

Wirtualne środowisko szkoleniowe dla zrobotyzowanych i zautomatyzowanych terenów budowy

Virtual training environment for robotic and automated construction sites

dr inż. Mariusz Szóstak (ORCID: 0000-0003-4439-6599), prof. dr hab. inż. Bożena Hoła (ORCID: 0000-0001-6630-8065), dr inż. Tomasz Nowobilski (ORCID: 0000-0002-0599-7108), Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, dr inż. Piotr Grzempowski (ORCID: 0000-0003-0162-8759), Wydział Górnictwa, Geologii i Geoinżynierii, Politechnika Wrocławska

DOI: 10.5604/01.3001.0053.9393

Streszczenie: Nieustanny postęp technologiczny prowadzi do coraz większego uzależnienia pracowników budowlanych od zrobotyzowanych i zautomatyzowanych maszyn budowlanych. Pomimo wielu korzyści płynących z automatyzacji i robotyzacji sektora budowlanego istnieje wiele zagrożeń związanych ze stosowaniem zaawansowanych technologii. Pojawiające się nowe zagrożenia, które wynikają z interakcji maszyna/robot-człowiek, mogą zostać zminimalizowane poprzez poprawę jakości prowadzonych szkoleń pracowników. Jedną z możliwości podniesienia jakości takiego procesu jest prowadzenie szkoleń w warunkach wirtualnej rzeczywistości. W artykule przedstawiono wirtualne środowisko szkoleniowe dla zrobotyzowanych i zautomatyzowanych terenów budowy oraz wyniki uzyskane na podstawie kursu pilotażowego przeprowadzonego w ramach projektu o akronimie SafeCROBOT.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo pracy, wirtualna rzeczywistość, budownictwo, kurs pilotażowy.

Abstract: Constant technological progress leads to an increasing dependence of construction workers on robotic and automated construction machines. Despite the many benefits of automation and robotization in the construction sector, there are many risks associated with the use of advanced technologies. Emerging new threats resulting from machine/robot-human interaction can be minimized by improving the quality of employee training. One of the possibilities to improve the quality of such a process is to conduct training in virtual reality. The article presents a virtual training environment for robotic and automated construction sites and the results obtained on the basis of a pilot course conducted as part of the project acronym SafeCROBOT.

Keywords: occupational safety, virtual reality, construction, pilot course.

1. Wprowadzenie

Z każdym rodzajem działalności ludzkiej związane jest ryzyko pojawienia się niebezpiecznych zdarzeń zagrażających życiu i zdrowiu człowieka. Niebezpieczne zdarzenia prowadzą do wypadków przy pracy, których skutkiem mogą być straty materialne, urazy o różnym stopniu ciężkości, a nawet śmierć pracownika. Z ustaleń inspektorów pracy wynika, że wśród przyczyn wypadków przy pracy zaistniałych w 2021 r., dominującą grupę stanowiły przyczyny ludzkie (46,7%), następnie organizacyjne (36,8%) oraz techniczne (16,5%). Spośród przyczyn ludzkich dominowało nieprawidłowe zachowanie się pracownika, w tym nieznanostwo lub lekceważenie przepisów oraz zasad bezpieczeństwa i higieny pracy.

Kontrole Państwowej Inspekcji Pracy w Polsce dotyczące bezpieczeństwa pracy w budownictwie wykazały, że najwięcej nieprawidłowości występuje w obszarze związanym z przygotowaniem pracowników do wykonywania tych prac. Poważnym problemem, z jakim spotykają się inspektorzy pracy,

jest niska skuteczność systemu szkoleń w Polsce w dziedzinie BHP, brak u pracowników dostatecznej wiedzy w zakresie obowiązujących przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy wynikających m.in. z ustawy [1] i rozporządzeń [2, 3] oraz wiedzy o długotrwałych skutkach pracy w narażeniu na czynniki niebezpieczne występujące na terenie budowy. Ponadto zauważalna jest niska jakość szkoleń, niegwarantująca uzyskania niezbędnej wiedzy, zwłaszcza specjalistycznej, dotyczącej organizacji prac na terenie budowy. Pracownicy uzyskują zaświadczenie o ukończeniu szkolenia, głównie w zakresie wiedzy ogólnej, przekazywanej często w sposób powierzchowny.

Głównym celem projektu było opracowanie innowacyjnego, angażującego i interaktywnego środowiska szkoleniowego opartego na technologii wirtualnej rzeczywistości, które pozwoli na przekazywanie pracownikom budowlanym niezbędnych umiejętności i wiedzy w zakresie interakcji z zautomatyzowanymi i zrobotyzowanymi maszynami budowlanymi. Celem artykułu jest przedstawienie

możliwości zastosowania nowoczesnej technologii wirtualnej rzeczywistości do prowadzenia szkoleń z zakresu bezpieczeństwa pracy.

