

Zastosowanie wirtualnej rzeczywistości w budownictwie w aspekcie szkoleń w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy – stan wiedzy

Application of the virtual reality in the construction industry in terms of health and safety training – state of the art

dr inż. Mariusz Szóstak (ORCID: 0000-0003-4439-6599), mgr inż. Mateusz Napiórkowski (ORCID: 0000-0002-6177-7767), Szkoła Doktorska, prof. dr hab. inż. Krzysztof Schabowicz (ORCID: 0000-0001-6320-9539), Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wrocławska

DOI: 10.5604/01.3001.0054.6401

Streszczenie: Od wielu lat branża budowlana charakteryzuje się wysokim stopniem zagrożenia dla pracowników budowlanych. Z uwagi na utrzymujące się niesprzyjające warunki pracy na terenie budowy przedsiębiorstwa budowlane stale rozwijają stosowane procedury w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy (BHP), które umożliwią wyeliminowanie lub ograniczenie możliwości zaistnienia wypadków oraz zdarzeń potencjalnie wypadkowych. Analiza stanu wiedzy wskazuje, że obiecującym wsparciem może być wdrożenie innowacyjnego rozwiązania jakim jest zastosowanie rzeczywistości wirtualnej w zakresie szkoleń BHP. W pracy omówiono dotychczasowe wyniki badań związane z zastosowaniem tej technologii.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo pracy, wirtualna rzeczywistość, budownictwo.

Abstract: For many years, the construction industry has been characterized by a high degree of danger for construction workers. Due to the persistently unfavorable working conditions on the construction site, construction companies are constantly developing the occupational health and safety (OHS) procedures in place to eliminate or reduce the possibility of accidents and near misses. An analysis of the state of the art indicates that a promising support may be the implementation of an innovative solution – the use of virtual reality in OSH training. The paper discusses previous research results related to the application of this technology.

Keywords: occupational health and safety, virtual reality, construction industry.

1. Wprowadzenie

Branża budowlana jest jedną z największych branż na świecie pod względem liczby zatrudnionych w niej pracowników [1]. Oferuje wiele różnych stanowisk pracy związanych z całym cyklem życia obiektów budowlanych: od projektowania po realizację, ale również utrzymanie obiektu [2] oraz opracowywanie nowych materiałów na potrzeby konstrukcyjne oraz wykończeniowe [3]. W procesie budowlanym okresem stwarzającym największe ryzyko zagrożenia dla życia pracownika jest etap realizacji. Pomimo wielu lat udoskonalania programów szkoleniowych oraz uświadamiania pracowników budownictwo mierzy się z wysoką liczbą wypadków i ofiar śmiertelnych [4, 5]. Celem prowadzonych badań jest analiza aktualnego stanu wiedzy dotyczącej zastosowania technologii wirtualnej oraz rozszerzonej rzeczywistości w branży budowlanej w zakresie szkoleń BHP.

2. Inicjatywy na rzecz bezpieczeństwa i higieny pracy w budownictwie

W Polsce powstaje wiele inicjatyw mających na celu ograniczenie liczby wypadków przy pracy w budownictwie, które wpisują się w ogólnopolski program, którego celem jest „zero wypadków” w budownictwie, zainicjowany przez wiodące przedsiębiorstwa budowlane – sygnatariuszy „Porozumienia dla bezpieczeństwa w budownictwie”. Prowadzone inicjatywy docelowo doprowadzić mają do wyeliminowania wypadków z polskich placów budów. Do takich inicjatyw trzeba zaliczyć między innymi: Konkurs Państwowej Inspekcji Pracy „Bezpieczna Budowa”, czy również cykl szkoleń „Bezpieczny Tydzień” organizowany przez wspomniane Porozumienie. W dzisiejszych czasach, w dobie cyfryzacji i nowinek technologicznych, tradycyjne metody szkoleń, polegające na uświadamianiu oraz poszerzaniu wiedzy pracowników w oparciu o wykłady czy seminaria przestają być wystarczające

