwells or passageways. Once the alarm was sounded, signalled in an audible manner, occupants began to leave the building via designated evacuation routes and reacted in specific ways to the incidents that occurred. The simulation application allowed the recording of the times from the start of the evacuation to each user reaching the assembly point. The collection of such data and the observation of individual users in a virtual simulator made it possible to assess their preparation for an actual evacuation and their knowledge of how to proceed and follow evacuation procedures.

obserwacji na temat zachowania wszystkich użytkowników podczas ewakuacji.

Samo zdarzenie związane z rozpoczęciem ewakuacji oraz detekcja, czy wszyscy użytkownicy opuścili wirtualny budynek, były również realizowane programowo z zastosowaniem systemu kolide-rów w środowisku Unity. Ważnym elementem, wpływającym na realizm ewakuacji, było także umożliwienie kolizji poszczególnych awatarów pomiędzy sobą. Dało to możliwość zasymulowania takich zdarzeń jak: przechodzenie większej liczby użytkowników przez korytarze, obecność przejść o mniejszej szerokości lub przewężeń architektonicznych mogących utrudniać ewakuację. Reakcja na zderzenia postaci pomiędzy sobą pozwoliła również na zasymulowanie problemu mniejszej płynności ruchu użytkowników budynku podczas ewakuacji oraz wzajemne blokowanie się na klatkach schodowych lub przejściach. Po ogłoszeniu alarmu, sygnalizowanego w sposób dźwiękowy, użytkownicy rozpoczęli opuszczanie budynku wyznaczonymi drogami ewakuacyjnymi oraz reagowali w określony sposób na powstałe zdarzenia. Aplikacja symulacyjna pozwoliła na zapisywanie czasów od rozpoczęcia ewakuacji do osiągnięcia punktu zbiórki przez każdego z użytkowników. Zebranie takich danych oraz obserwacja poszczególnych użytkowników w wirtualnym symulatorze umożliwiły ocenę ich przygotowania do rzeczywistej ewakuacji oraz wiedzy na temat postępowania i przestrzegania procedur ewakuacyjnych.

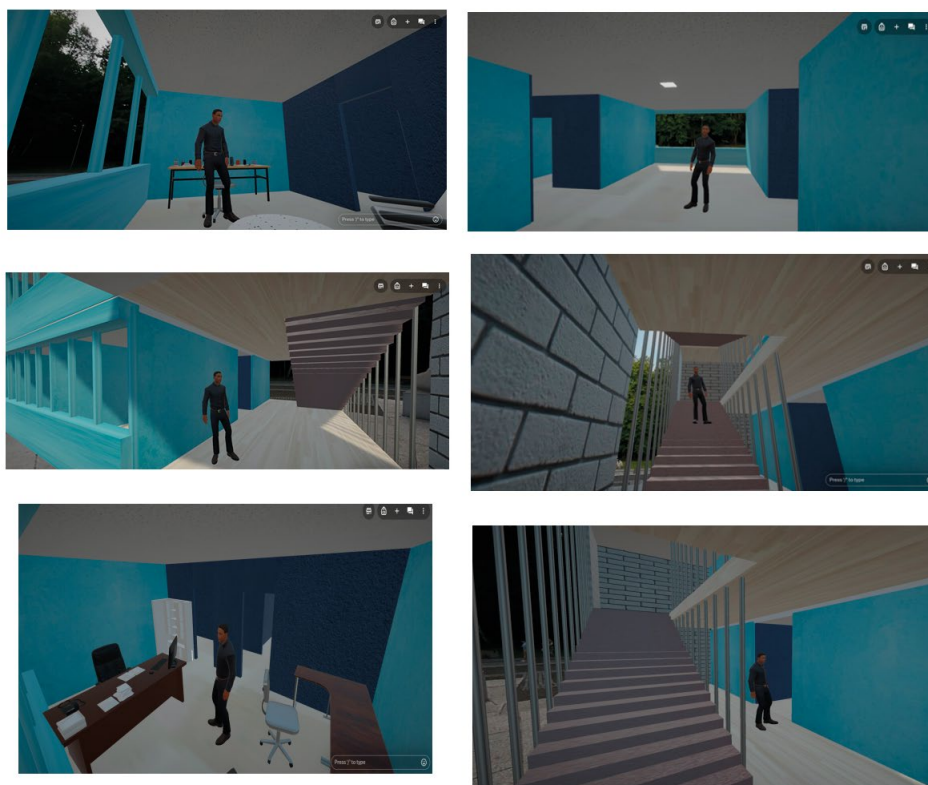


Figure 1. Screenshots of the simulator's proprietary application showing the virtual avatar's movement capabilities within the simulated building
Rycina 1. Zrzuty ekranowe autorskiej aplikacji symulatora obrazujące możliwości poruszania się wirtualnego awatara w obrębie symulowanego budynku