2. Zastosowanie wirtualnej rzeczywistości do szkoleń pracowników na terenie budowy

Wirtualna rzeczywistość jeszcze do niedawna kojarzona była głównie ze obszarem rozrywki, w szczególności z grami komputerowymi [4]. Obecnie wirtualna rzeczywistość wkracza do wielu branż i zyskuje popularność w dziedzinie szkoleń w zakresie poprawy bezpieczeństwa i higieny pracy [5]. Jednym z kierunków zastosowań wirtualnej rzeczywistości są także narzędzia edukacyjne, które wspomagają proces szkolenia dotyczący zróżnicowanych stanowisk pracy [6].

Głównym celem szkoleń, również zajęć praktycznych, jest uzupełnienie i doskonalenie posiadanych umiejętności i kwalifikacji zawodowych. Niezależnie od przyjętej formy szkoleń (instruktaż, kurs, samokształcenie kierowane, seminarium), aby osoba ucząca się osiągnęła określone w karcie zajęć (szkolenia) efekty uczenia się, kształcenie powinno być prowadzone w warunkach jak najbardziej przypominających rzeczywiste warunki pracy i w sposób interesujący oraz angażujący dla uczestników.

W dzisiejszych czasach, w dobie cyfryzacji oraz nowinek technologicznych, tradycyjne metody szkoleń, polegające na uświadamianiu oraz poszerzaniu wiedzy pracowników w oparciu tylko o wykłady czy seminaria przestają być wystarczające i ciekawe dla ich uczestników. Szczególnie zauważalne jest to w przypadku młodszych inżynierów, pracowników z tzw. pokolenia „Z”, których oczekiwania odnośnie do formy przekazywania wiedzy są coraz wyższe [7]. Mają oni potrzebę bycia zaangażowanym w proces nauki i nie chcą być tylko pasywnymi słuchaczami [8]. Przeprowadzone badania potwierdzają, że uczestnicy szkoleń z zakresu bezpieczeństwa na placu budowy, prowadzonych z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości, chętnie uczestniczą w tego rodzaju szkoleniach [9].

3. Wirtualne środowisko szkoleniowe dla zrobotyzowanych i zautomatyzowanych terenów budowy

W ramach projektu badawczego nr 2020-1-UK01-KA202-079176 „Virtual reality immersive safety training environment for robotised and automated construction sites”, finansowanego przez europejski program ERASMUS+, opracowano immersyjne i interaktywne narzędzie szkoleniowe oparte na wirtualnej rzeczywistości. Projekt realizowany był w latach 2020–2022 przez następujące instytucje: University of the West of England, Bristol (Wielka Brytania), Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales, Murcia (Hiszpania), Bildungszentren des Baugewerbes e.V, Krefeld (Niemcy) i Politechnikę Wrocławską (Polska).

Dzięki interdyscyplinarności zespołu projektowego, w którego składzie znajdowali się zarówno eksperci ds. bezpieczeństwa i higieny pracy oraz programiści, możliwe było opracowanie scenariuszy szkoleniowych, związanych ze zautomatyzowanymi i zrobotyzowanymi terenami budów, obejmujących pracę bezzałogowego statku powietrznego (drona), autonomicznego pojazdu transportowego, robota wyburzeniowego oraz koparki. W opracowanych scenariuszach szkoleniowych uwzględniono przepisy bezpieczeństwa i higieny pracy oraz dobre praktyki, tj. działania dążące do ograniczenia narażenia pracowników na zagrożenia i zmniejszania wypadkowości. Opracowanych zostało dziesięć różnych scenariuszy:

- scenariusz 1: dron – przygotowanie do lotu bezzałogowym statkiem powietrznym na terenie budowy w ciągu dnia,
- scenariusz 2: dron – lot bezzałogowym statkiem powietrznym podczas sprzyjających warunków atmosferycznych,
- scenariusz 3: dron – lot bezzałogowym statkiem powietrznym podczas niesprzyjających warunków atmosferycznych,
- scenariusz 4: dron – przygotowanie do lotu bezzałogowym statkiem powietrznym na terenie budowy w nocy,
- scenariusz 5: autonomiczny pojazd transportowy – warunki panujące wewnątrz budynków (w pomieszczeniach) na terenie budowy,
- scenariusz 6: autonomiczny pojazd transportowy – warunki panujące na terenie budowy,
- scenariusz 7: zdalnie sterowany robot wyburzeniowy – praca w zamkniętej przestrzeni,
- scenariusz 8: zdalnie sterowany robot wyburzeniowy – postępowanie z robotami wyburzeniowymi na zewnątrz budynku (na terenie budowy),
- scenariusz 9: zdalnie sterowany robot wyburzeniowy – postępowanie z robotami wyburzeniowymi wewnątrz budynku (w pomieszczeniach),
- scenariusz 10: zdalnie sterowane maszyny budowlane (koparka) – praca na terenie budowy.