i ciekawe dla ich uczestników. Szczególnie zauważalne jest to w przypadku młodszych inżynierów z pokolenia „Z”, których oczekiwania co do formy przekazywania wiedzy są coraz wyższe. Pokolenie „Z” to osoby urodzone po 1995 (do roku 2012), dopiero wkraczające na rynek pracy, dorastające w pełni scyfryzowanym społeczeństwie [6]. Mają oni potrzebę bycia zaangażowanym w proces nauki, nie chcą być pasywnymi słuchaczami, którzy siedzą na wykładzie i robią notatki, z których potem mogą czerpać wiedzę [7]. Jak wynika z raportu „Porozumienia dla bezpieczeństwa w budownictwie” to właśnie osoby z doświadczeniem do 1 roku są największą grupą doznającą wypadków podczas etapu realizacji prac [8]. Łącząc te dwa fakty (wymagania grupy oraz liczbę wypadków przy pracy w tej grupie) pracownicy pokolenia „Z” są obecnie jedną z najważniejszych grup zawodowych, do których trzeba obecnie dotrzeć, dostosowując metody prowadzenia szkoleń z zakresu bezpieczeństwa i higieny pracy, poprzez wprowadzenie innowacyjnych form kształcenia.

Na podstawie wcześniejszych badań rynku wśród pracowników branży budowlanej zauważalne jest duże zainteresowanie nowymi technologiami i innowacyjnymi rozwiązaniami, w tym również w zakresie prowadzenia szkoleń z zakresu bezpieczeństwa i higieny pracy [9]. Jedną z odpowiedzi sektora budowlanego w celu polepszenia jakości i efektywności szkoleń może być prowadzenie szkoleń w tym zakresie przy użyciu wirtualnej rzeczywistości. Przeprowadzone badania dotyczące zastosowania szkoleń indywidualnych (spersonalizowanych) dla pracowników budowlanych wykazały, że przed szkoleniem pracownicy byli w stanie zidentyfikować, średnio, tylko 42% zagrożeń występujących na stanowisku pracy, natomiast po odbyciu indywidualnego szkolenia byli w stanie rozpoznać do 77% zagrożeń [10].

3. Wirtualna rzeczywistość

Wirtualna rzeczywistość skutecznie wykorzystywana jest już w różnych sektorach i branżach gospodarki. Rozwiązania bazujące na jej wykorzystywaniu są obecne m.in. w architekturze [11], medycynie [12] oraz branży rozrywkowej [13].

Wirtualna rzeczywistość (ang. *virtual reality*) to komputerowo skonstruowane trójwymiarowe środowisko, które pozwala użytkownikowi na poruszanie się i interakcję, której wynikiem jest stymulacja jednego z pięciu zmysłów człowieka – najczęściej wzrok, słuch oraz dotyk [14]. Wirtualna rzeczywistość jest jedną z wielu możliwości, z dostępnego zakresu technik komputerowych, bazujących na cyfrowym przedstawieniu świata. Zakres kontinuum wirtualności (ang. *continuum reality*) [15], w skład którego wchodzi m.in. wirtualna rzeczywistość (ang. *virtual reality*) przedstawiono na rysunku 1.

Na pełne kontinuum składają się:

- środowisko realne (technologia RE – ang. *real environment*) – np. oglądanie filmu na ekranie,

- rozszerzona rzeczywistość (technologia AR – ang. *augmented reality*) – np. nakładanie wirtualnego modelu na obiekt istniejący,
- rozszerzona wirtualność (technologia AV – ang. *augmented virtuality*) – np. wykorzystanie istniejących obiektów w świecie wirtualnym,
- wirtualna rzeczywistość (technologia VR – ang. *virtual reality*) – np. użytkownik i jego percepcja zostają w pełni „przeniesione” do świata wirtualnego.