Source: Own elaboration based on Unity 3D environment.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie środowiska Unity 3D.

Experimental study carried out using a simulation implemented in the metaverse environment and obtained results

The study carried out to simulate the evacuation of people from a building used a model of a four-storey LIPSK-type building reflected in the Unity environment. It has been upgraded to serve as an office building for a production facility. The building was equipped with two staircases and two entrances, allowing redundant escape routes to be designated. The total floor area of the building is 3900 square metres. The building included office space, office and storage facilities, as well as a conference room. The focus of the simulation study was on those rooms where people are present while doing their work. As part of the simulation experiment, a virtual evacuation was carried out in a metaverse environment for 60 users of the application.

The purpose of the experiment was to demonstrate the usefulness of the metaverse environment in the area of its application in fire evacuation exercises in terms of learning the building topology and evacuation rules. In addition, it was verified that the additional information about incidents impeding evacuation and the provision of information about the new optimum exit route from the building would reduce the time needed to get people safely out of the danger area to the assembly area.

For the purposes of the simulation, it was necessary to propose a method for determining the exit route used during evacuation. Graph analysis methods were used to determine the evacuation route. The layout of the various rooms of the building and the possible transitions between them are reflected in the form of a graph. The vertices of the graph represent rooms, corridors, staircases and stairwells, while the directed edges represent opportunities to move between the respective rooms. In addition, large areas, such as corridors on the relevant floors, were presented as more nodes in the graph. This made it possible to mark a possible hazard along the corridor by assigning the relevant parameters to the node corresponding to the location in the corridor. This allows the location of potential passage obstructions to be more accurately reflected based on the graph.

During the graph analysis, the capabilities of the Neo4j graph database were used. This tool makes it possible to record not only the topology of the graph itself, but also the numerical or textual properties assigned to the nodes or edges, allowing the parameters of the exit routes to be reflected. A graph showing the topology of the building used for the experiment in the metaverse environment, together with the designated exit routes from the building is shown in Figure 2.

Badania eksperymentalne przeprowadzone przy użyciu symulacji zrealizowanej w środowisku metawersum i uzyskane wyniki

W przeprowadzonym badaniu symulacji ewakuacji osób z budynku wykorzystano odwziewiedlony w środowisku Unity model czterokondygnacyjnego budynku typu LIPSK. Został on zmodernizowany, aby mógł pełnić funkcję biurowca dla potrzeb zakładu produkcyjnego. Budynek wyposażono w dwie klatki schodowe i dwa wejścia, co umożliwiło wyznaczenie redundantnych dróg ewakuacji. Całkowita powierzchnia użytkowa budynku to 3900 metrów kwadratowych. W budynku znalazły się pomieszczenia biurowe, pomieszczenia biurowo-magazynowe, jak również sala konferencyjna. W badaniach symulacyjnych skupiono się na tych pomieszczeniach, w których przebywają ludzie podczas wykonywania swojej pracy. W ramach eksperymentu symulacyjnego przeprowadzono wirtualną ewakuację w środowisku metawersum dla 60 użytkowników aplikacji.

Celem eksperymentu było pokazanie przydatności środowiska metawersum w obszarze zastosowania go w ćwiczeniach ewakuacji przeciwpożarowej w zakresie poznania topologii budynku i zasad ewakuacji. Ponadto sprawdzono, czy dodatkowa informacja o zdarzeniach utrudniających ewakuację i przekazanie informacji o nowej optymalnej drodze wyjścia z budynku pozwoli na zmniejszenie czasu potrzebnego na bezpieczne wyprowadzenie ludzi z miejsca zagrożenia do strefy zbiórki.