Każdy z opracowanych scenariuszy dotyczy pojedynczego zastosowania wybranego zautomatyzowanego lub zrobotyzowanego sprzętu podczas prowadzenia prac budowlanych. Aplikacja została opracowana w języku angielskim, hiszpańskim, niemieckim oraz polskim.

Do opracowania narzędzia szkoleniowego zastosowano następujące oprogramowanie:

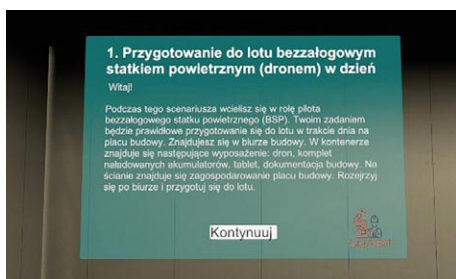
- Autodesk Revit – oprogramowanie do modelowania informacji o budynku dedykowane dla architektów, inżynierów, projektantów, wykonawców robót,
- Blender – oprogramowanie dedykowane do przetwarzania, modelowania, renderowania, animacji grafik 3D,
- Unity3D – oprogramowanie do tworzenia gier wieloplatformowych oraz aplikacji/systemów w widoku trójwymiarowym (3D). Do opracowania narzędzia szkoleniowego zastosowano jeden z powszechnie stosowanych silników gier, jako środowisko odpowiednie dla tego typu narzędzi.

Do użycia narzędzia szkoleniowego niezbędny jest:

- komputer do zainstalowania i uruchomienia narzędzia szkoleniowego: SafeCRobot,
- urządzenie do wirtualnej rzeczywistości gogle VR, np. Oculus Rift S lub wyższe.

• kabel pozwalający na połączenie gogli VR do komputera. Po uruchomieniu aplikacji użytkownik zostaje przeniesiony do wirtualnego pomieszczenia, w którym zostaje mu zaprezentowane menu główne z podstawowymi danymi o projekcie oraz aplikacji, interfejs wyboru języka oraz interfejs wyboru scenariusza, z krótkim jego opisem. Następnie użytkownik wybiera scenariusz, który ma zostać uruchomiony. Po uruchomieniu wybranego scenariusza pojawia się okno powitalne wraz z informacją o scenariuszu (rys. 1). W trakcie scenariusza osoba szkolona ma możliwość poruszania się za pomocą teleportacji oraz interakcji z niektórymi obiektami wirtualnymi. Teleportacja ułatwia korzystanie ze scenariuszy, ponieważ pozwala przenieść się użytkownikowi bezpośrednio w obszar działania, bez konieczności fizycznego przemieszczania się. Sterowa-

Rys. 1.
Informacja
o przykładowym scenariuszu



Rys. 2 Okno
z pytaniami dla
przykładowego
scenariusza
nr 2



nie położeniem w środowisku wirtualnym oraz interakcja z obiektami odbywa się za pomocą przycisków na kontrolerach. Podczas realizacji scenariusza wyświetlone zostaje okno z pytaniami, na które użytkownik musi udzielić odpowiedzi w oparciu o obserwację otoczenia oraz posiadaną i zdobytą wiedzę (rys. 2). Dla każdego scenariusza przygotowanych jest 5 pytań. Na zakończenie, na podstawie udzielonych odpowiedzi, wyświetlany jest wynik szkolenia. Szkolenie uznaje się za zaliczone, jeżeli uczestnik udzieli poprawne odpowiedzi na wszystkie pytania zawarte w scenariuszu. W przypadku niepowodzenia osoba szkolona może ponownie przystąpić do scenariusza i wypełnić test raz jeszcze lub wrócić do głównego menu i uruchomić inny scenariusz.