Rys. 1. Kontinuum wirtualności (ang. *continuum reality*)

Dzięki zastosowaniu wirtualnego środowiska do prowadzenia szkoleń pracownik budowlany może dokładnie zobaczyć, poczuć i „przeżyć” określone scenariusze, sytuacje wypadkowe i poznać jakie mogą nastąpić konsekwencje w przypadku nieprawidłowego zachowania się w środowisku pracy [6,16].

4. Przykładowe rozwiązania i zastosowania wirtualnej rzeczywistości

Stosowane obecnie rozwiązania wykorzystujące technologię wirtualnej rzeczywistości skupiają się na umieszczeniu uczestnika w wirtualnym środowisku, w którym ma do wykonania określone zadanie związane z bezpieczeństwem i higieną pracy podczas wykonywania pracy. Do stworzenia wirtualnego środowiska najczęściej wykorzystuje się platformę graficzną Unity, która jest obecnie najbardziej rozwiniętym i dojrzałym środowiskiem programistycznym, pozwalającym na budowę aplikacji [17–19].

I tak, jednym z przykładów zastosowania technologii VR/AR jest wykorzystanie rozszerzonej rzeczywistości/wirtualności do prezentacji potencjalnym inwestorom mieszkań z wyższych kondygnacji budynku, na które podczas etapu realizacji nie ma dostępu ze względów bezpieczeństwa, z wykorzystaniem zrealizowanych już mieszkań na niższym piętrze. Dzięki takiemu rozwiązaniu inwestor ma poczucie przebywania we własnym mieszkaniu, na docelowym piętrze, bez konieczności fizycznego wchodzenia na wyższe kondygnacje [20]. Wykorzystanie wirtualnej rzeczywistości VR wpisuje się w obecnie rozwijającą się technologię BIM (ang. *Building Information Modeling*) i może mieć zastosowanie np. podczas planowania prac montażowych [21] (panel CLT, ang. *Cross Laminated Timber* – drewno klejone krzyżowo). Do opracowanego modelu, wykonanego w technologii BIM, oraz wirtualnego środowiska wprowadzony został pracownik, który w wirtualnej formule ma za zadanie wykonać montaż elementu. Przykładowo w trakcie trwania montażu monitorowany jest sposób poruszania się monterza (m.in. lokalizacja w jakich miejscach

znajdował się pracownik podczas pracy; miejsca w których przebywał najdłużej, określenie miejsc, w których pracownik znajdował się tymczasowo, w których tylko przechodził itp.). Na tej podstawie możliwe było wyznaczenie dwóch stref: bezpiecznej oraz o podwyższonym ryzyku. W tym praktycznym zastosowaniu wirtualnej rzeczywistości, nie tylko osoba uczestnicząca w szkoleniu poszerza swoją wiedzę i umiejętności, ale również korzystają prowadzący badanie. Monter uczestniczący w badaniu nie zna się na prowadzeniu badań, tak samo jak prowadzący badania bardzo często nie zna się na montażu elementów i nie posiada praktycznych umiejętności.

5. Problemy i dalsze kierunki badań w zakresie zastosowania wirtualnej rzeczywistości

Analiza stanu wiedzy wskazuje, że w prowadzonych badaniach dotyczących zastosowania wirtualnej rzeczywistości główną grupę badanych stanowili studenci [7,19] i tylko w nielicznych przypadkach pracownicy budowlani [22], którzy stanowią docelową grupę do stosowania tego rozwiązania. Jak już wspomniano, stosowane innowacyjne rozwiązania prowadzenia szkoleń dają większe poczucie zaangażowania uczestnikowi i wpisują się w obecne oczekiwania młodych ludzi, ale należy pamiętać, że uzyskiwane wyniki wśród różnych grup wiekowych, w tym starszych pracowników, mogą różnić się między sobą i należy brać tę „różnorodność” pod uwagę planując przyszłe badania.

