

Szymon Łagosz

ORCID 0000-0003-2006-6261

Krzysztof Kaźmierczak

ORCID 0000-0001-8283-4794

Dagmara Sobczak

ORCID 0000-0002-1531-1325

Aldona Urbanek

ORCID 0000-0002-5357-3991

DOI: 10.34866/e9gt-b369

Metoda tworzenia scenariuszy szkoleń górniczych w wirtualnej rzeczywistości, w oparciu o faktycznie zaistniałe zdarzenia wypadkowe

Method of developing vr scenarios for mining training based on actual accidents

Słowa kluczowe: wirtualna rzeczywistość, scenariusze szkolenia, szkolenia górnicze, szkolenia VR.

Streszczenie: Efektywne wykorzystanie technologii VR wymaga metodycznego i świadomego podejścia oraz doboru odpowiednich treści, które stanowią podstawę scenariusza szkolenia. Zagadnienie to nabiera szczególnego znaczenia w momencie, gdy za główny cel szkolenia przyjmuje się poprawę bezpieczeństwa osób pracujących w stresie spowodowanym trudnymi warunkami, sytuacjami awaryjnymi w momentach, gdy nieprawidłowe działanie, lub brak działania, może prowadzić do katastrofalnych skutków.

Artykuł prezentuje sposób budowy scenariuszy szkoleniowych na potrzeby aplikacji szkoleniowych w wirtualnej rzeczywistości, przeznaczonych dla pracowników sektora górniczego. Originalność przedstawionego rozwiązania wynika z wykorzystania materiałów źródłowych traktujących o rzeczywistych wypadkach do odzwierciedlenia autentycznej sytuacji, w której osoba szkolona swoim działaniem może powtórzyć wystąpienie niebezpiecznego zdarzenia bądź zapobiec mu lub też zminimalizować jego skutki.

Przedstawiona metoda tworzenia scenariuszy wykorzystuje różnorodne doświadczenie trzech jednostek składających się na Konsorcjum projektu SENSE VR. Przebieg procesu budowy scenariusza, przeznaczonego dla technologii wirtualnej rzeczywistości, oparto na podstawie okoliczności i przyczyn wypadku śmiertelnego zaistniałego 4 lutego 2020 roku.

Key words: virtual reality, training scenarios, mining training, VR training.

Abstract: Effective use of VR technology requires a methodical and conscious approach and the selection of appropriate content that forms the basis of the training scenario. It becomes particularly important when the main goal of the training is to improve the safety of people working under stress, caused by difficult working conditions, and emergency situations, when improper behaviour or lack of action may lead to catastrophic consequences. The article presents the method of developing VR scenarios for mining training intended for employees of the mining sector. The originality of the presented issue results from the use of materials related to actual mining accidents. This method allows to reflect the authenticity of the dangerous situation during the training, and the trainee has the opportunity to prevent an accident or minimize its consequences in safe conditions of virtual reality.

The presented method of developing scenarios combines diverse experience of the three institutions that make up the SENSE VR project Consortium. The course of the VR scenario building process was based on the circumstances and causes of the fatal accident that occurred on February 4, 2020.

Wprowadzenie

Górnictwo to jedna z najbardziej niebezpiecznych gałęzi przemysłu. Wynika to z wielu przyczyn, jednakże jedną z istotniejszych jest zaangażowanie dużych grup ludzi w pracę w środowisku zagrażającym zdrowiu bądź życiu. Praca górników wiąże się z ciągłym narażeniem na stres, który jest wynikiem zarówno trudnych warunków pracy, spośród których warto wymienić przynajmniej takie czynniki jak: wysoka temperatura, zapylenie, słaba widoczność czy hałas, jak również licznych zagrożeń naturalnych i technicznych występujących w podziemnych wyrobiskach.

Ciężkie warunki pracy wpływają na wypadkowość, która w górnictwie jest od lat na bardzo wysokim poziomie. Według wstępnych wyników badania wypadków przy pracy, zaistniałych w 2021 r., opublikowanych 8.04.2022 r. przez Główny Urząd Statystyczny, sekcja „Górnictwo i wydobywanie” charakteryzuje się najwyższym wskaźnikiem wypadkowości. Dominującą przyczyną zaistniałych zdarzeń było nieprawidłowe zachowanie się pracowników. Stanowiło ono aż 60,8% wszystkich przyczyn wypadków odnotowanych przez GUS.