Dla potrzeb symulacji konieczne było zaproponowanie metody wyznaczania drogi wyjścia z budynku użytej podczas ewakuacji. Do określenia drogi ewakuacji wykorzystano metody analizy grafu. Rozmieszczenie poszczególnych pomieszczeń budynku oraz możliwych przejść pomiędzy nimi zostało odwziewiedlone w postaci grafu. Wierzchołki grafu reprezentują pomieszczenia, korytarze, schody i klatki schodowe, natomiast krawędzie skierowane reprezentują możliwości przejścia pomiędzy odpowiednimi pomieszczeniami. Dodatkowo duże powierzchnie, takie jak korytarze na odpowiednich kondygnacjach, zostały w grafie zaprezentowane w postaci większej liczby węzłów. Dzięki temu możliwe stało się oznaczenie ewentualnego zagrożenia w ciągu korytarza poprzez przypisanie odpowiednich parametrów do węzła odpowiadającego lokalizacji w korytarzu. Pozwala to na dokładniejsze odwziewiedlenie na bazie grafu lokalizacji potencjalnych utrudnień w przejściu.

Podczas analizy grafu wykorzystano możliwości bazy danych grafowej Neo4j. Narzędzie to umożliwiło zapis nie tylko samej topologii grafu, ale również właściwości numerycznych lub tekstowych przypisanych do węzłów bądź krawędzi, pozwalających na odwziewiedlenie parametrów dróg wyjścia z budynku. Graf przedstawiający topologię budynku użytego do przeprowadzenia eksperymentu w środowisku metawersum, wraz z wyznaczonymi drogami wyjścia z budynku przedstawiono na rycinie 2.

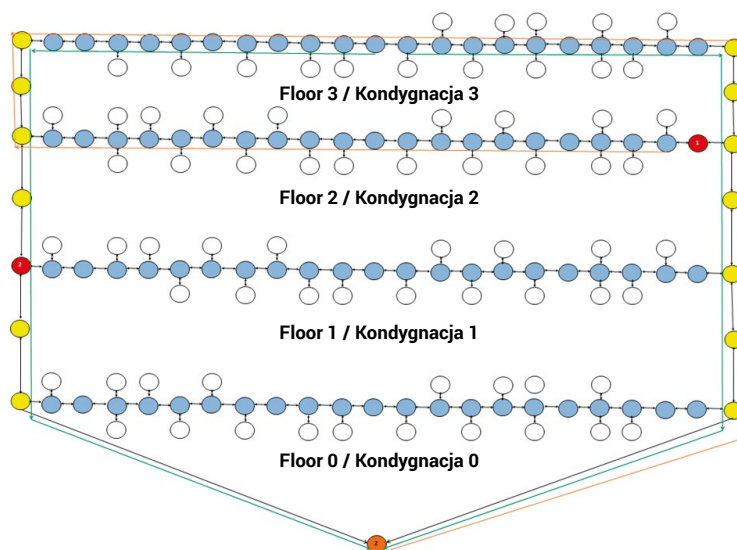


Figure 2. Graph showing the distribution of rooms in the building used for the analysis of the exit route
Rycina 2. Graf przedstawiający rozkład pomieszczeń w budynku użyty do analizy drogi wyjścia

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

The experiment was conducted in two scenarios.

Scenario 1. An evacuation from the building was announced. The users were deployed on the third floor and left the rooms going to the assembly area (represented in the graph by node Z).

Scenario 2. An evacuation of the building was announced. The occupants were deployed on the second floor of the building. During the evacuation, an impassibility was simulated in the stairwell and in the corridor on the second floor.

Each scenario was implemented in two variants:

- during evacuation, users were not kept informed of the optimum exit route at any given time,
- users were informed of the optimum exit route, which took into account both the location of the person in the building and obstacles on the escape route.

The first scenario involved the use of primary exit routes for occupants on floor 3. In this scenario, routes led through the corridor and stairwells. The roads are marked on the graph presented in Figure 2.

In the second scenario, events were simulated during exiting the building, which led to the blocking of the passage in the area of the nodes marked as node 1 and node 2 in Figure 1 (nodes marked in red in the graph). When determining the new path, a query to the Neo4j database was used to determine the shortest path between the nodes on floor 2 and the assembly point (node Z), bypassing node 1 and node 2. The new designated road is shown in orange in Figure 1.