Najczęściej spotykaną formą badania skuteczności szkoleń prowadzonych w wirtualnej rzeczywistości są badania ankietowe, kwestionariusze badań, zbierane po zakończonym szkoleniu. Niestety, ale taka forma badań może być obciążona błędami związanymi z efektem „Hawthorne’a”, tj. tendencji ludzi do większego wysiłku i lepszych wyników, gdy są świadomi, że są pod obserwacją. Efekt ten wpływa na świadomość badanego, który wie, że uczestniczy w badaniu i ma to wpływ na jego odpowiedzi [23]. Osoba badana pod wpływem szkolenia zwiększa swoje umiejętności i wiedzę, niestety tylko na krótko po szkoleniu [24], dlatego badania powinny uwzględniać wpływ czasu od momentu zakończenia szkolenia. Ciekawym zagadnieniem jest zbadanie długofalowego wpływu stosowania tej formy szkolenia, np. w danym przedsiębiorstwie lub na danym terenie budowy.

Na szkolenie w wirtualnej rzeczywistości istotny wpływ ma również jakość modelu [7], rozumiana jako odwzorowanie rzeczywistości, która przy niskiej jakości może oddziaływać negatywnie na odbiór przez uczestników, pomimo dużej wartości merytorycznej. Na tej podstawie można wysunąć wniosek, że korzystniejsze jest zaimplementowanie mniejszej liczby scenariuszy, ale o wyższej jakości. Stwierdzenie to należy jednak potwierdzić poprzez kontynuowanie analiz nad tym zjawiskiem i zbadanie wpływu jakości modelu na efektywność szkolenia.

Istotny wpływ na szkolenia w wirtualnym środowisku ma czas ich trwania. Uczestnicy jednego z przeprowadzonych badań

wskazali, że długość trwania szkolenia stanowi jeden z aspektów, który może wpłynąć na ich niekorzyść. Na podstawie przeprowadzonych badań [7] określono optymalną długość trwania szkolenia: od 5 do 7 minut, tak aby szkolenie było skuteczne dla uczestnika i nie wywoływało niekorzystnych skutków. Jednym z zagrożeń szkolenia w wirtualnej rzeczywistości jest możliwość wystąpienia choroby lokomocyjnej u osoby odbywającej szkolenie, którą zgłaszali uczestnicy w badaniach. Niestety brakuje obecnie odpowiednich narzędzi i badań [25], aby można było wskazać przyczynę jej występowania oraz opracować sposób zapobiegania wystąpienia tej choroby. Jest to obszar dopiero odkrywany, w którym brakuje badań i wymaga on kolejnych prac [26]. Należy pamiętać, że wirtualna rzeczywistość jest jedynie formą prowadzenia szkoleń, ale to treść jest najważniejszym czynnikiem podczas szkolenia. Badania [7] wskazują, że szkolenie trwające ponad 10 minut jest nieatrakcyjne dla uczestników. Jest to ważna wskazówka, którą należy brać pod uwagę przy opracowywaniu nowych scenariuszy i systemów szkoleniowych. Pamiętać należy również, że scenariusze szkoleniowe powinny być dynamiczne i wymagać od uczestnika dużej ilości interakcji, aby stanowić dla niego wartość merytoryczną.