Pokazuje to, iż problematyka szkolenia, a także dbałość o uświadamianie zagrożeń oraz zrozumienie przez uczestników szkoleń relacji przyczynowo-skutkowych pomiędzy zachowaniami potencjalnie niebezpiecznymi a rzeczywiście występującymi zdarzeniami wypadkowymi, powinny stanowić priorytet w trakcie projektowania nowych form edukacyjnych dla tej grupy zawodowej.

Oprócz standardowych metod nauczania wykorzystuje się dziś szeroko narzędzia multimedialne w postaci nagrań wideo czy też interaktywnych prezentacji. Coraz częściej wykorzystuje się w procesie szkoleniowym aplikacje uruchamiane na komputerach klasy PC, które pozwalają na samodzielne zapoznanie się ze środowiskiem pracy, zagrożeniami oraz sposobem realizacji wybranych zagadnień. Takie podej-

ście ma jednak pewne ograniczenia. Jak wykazali Chen i in. (2018), gdy jednym z celów szkolenia jest opanowanie przez uczestników konkretnych umiejętności manualnych, wykorzystanie specjalnego hełmu VR zakładanego na głowę (Head Mounted Display – HMD), przynosi pozytywne efekty. Chan, Leung, Tang, Komura, (2011), Di Natale, Repetto, Riva, Villani (2020) oraz Li, Zhang, Sun, Wang, Gao (2017) w swoich pracach również potwierdzili tę tezę. Chen i in. (2018) podjęli próbę oceny efektywności szkolenia z wykorzystaniem trzech systemów wykorzystujących nowoczesne technologie wideo: 1 – Cave Automatic Virtual Environment (CAVE); 2 – Head Mounted Display (HMD) oraz jednego systemu opartego na Personal Computer (PC). Jak wykazano w pracy, pierwsze dwa systemy były lepiej odbierane przez uczestników szkoleń i sprawiały, że angażowali się oni bardziej w proces nauki niż grupa porównawcza korzystająca z systemu PC. Ponadto głównym problemem w obydwu przypadkach, w szczególności w górnictwie, jest monotonia prowadzonych zajęć bądź też niedostosowanie narzędzi szkoleniowych do specyfiki wykonywanej pracy. W tym przypadku, przyjęcie założenia, że górnik dokonujący inspekcji przenośnika taśmowego z użyciem klawiatury i myszki będzie odczuwał realizm prawdziwych warunków pracy, wydaje się nieuzasadnione.

Od kilku lat zauważalne jest upowszechnienie na rynku gamingowym technologii immersyjnej wirtualnej rzeczywistości, która kompletnie zmienia odbiór audiowizualny przekazywanych treści. Sposoby jej wykorzystania mogą być różne i są już od wielu lat przedmiotem badań. Zasadność stosowania technologii VR w edukacji została wielokrotnie potwierdzona, między innymi przez Kurillo, Bajcsy, Nahrsted, Kreylos (2008), Paiva, L.d.S. Machado, T.V.V. Batista (2015) oraz Pei i in. (2016). Przedmiotem badania opisanego przez Grabowskiego (2017) była weryfikacja skuteczności szkolenia w VR, w różnych grupach wiekowych. Jak wykazano zarówno wśród młodszych, jak i starszych uczestników badania zastosowanie technik VR przyniosło pozytywne efekty. Według Stępnikowskiego (2021) szkolenia wykorzystujące technologię VR mogą również wzmacniać jeden z kluczowych elementów uczenia się, jakim jest zdolność do zapamiętywania faktów.

Korzystanie ze środowiska VR, poprzez założenie specjalnego hełmu HMD oraz rękawic haptycznych (lub innych kontrolerów), wciąż jest nowością dla zdecydowanej większości osób. Powodem tego może być nadal stosunkowo niska dostępność aplikacji, innych niż służące jedynie do rozrywki, wykonanych w technologii VR oraz wysoki koszt związany z zakupem sprzętu. W efekcie VR jest sporadycznie wykorzystywany jako cyfrowe narzędzie wspomagające realizację celów edukacyjnych.