During variant (a) of each experiment scenario, users were not informed via an additional information channel about their choice of exit route. Option (b) allowed a text message to be delivered to each user showing the way out. The optimal route in scenario one depended on the user's initial location. In scenario two, the optimal exit route changed as soon as the events blocking

Eksperyment został przeprowadzony w dwóch scenariuszach.

Scenariusz 1. Ogłoszenie ewakuacji z budynku. Użytkownicy byli rozlokowani na trzeciej kondygnacji i opuszczali pomieszczenia, udając się do strefy zbornej (reprezentowanej w grafie poprzez węzeł Z).

Scenariusz 2. Ogłoszenie ewakuacji budynku. Użytkownicy byli rozlokowani na drugiej kondygnacji budynku. Podczas ewakuacji zasymulowano brak możliwości przejścia na klatkę schodową oraz w korytarzu na drugiej kondygnacji.

Każdy ze scenariuszy został zrealizowany w dwóch wariantach:

- podczas ewakuacji użytkownicy nie byli informowani na bieżąco o optymalnej w danej chwili drodze wyjścia,
- użytkownicy zostali poinformowani o optymalnej drodze wyjścia, która uwzględniała zarówno lokalizację danej osoby w budynku, jak i przeszkody na drodze ewakuacji.

Pierwszy scenariusz zakładał skorzystanie z podstawowych dróg opuszczenia budynku dla osób przebywających na kondygnacji 3. W tym scenariuszu drogi prowadziły przez korytarz oraz klatki schodowe. Drogi zostały oznaczone na grafie zaprezentowanym na rycinie 2.

W drugim scenariuszu podczas opuszczania budynku zasymulowano powstanie zdarzeń, które doprowadziły do zablokowania przejścia w obszarze węzłów zaznaczonych na rycinie 1 jako węzeł nr 1 i węzeł nr 2 (węzły oznaczone w grafie kolorem czerwonym). Podczas wyznaczania nowej drogi zastosowano zapytanie do bazy danych Neo4j, które wyznaczało najkrótszą drogę pomiędzy węzłami na kondygnacji 2 a punktem zbornym (węzeł Z) z pominięciem węzła 1 i węzła 2. Nowa wyznaczona droga została przedstawiona na rycinie 1 kolorem pomarańczowym.

Podczas wariantu a) każdego ze scenariuszy eksperymentu użytkownicy nie byli informowani za pomocą dodatkowego kanału informacyjnego o wyborze drogi opuszczenia budynku.

the passage of the initial escape routes occurred, so users were informed of the designation of another route and guided by the provision of additional information. In the experiment, average evacuation times were assessed for both options and scenarios, as shown in Figure 3.

Wariant b) pozwalał na przekazanie informacji tekstowej każdemu z użytkowników, która wskazywała drogę wyjścia. Optymalna droga w scenariuszu pierwszym zależała od początkowej lokalizacji użytkownika. W scenariuszu drugim optymalna droga wyjścia zmieniła się zaraz po zajściu zdarzeń blokujących przejście początkowymi drogami ewakuacyjnymi, więc użytkownicy zostali poinformowani o wyznaczeniu innej drogi i pokierowani przez przekazanie dodatkowej informacji. W eksperymencie dla obydwu wariantów i scenariuszy oceniono średnie czasy ewakuacji, które zostały przedstawione na rycinie 3.