6. Podsumowanie

Potencjał wirtualnej rzeczywistości jest bardzo duży. Już w 1998 roku podjęto pierwsze próby wykorzystania tej technologii w aplikacji Lightning [27] stosowanej w architekturze. Pomimo wyzwań stojących przed branżą i badaczami warto rozwijać tę technologię w budownictwie w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy. Życie ludzkie jest największą wartością. Niestety wciąż dochodzi do wypadków śmiertelnych na polskich budowach i w gestii całej branży jest szukanie nowych rozwiązań, które skutecznie zmniejszą ich liczbę. Na podstawie aktualnego stanu wiedzy, zaprezentowanego w pracy, zauważyć można pozytywny wpływ szkoleń z użyciem wirtualnej rzeczywistości na umiejętności osób szkolonych i zdaniem autorów powinny one być wciąż rozwijane i dostosowywane do różnych branż, w tym również do budownictwa.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Rostami A., Sommerville J., Wong I. L., Lee C., Risk management implementation in small and medium enterprises in the UK construction industry, *Engineering, Construction and Architectural Management*, tom 22, 2015, str. 91–107
- [2] Plebankiewicz E., Zima K., Wieczorek D., Life cycle cost modeling of buildings with consideration of the risk, *Archives of Civil Engineering* 2/2016, str. 149–166
- [3] Borek K., Czapik P., Dachowski R., Cement Bypass Dust as an Ecological Binder Substitute in Autoclaved Silica–Lime Products, *Materials* 16, 2023, str. 316
- [4] Drozd W., Klimczak W., Analiza wypadków budowlanych jako zdarzeń niezamierzonych, *Przegląd Budowlany* 9–10/2022, str. 84–89
- [5] Wasilewski M., Stan BHP w polskim sektorze budowlanym, <https://builder4future.pl/2022/08/09/stan-bhp-w-polskim-sektorze-budowlanym/>, (dostęp: 26.02.2023)
- [6] Rykła Z., Kinala J., Socjologia codzienności jako niebanalności, *Stowarzyszenie Naukowe Przeszłość Społeczna i Środowisko*, Rzeszów, 2016, ISBN: 978-83-64879-01-2

- [7] Azhar S., Han D., Dastider S., Immersive VR Modules for Construction Safety Education of Generation Z Students, Associated Schools of Construction Proceedings of the 56th Annual International Conference – EPIC Series in Built Environment 1/2020, str. 482–490
- [8] Raport Budownictwo polskie w latach 2009–2019, listopad 2020, Warszawa
- [9] Szóstak M., Napiórkowski M., Analiza możliwości zastosowania wirtualnej rzeczywistości w szkoleniach BHP w budownictwie, Przegląd Budowlany 9–10/2022, str. 138–140
- [10] Jeelani I., Albert A., Azevedo R., Jaselskis E., Development and Testing of a Personalized Hazard-Recognition Training Intervention, Journal of Construction Engineering and Management, tom 143, 2017, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001256](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001256)
- [11] Zhou W., Whyte J., Sacks R., Construction safety and digital design: A review, Automation in Construction 22, 2012, str. 102–111, <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2011.07.005>
- [12] Cannon W. D., Garrett Jr. W. E., Hunter R. E., Sweeney H. J., Eckhoff D. G., Nicandri G. T., Hill J. A., Improving residency training in arthroscopic knee surgery with use of a virtual-reality simulator: a randomized blinded study, The Journal of Bone and Joint Surgery 96(21)2014, str. 1798–1806, <http://dx.doi.org/10.2106/JBJS.N.00058>.
- [13] Dickinson J. K., Woodard P., Canas R., Ahamed S., Lockston D., Game-based trench safety education: development and lessons learned, Journal of Information Technology in Construction, tom 16, 2011, str. 119–134, <http://www.itcon.org/2011/8>
- [14] Guttentag D. A., Virtual Reality: Applications and Implications for Tourism, Tourism Management 31(5)2010, str. 637–651
- [15] Milgram P., Kishino F., A Taxonomy of Mixed Reality, Transactions on Information Systems, tom E77-D, 12/1994
- [16] Szóstak M., Napiórkowski M., Wirtualna rzeczywistość w szkoleniach BHP w budownictwie – obawy i oczekiwania, Builder 308(3)2023, str. 16–19, DOI: 10.5604/01.3001.0016.2680
- [17] Cheng J., Mendes L., Gheisari M., Jeelani I., Construction Worker-Drone Safety Training in a 360 Virtual Reality Environment: A Pilot Study, ASC2022. 58th Annual Associated Schools of Construction International Conference – EPIC Series in Built Environment 3/2022, str. 19–28
- [18] Bhoir S., Esmaili B., State-of-the-Art Review of Virtual Reality Environment Applications in Construction Safety, AEI 2015, str. 457–468
- [19] Jeelani I., Han K., Albert A., Development of virtual reality and stereo-panoramic environments for construction safety training, Engineering, Construction and Architectural Management, 2020
- [20] Alvanchi A., Didehvar N., Jalilehvand M., Adami P., Shahmir S., Semi-augmented Reality, A Novel Approach to Improve Customer Safety in Pre-sale Process of under Construction Buildings, International Journal of Engineering, tom 34, 10/2021, str. 2198–2205
- [21] Getuli V., Capone P., Bruttini A., Isaac S., BIM-based immersive Virtual Reality for construction workspace planning: A safety-oriented approach, Automation in Construction 114, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103160>
- [22] Rokooei S., Shojaei A., Alvanchi A., Azad R., Didehvar N., Virtual reality application for construction safety training, Safety Science 157, 2023, str. 105925
- [23] McCarney R., Warner J., Iliffe S., van Haselen R., Griffin M., Fisher P., The Hawthorne Effect: a randomised, controlled trial, BMC Medical Research Methodology 7/2007, <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2288-7-30>
- [24] Donovan J. J., Radosevich D. J., A meta-analytic review of the distribution of practice effect: Now you see it, now you don't, Journal of Applied Psychology 84(5)1999, str. 795–805, <https://doi.org/10.1037/0021-9010.84.5.795>
- [25] Kim H., Park J., Choi Y., Choe M., Virtual reality sickness questionnaire (VRSQ): Motion sickness measurement index in a virtual reality environment, Applied Ergonomics 69, 2018, str. 66–73,
- [26] Chattha U., Janjua U., Anwar F., Madni T., Cheema M., Janjua S., Motion Sickness in Virtual Reality: An Empirical Evaluation, IEEE Access, 8/2020, str. 130486–130499, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3007076
- [27] Blach R., Landauer J., Rosch A., Simon A., A highly flexible virtual reality system, Future Generation Computer Systems 14, 1998, str. 167–178