Rynek szkoleń z wykorzystaniem technologii VR ma trend wzrostowy, rozwój branży nie jest jednak tak dynamiczny, jak pierwotnie przewidywano. Hamilton, McKechnie, Edgerton, Wilson C. (2020) wykazali przydatność VR w szkoleniach, gdzie szczególnie istotnym elementem nauki jest rozwinięcie u kursantów wyobraźni przestrzennej. Ponadto, jak wynika z przeprowadzonego przez Bian Wu, Xiaoxue Yu i Xiaoqing Gu (2020) przekrojowego badania obejmującego 35 publikacji naukowych wyda-

nych w latach 2013–2019, istnieje wyraźna poprawa efektywności szkolenia przy zastosowaniu technologii VR, w stosunku do innych, nieimmersyjnych metod nau czania. Należy mieć jednak na uwadze, że z badania Wu i in. (2020) wynika również, iż w 34% przypadków zastosowanie IVR nie przyniosło pozytywnego skutku lub efekt był negatywny. Pokazuje to, że wykorzystywanie nowoczesnych technologii w każdej dziedzinie, w tym w obszarze działań edukacyjnych, wymaga nadal wielu analiz i weryfikacji sposobu implementacji VR do programów szkoleń.

Przedsiębiorstwa mają możliwość wdrażania szkoleń VR do swojej oferty, jednak przygotowanie aplikacji jest złożonym procesem. Wymaga zestawu działań, aby zapewnić wysoki poziom merytoryczny, dydaktyczny, technologiczny, a także wizualny szkolenia. Kluczowa jest zatem interdyscyplinarna współpraca wyspecjalizowanych podmiotów reprezentujących wiedzę i doświadczenie w zakresie technologii VR, specyficzną wiedzę branżową (np. górniczą), a także doświadczenie z zakresu metodyki i dydaktyki. Dlatego też temat ten został podjęty przez Konsorcjum składające się z 3 podmiotów: Główny Instytut Górnictwa, JSW Innowacje S.A. oraz JSW Szkolenie i Górnictwo Sp. z o.o. i jest kontynuowany w ramach projektu *Poprawa bezpieczeństwa pracy oraz komunikacji małych zespołów roboczych z wykorzystaniem sieciowego środowiska VR (SENSE VR)* współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Inteligentny Rozwój w ramach konkursu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju: Szybka Ścieżka.

Wykonanie aplikacji szkoleniowej VR jest zagadnieniem skomplikowanym i wymagającym od jego twórców wysokich kompetencji w zakresie komunikacji i współpracy zespołowej. Na ocenę tę wpływają przede wszystkim dwa aspekty. Po pierwsze, jak już wcześniej zauważono, zaproponowanie efektywnego przebiegu szkolenia wymaga ścisłej współpracy środowisk dotychczas sobie obcych. Oczekiwania dydaktyków oraz osób z praktycznym doświadczeniem w pracy pod ziemią należy skorelować z umiejętnościami programistów oraz możliwościami technicznymi. Z drugiej strony, środowisko szkoleniowe należy tak zaprojektować, aby szkolący się górnik odbierał przekazywane informacje zgodnie z intencją jego twórców i zakładanymi celami szkoleniowymi. Kluczowe jest również to, by mógł się zaangażować w realizowane prace, jednocześnie czerpiąc satysfakcję ze szkolenia, minimalizując aspekt nie zawsze intuicyjnej obsługi urządzeń w technologii VR. Dlatego też, aby zmaksymalizować efektywność szkolenia, należy zaproponować odpowiednią metodę tworzenia scenariuszy szkoleń dla górnictwa do zastosowania w aplikacjach współpracujących z goglami wirtualnej rzeczywistości.

Prace badawcze opisane w niniejszej publikacji oparte zostały na procesie tworzenia eksperymentalnego scenariusza szkolenia VR, skierowanego do osób nowo przyjętych do pracy pod ziemią, obejmującego zakres prac związanych z eksploatacją i nadzorem nad użytkowaniem przenośnika taśmowego służącego do transportu urobku.

Stopień zaawansowania grafiki komputerowej jest bezpośrednim czynnikiem wpływającym na odbiorcę aplikacji VR. Jednakże w przypadku szkoleń z wykorzystaniem aplikacji VR istotne jest również zaprojektowanie ciągu przyczynowo-skutkowego powodującego zwiększenie zaangażowania osoby szkolonej. Dotychczasowe sposoby projektowania szkoleń w wirtualnej rzeczywistości opierają się głównie na doświadczeniu producentów zapożyczonym ze środowiska rozrywkowego, przedstawionym przez Andrew Wodehouse (2010).