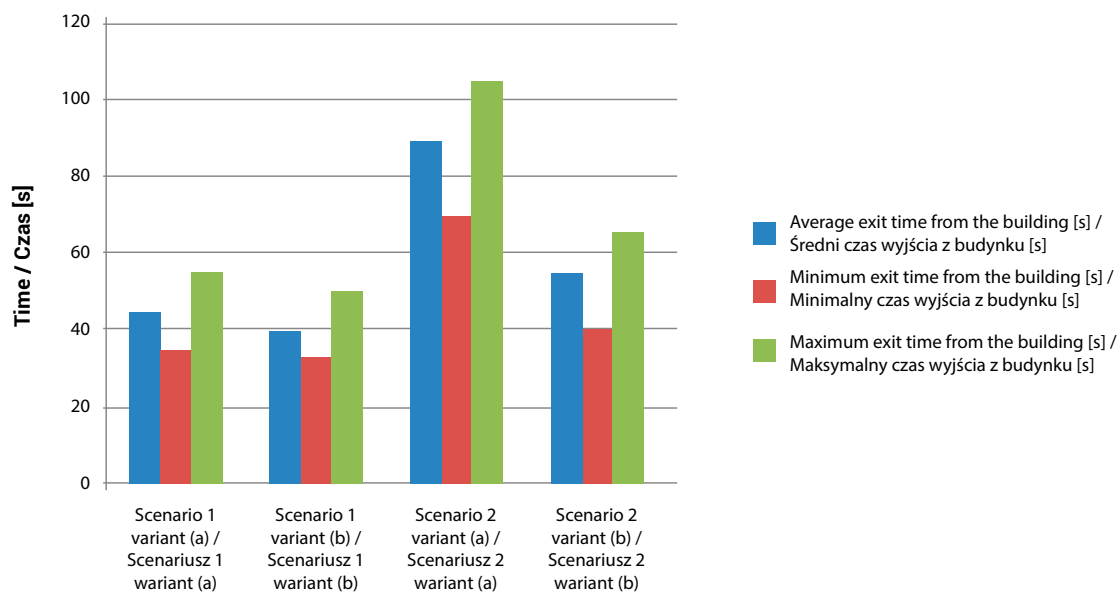


Figure 3. Times obtained for measuring the evacuation of people from the virtual building
Rycina 3. Uzyskane czasy pomiarów ewakuacji osób z wirtualnego budynku

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Discussion of results and research methods

The measured evacuation times from the building for Scenario 1a) and Scenario 1b) were similar. However, for variant (b), in which a precise indication of route choice was provided (with additional information), evacuation times were slightly reduced. This was due to the fact that in variant (a) some people took a suboptimal route, thus blocking the flow of traffic for other evacuees. Also noteworthy is the large difference between the minimum and maximum times for individual users. This had to do with the individuals' experience with VR technology, and thus their mastery of navigating the metaverse environment and controlling the avatars.

During the occurrence of additional blockage on the evacuation route, the differences in evacuation times between the different options were greater. This was due to the need to redirect users to a new evacuation route, as the standard one was unusable. When informed that the standard route was not available and advised of a new way out of the building, everyone chose

Dyskusja nad wynikami i metodami badawczymi

Zmierzone czasy ewakuacji z budynku w przypadku scenariusza 1a) i scenariusza 1b) były podobne. Jednak dla wariantu b), w którym przekazano (za pomocą dodatkowych informacji) dokładną wskazówkę na temat wyboru drogi, czasy ewakuacji uległy nieznacznemu skróceniu. Wynikało to z faktu, iż w wariantcie a) część osób wybrało nieoptymalną drogę, blokując tym samym płynność ruchu innych ewakuowanych. Na uwagę zasługuje również duża różnica pomiędzy czasem minimalnym a maksymalnym dla poszczególnych użytkowników. Miało to związek z doświadczeniem poszczególnych osób z technologią VR, a tym samym opanowaniem poruszania się w środowisku metawersum i sterowaniem awatarami.

Podczas wystąpienia dodatkowej blokady na drodze ewakuacji różnice czasów ewakuacji pomiędzy poszczególnymi wariantami były większe. Wynikało to z konieczności przekierowania użytkowników na nową trasę ewakuacji, gdyż standardowa była niemożliwa do wykorzystania. W przypadku otrzymania

the optimal route. Therefore, the experiment showed that providing additional information during an evacuation about the current situation improves the very process of people leaving the building and can lead to shorter evacuation times. Furthermore, the feasibility of different evacuation scenarios and testing in a metaverse environment was tested, which involved significantly lower costs for the company than if an actual evacuation was organised. When designing evacuation scenarios in a metaverse environment, scenarios can be tested that would not be feasible in the real world due to the introduction of additional danger for building occupants.

Conclusions

Virtual reality and metaverse environments offer great opportunities for simulations in various areas. They reduce simulation costs and, by using technologies such as digital twin, maintain the realism of simulation experiments. The solutions run on the metaverse platform additionally allow for introducing elements of human interaction, which in many experiments is necessary to achieve results that translate into reality. Trends in the use of VR technology also show this.