VII Ogólnopolska Konferencja Naukowa
„Budownictwo – Infrastruktura – Górnictwo”
24–25 października 2024 r.
Kraków, Politechnika Krakowska

„Zrównoważony rozwój w geoinżynierii i na terenach górniczych”

Serdecznie zapraszamy na VII Konferencję „Budownictwo – Infrastruktura – Górnictwo” organizowaną przez Katedrę Geotechniki i Wytrzymałości Materiałów oraz Katedrę Mechaniki Budowli i Materiałów Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej. Tegoroczna edycja odbędzie się w Krakowie w dniach 24–25 października 2024 r.

Tematem przewodnim konferencji będzie zrównoważony rozwój w geoinżynierii i na terenach górniczych. Patronat honorowy nad konferencją objęli Rektor Politechniki Krakowskiej, Prezes Wyższego Urzędu Górniczego, Komisja Budownictwa PAN, Polski Komitet Geotechniki, Polska Grupa Inżynierii Sejsmicznej i Parasejsmicznej, Polski Komitet Geologii Inżynierskiej i Środowiska oraz Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa. Patronat medialny nad konferencją objęło nasze czasopismo „Przegląd Budowlany”.

W ramach tegorocznej VII edycji zaplanowano dwa dni obrad i dyskusji, popularyzujących współpracę branży naukowej oraz przedsiębiorstw branży budowlanej, geotechnicznej i górniczej. Tematyka konferencji obejmuje m.in.: wpływ górnictwa na infrastrukturę budowlaną i środowisko, oddziaływania drgań sejsmicznych na budynki, monitorowanie i zabezpieczanie konstrukcji liniowych, zagrożenia osuwiskowe oraz techniki modyfikacji podłoża gruntowo-skalnego. Udział w konferencji to niepowtarzalna okazja do spotkania i wymiany poglądów z wybitnymi specjalistami z dziedziny górnictwa, geotechniki oraz budownictwa, zarówno z nauki, jak i przemysłu.

Szczegółowe informacje znajdziecie Państwo na oficjalnej stronie konferencji www.19.wil.pk.edu.pl/konferencja-big.