4. Scenariusze szkoleniowe na przykładzie bezzałogowego statku powietrznego

Opracowana aplikacja bazuje na różnych scenariuszach (1–10) zawierających: opis scenariusza, wirtualne środowisko oraz test wiedzy do rozwiązania dla uczestnika szkolenia. W każdym scenariuszu uczestnik szkolenia wciela się w rolę operatora, w zależności od scenariusza: drona, pojazdu transportowego, robota wyburzeniowego lub kopalarki. Poszczególne scenariusze opracowano w taki sposób, aby odzwierciedlały one odmienne warunki pracy, a test wiedzy opracowany został tak, aby swoim zakresem obejmował różnorodne sytuacje. I tak np. scenariusze 1–4 dotyczą obsługi, przez uczestnika szkolenia, bezzałogowego statku powietrznego i obejmują następujące zagadnienia: przygotowanie do lotu dronem na terenie budowy w ciągu dnia (scenariusz 1) oraz w trakcie nocy (scenariusz 4), a także lot dronem podczas sprzyjających (scenariusz 2) oraz niesprzyjających warunków atmosferycznych (scenariusz 3).

Celem scenariuszy 1 i 4 jest pokazanie uczestnikom szkolenia, w jaki sposób należy przygotować się do pracy z dronem, w zależności od pory prowadzenia prac, w dzień lub w nocy. Przed przystąpieniem do testu sprawdzającego wiedzę, uczestnik szkolenia ma za zadanie rozejrzeć się po pomieszczeniu, w którym się znajduje (kontener budowlany) i zdecydować, które elementy są niezbędne do prawidłowego zaplanowania i wykonania nalotu. Podczas udzielania odpowiedzi na pytania testowe uczestnik szkolenia pytany jest m.in. o uprawnienia zezwalające obsługę drona, niezbędne oznakowanie podczas prowadzenia nalotu w dzień oraz w nocy itp.

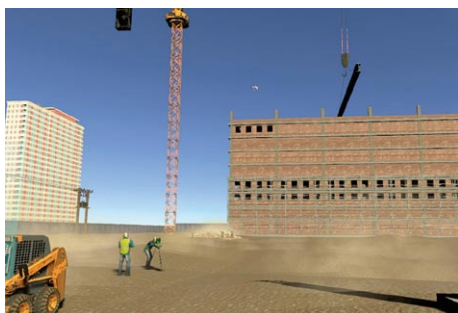
Z kolei celem scenariuszy 2 i 3 jest pokazanie uczestnikom szkolenia, w jaki sposób należy, w sposób bezpieczny, wykonywać nalot na terenie budowy, w zależności od panujących warunków atmosferycznych (sprzyjających/niesprzyjających). W trakcie tego scenariusza uczestnik szkolenia (ponownie operator drona) znajduje się na terenie budowy nowo wznoszonego, wielokondygnacyjnego budynku. W otoczeniu widoczne jest zaplecze budowy, żuraw wieżowy, maszyny budowlane oraz inni pracownicy, co zostało przedstawione na rysunku 3.

W tych scenariuszach w przestrzeni powietrznej porusza się dron. W lewej dłoni uczestnik szkolenia trzyma wirtualny kontroler, za pomocą którego ma podgląd m.in. do kamery zamontowanej na dronie. Scenariusze pozwalają na pełną obserwację terenu budowy (360°). Podczas sprawdzenia wiedzy uczestnik szkolenia pytany jest m.in. o zachowanie podczas sytuacji awaryjnych, np. jak należy się zachować w sytuacji, kiedy pilot straci widok z kamery drona lub w momencie pojawienia się na kontrolerze komunikatu o niskim poziomie akumulatorów/baterii.

Wszystkie opracowane scenariusze mają nauczyć i utrwalić u uczestników szkolenia wiedzę na temat bezpiecznej pracy

Rys. 3.

Przykładowe otoczenie dla scenariusza 2 i 3 (źródło: aplikacja SafeCROBOT)



na zautomatyzowanych i zrobotyzowanych terenach budowy oraz prawidłowe zachowanie się na stanowisku pracy. Opracowany sposób szkolenia pozwala na zwiększenie poziomu realności odczuć.

5. Kurs pilotażowy wykorzystujący aplikację SafeCROBOT

W okresie od marca do maja 2023 roku zostały przeprowadzone pilotażowe kursy wśród studentów Politechniki Wrocławskiej kierunków: budownictwo oraz bezpieczeństwo i higiena pracy z wykorzystaniem opracowanej aplikacji szkoleniowej SafeCROBOT. W kursach łącznie udział wzięło 100 osób. Wszyscy uczestnicy, biorący udział w kursach, zostali poproszeni o wypełnienie opracowanego przez zespół projektowy kwestionariusza badań. Większość badanych stanowili mężczyźni, w wieku 22 lata, co odpowiada osobom znajdującym się na 3 roku studiów inżynierskich. Wszystkie osoby biorące udział w szkoleniu pozytywnie zaliczyły szkolenie.