However, it must be remembered that the implementation of experiments in a simulated test environment cannot be a substitute method and the final results obtained must be confirmed in a real environment. One shortcoming of the applied simulation method is also the need to map real buildings and evaluation roads, which is a time-consuming process. A partial solution to this problem may be the use of additional tools to facilitate the preparation of simulation software, such as additional libraries or components – for example, ready-made models of office equipment. In order to achieve the greatest realism and compatibility of the virtual environment with the real facility, in most cases the work involved in mapping the simulation environment has to be done from scratch for the implementation of simulations in other buildings. To speed up the process of preparing the building model, modern scanning methods are planned [12]. These methods will allow a high degree of realism to be maintained, which will have an impact on future training mainly aimed at the services responsible for the safety of the building and, through their training, will lead to improved safety during evacuation.

informacji o niedostępności standardowej trasy i otrzymaniu wskazówek o nowej drodze wyjścia z budynku wszyscy wybrali optymalną trasę. Eksperyment wykazał więc, iż przekazanie dodatkowej informacji podczas ewakuacji o bieżącej sytuacji usprawnia sam proces wyjścia ludzi z budynku i może prowadzić do skrócenia czasów ewakuacji. Dodatkowo przetestowano możliwość realizacji różnych scenariuszy ewakuacyjnych i przeprowadzania testów w środowisku metawersum, co wiązało się ze znacznie mniejszymi kosztami dla przedsiębiorstwa niż w przypadku organizacji rzeczywistej ewakuacji. Podczas projektowania scenariuszy ewakuacji w środowisku metawersum można przetestować takie scenariusze, które nie byłyby możliwe do realizacji w świecie rzeczywistym ze względu na wprowadzenie dodatkowego niebezpieczeństwa dla użytkowników budynku.

Wnioski

Środowiska rzeczywistości wirtualnej oraz metawersum dają duże możliwości w zakresie przeprowadzania symulacji w różnych dziedzinach. Pozwalają one obniżyć koszty symulacji, a dzięki zastosowaniu technologii takich jak digital twin, utrzymują realizm eksperymentów symulacyjnych. Rozwiązania uruchamiane na platformie metawersum umożliwiają dodatkowo wprowadzenie elementów ludzkiej interakcji, co w wielu eksperymentach jest konieczne do osiągnięcia wyników mających przełożenie na rzeczywistość. Pokazują to również tendencje wykorzystania technologii VR.

Należy jednak pamiętać, iż realizacja eksperymentów w symulowanym środowisku badawczym nie może być metodą zastępczą, a uzyskane wyniki końcowe muszą być potwierdzone w rzeczywistym środowisku. Jednym z mankamentów zastosowanej metody symulacyjnej jest również konieczność odwzorowania rzeczywistych budynków i dróg ewaluacyjnych, co jest procesem czasochłonnym. Częściowym rozwiązaniem tego problemu może być wykorzystanie dodatkowych narzędzi, które ułatwią przygotowanie oprogramowania symulacyjnego, takich jak dodatkowe biblioteki czy komponenty – na przykład gotowe modele wyposażenia biurowego. Aby osiągnąć jak największy realizm i zgodność wirtualnego środowiska z rzeczywistym obiektem, w większości przypadków prace związane z odwzorowaniem środowiska symulacyjnego muszą być wykonane od nowa dla potrzeb realizacji symulacji w innych budynkach. W celu przyspieszenia procesu przygotowania modelu budynku planowane jest zastosowanie nowoczesnych metod skanowania [12]. Metody te pozwolą na zachowanie dużego stopnia realizmu, co wpłynie w przyszłości na realizację szkoleń kierowanych głównie do służb odpowiedzialnych za bezpieczeństwo budynku, a poprzez ich wyszkolenie doprowadzi do poprawy bezpieczeństwa podczas przeprowadzania ewakuacji.

Literature / Literatura

- [1] Rodriguez H., Quarantelli E.L., Dynes R., *Handbook of Disaster Research*, Springer-Verlag, New York 2007.
- [2] Roguski J., Chmielewski M., Wantoch-Rekowski R., *Zastosowanie symulacji wirtualnej do szkolenia w zakresie bezpieczeństwa użytkownika obiektu na przykładzie terminalu lotniczego*, *BiTP* Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 173–184, <https://doi.org/10.12845/bitp.43.3.2016.15>.
- [3] Lorusso P., De Iuliis M., Marasco S., Domaneschi M., Cimellaro G.P., Villa V., *Fire Emergency Evacuation from a School Building Using an Evolutionary Virtual Reality Platform*, "Buildings" 2022, 12, 223, <https://doi.org/10.3390/buildings120202>.
- [4] Xi M., Smith S.P., *Exploring the Reuse of Fire Evacuation Behaviour in Virtual Environments*, in: *Proceedings of the 11th Australasian Conference on Interactive Entertainment (IE 2015)*, Sydney, Australia, 27–30 January 2015.
- [5] Guo Y., Zhu J., Wang Y., Chai J., Li W., Fu L., Xu B., Gong Y., *A Virtual Reality Simulation Method for Crowd Evacuation in a Multiexit Indoor Fire Environment*, "ISPRS Int. J. Geo-Inf." 2020, 9(12), 750, <https://doi.org/10.3390/ijgi9120750>.
- [6] Xi M., Smith S.P., *Simulating cooperative fire evacuation training in a virtual environment using gaming technology*, "IEEE Virtual Reality (VR)" 2014, 139–140, <https://doi.org/10.1109/VR.2014.6802090>.
- [7] Martin V.B.S. et al., *Virtual Reality Simulations for Hospital Fire Evacuation: A Systematic Literature Review*, *22nd Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*, Porto de Galinhas, Brazil 2020, 313–320, <https://doi.org/10.1109/SVR51698.2020.00054>.
- [8] Hani S. et al., *The Metaverse: Survey, Trends, Novel Pipeline Ecosystem & Future Directions*, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.09240>.
- [9] Facebook Horisont Workroom, <https://forwork.meta.com/>, [dostęp: 1.12.2023].
- [10] Decentraland, <https://decentraland.org>, [dostęp: 1.12.2023].
- [11] spatial.io, <http://spatial.io>, [dostęp: 1.12.2023].
- [12] Palka D., Sobota M., Buchwald P., *3D Object Digitization Devices in Manufacturing Engineering Applications and Services*, "Multidisciplinary Aspects of Production Engineering" 2020, 3.1, 450–463, <https://doi.org/10.2478/mape-2020-0038>.

PAWEŁ BUCHWALD, PH.D. ENG. – specialist in the area of IT and ICT systems security engineering, research and teaching employee of the WSB Academy in Dąbrowa Górnicza and deputy head of the Department of Transport and Information Technology. He is a lecturer who teaches at the WSB Academy and the Silesian University of Technology, where he shares his knowledge of modern information technology. His research interests include ICT systems security engineering, distributed data processing and acquisition systems, computer graphics, as well as mobile device applications and computer management systems. He works actively with IT companies in the areas of design, implementation and deployment of modern software for business, industry and education.

DR INŻ. PAWEŁ BUCHWALD – specjalista w dziedzinie informatyki i inżynierii bezpieczeństwa systemów teleinformatycznych, pracownik naukowo-dydaktyczny Akademii WSB w Dąbrowie Górniczej oraz zastępca kierownika Katedry Transportu i Informatyki. Jest wykładowcą prowadzącym zajęcia w Akademii WSB i na Politechnice Śląskiej, gdzie dzieli się swoją wiedzą z zakresu nowoczesnych technologii informatycznych. Jego zainteresowania naukowe obejmują inżynierię bezpieczeństwa systemów teleinformatycznych, rozproszone systemy przetwarzania i akwizycji danych, grafikę komputerową, a także zastosowanie urządzeń mobilnych i komputerowe systemy zarządzania. Współpracuje aktywnie z firmami z branży IT w obszarach projektowania, implementacji i wdrażania nowoczesnego oprogramowania dla biznesu, przemysłu i edukacji.



Tłumaczenie na język angielski artykułów naukowych (także ich streszczeń), w tym artykułów recenzyjnych, w półroczniku „Safety & Fire Technology” – zadanie finansowane ze środków Ministerstwa Edukacji i Nauki w ramach programu „Rozwój Czasopism Naukowych” (umowa nr RCN/SP/0560/2021/1).