Po odbytych szkoleniu wszyscy uczestnicy zostali poproszeni o wypełnienie kwestionariusza oceniającego odbyte szkolenie. Uczestnicy kursów pilotażowych byli ogólnie zadowoleni z odbytych zajęć, a z otrzymanych wyników wpływa wnioski, że uczestnicy poszerzyli swoją wiedzę i zrozumieli cel projektu SafeCROBOT. Osoby szkolone uznały kurs za interesujący i motywujący do dalszej nauki. Ponadto stwierdziły, że kurs był dobrze zorganizowany, z jasną treścią i dobrą atmosferą pracy. Zespół dydaktyczny również został oceniony pozytywnie. Szczegółowe informacje na temat skuteczności przeprowadzonego kursu pilotażowego zostaną omówione w odrębnym artykule.

6. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych kursów pilotażowych uzyskano bardzo pozytywne reakcje użytkowników na szkolenie prowadzone w wirtualnym środowisku. Korzyści zastosowania wirtualnej rzeczywistości w szkoleniach BHP to m.in.:

- bezpieczeństwo – możliwość symulowania niebezpiecznych środowisk i sytuacji bez zagrożenia dla życia i zdrowia uczestnika szkolenia,
- większe zaangażowanie uczestnika szkolenia – w porównaniu do tradycyjnych wykładów i/lub ćwiczeń;

- uczenie poznawcze i behawioralne w jednym – możliwość sprawdzenia wiedzy teoretycznej i umiejętności w praktyce, w realistycznych sytuacjach;
- Niestety zagadnienia bezpieczeństwa i higieny pracy nie są traktowane priorytetowo w programie dydaktycznym, a absolwenci uczelni kształcących na kierunku: budownictwo lub bezpieczeństwo i higiena pracy są przygotowujący głównie do projektowania, kierowania lub nadzorowania robót budowlanych. Zdaniem autorów praktyczna znajomość problemów związanych z zagrożeniami panującymi na terenie budowy z całą pewnością przełoży się korzystnie na bezpieczne projektowanie konstrukcji budowlanych, bezpieczne kierowanie pracami na placu budowy. Zaobserwowana skuteczność programu pilotażowego przeprowadzonego wśród studentów kierunku budownictwo oraz bezpieczeństwo i higiena pracy na Politechnice Wrocławskiej, przy poziomie przygotowania kursanta niższym niż absolwenta uczelni wyższej i pracownika bez doświadczenia w budownictwie, pozwala oczekiwać dobrych rezultatów również w praktyce zawodowej. Ogólna pozytywna ocena i chęć dalszego rozwoju scenariusza pokazuje znaczenie dla dalszego badania i wdrażania wirtualnej rzeczywistości jako metody szkoleniowej.

Podziękowanie

Praca jest wynikiem realizacji przez autorów projektu badawczego nr 2020-1-UK01-KA202-079176 „Virtual reality immersive safety training environment for robotised and automated construction sites”, finansowanego przez europejski program Erasmus+ (<https://safecrobot.pwr.edu.pl>).

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ustawa z dnia 26 czerwca 1974 r. Kodeks pracy (Dz.U. 1974 nr 24, poz. 141, z późn. zm.)
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 lutego 2003 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy podczas wykonywania robót budowlanych (Dz.U. 2003 nr 47, poz. 401)
- [3] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 20 września 2001 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy podczas eksploatacji maszyn i innych urządzeń technicznych do robót ziemnych, budowlanych i drogowych (Dz.U. 2001 nr 118, poz. 1263, z późn. zm.)
- [4] Shi Y., Du J., Ahn C. R., Ragan E., Impact assessment of reinforced learning methods on construction workers' fall risk behavior using virtual reality, *Automation in Construction* 104, 2019, str. 197–214
- [5] Radiani J., Majchrzak T. A., Fromm J., Wohlgenannt I., A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda, *Computers & Education*, 147, 2020, str. 103778
- [6] Ifanov J. P., Salim S., Syahputra M. E., Suri P. A., A Systematic literature review on implementation of virtual reality for learning, *Procedia Computer Science* 216, 2023, str. 260–265
- [7] Szóstak M., Napiórkowski M., Wirtualna rzeczywistość w szkoleniach BHP w budownictwie – obawy i oczekiwania, *Builder* 3/2023, str. 16–19
- [8] Azhar S., Han D., Dastider S. G., Arch M., Immersive VR Modules for Construction Safety Education of Generation Z Students. *EPIC Series in Built Environment* 1/2020, str. 482–490
- [9] Zhang M., Shu L., Luo X., Yuan M., Zheng X., Virtual reality technology in construction safety training: Extended technology acceptance model, *Automation in Construction* 135, 2020, str. 104113