Przygotowanie wstępnej koncepcji scenariusza wymaga współcześnie pracy zespołu ludzi. Najbardziej popularną metodą opracowywania idei rozrywki lub szkolenia jest tzw. burza mózgów. W niektórych organizacjach stosuje się metody progresywne, takie jak np. technika 635 (inaczej Brainwriting).

Scenariusze gier komputerowych różnią się znacznie od scenariuszy filmów czy też powieści. Jest to przede wszystkim związane z zapewnieniem swobody działania użytkownikowi aplikacji, co wiąże się z implementacją wzajemnych powiązań z występującymi obiektami i prowadzonymi czynnościami (Elif Surer, Mustafa Erkayao, Zeynep Nur Öztürk, Furkan Yücel, Emin Alp Bıyık, Burak Altan, Büsra Senderin, Zeliha Oguz, Servet Güreer, H. Sebnem Düzgün 2020).

W kwestii obiektów i przedmiotów wykorzystywanych przez użytkownika konieczna jest ich szczegółowa charakterystyka zarówno pod względem wyglądu, jak i funkcjonalności. W odróżnieniu do scenariuszy filmowych, należy również uwzględnić pierwotne miejsce położenia obiektów oraz wszystkie możliwości i efekty ich zastosowania. Jednocześnie należy zaplanować, pod jakim warunkiem dany przedmiot będzie mógł trafić do inwentarza użytkownika.

Ważnym elementem gier komputerowych są dialogi, które w zdecydowanej większości produkcji można prowadzić z każdą postacią. Kontakt rozpoczyna się zazwyczaj od takiej samej kwestii początkowej, by później przejść do liniowej wymiany zdań bądź wyboru tematu rozmowy. W grach komputerowych dialogi należy powiązać z innymi obiektami, tak jak np. pojawiające się w wyniku rozmowy z wirtualną postacią aktywne przedmioty, czy nowe możliwe do wykonania czynności. Nierzadko są to też nowe lokalizacje pozwalające kontynuować rozgrywkę.

Odmiernym elementem są wskaźniki definiujące np. stan prowadzonej przez użytkownika postaci. W zależności od wykonywanych czynności zmiana może ulegać np. poziomowi zdrowia, siły czy też głodu. Oczywiście jest również uwzględnienie wpływu wykorzystywanych przedmiotów na te parametry.

Fizycznie scenariusz jest rejestrowany z wykorzystaniem aplikacji o rozbudowanym interfejsie tekstowym. Istotna jest również możliwość zapisu przebiegu akcji z wykorzystaniem różnorodnych diagramów czy też schematów. Na sposób zapisu będzie miało też wpływ wykorzystywane środowisko programistyczne.

W przypadku scenariuszy przeznaczonych dla aplikacji szkoleniowych (medycyna, przemysł), zgodnie z treścią pracy Filipa Górskiego (2018) najistotniejsze jest przy-

gotowywanie ich treści zgodnie z aktualną wiedzą w danym temacie. Merytoryczny zakres oprogramowania jest niezwykle istotny ze względu na konieczność wykształcenia prawidłowych odruchów i wzorców postępowania w procesach, które nierzadko mają wpływ na bezpieczeństwo pracy. Wykorzystanie symulacji komputerowej ma przede wszystkim na celu stworzenie poczucia przebywania w odpowiednim środowisku. Dlatego też istotne jest zebranie precyzyjnych informacji na temat miejsca, które jest odwzorowywane, w zakresie opisu merytorycznego, jak również dokumentacji graficznej, a także video. Scenariusz musi zawierać dokładny opis miejsca akcji, możliwych interakcji z otoczeniem oraz funkcji obiektów znajdujących się w pobliżu szkolonego. Najważniejszym etapem jest odpowiednie przedstawienie procesu, z którym ma zapoznać się osoba szkolona. Opracowanie scenariusza w tym zakresie jest o tyle trudne, gdyż podczas treningu postawione zadanie można wykonać za pomocą sekwencji różnych podzadań w różnej kolejności, dokładnie tak jak w rzeczywistości. Scenariusz musi więc zawierać informacje, jakie zdarzenia mogą być zamienione miejscem, a jakie w przypadku zamiany mają krytyczny wpływ na przebieg symulowanego procesu. Informacje te wymagają w tym przypadku dodatkowych prac z ekspertami z danej dziedziny posiadającymi duże doświadczenie praktyczne. Należy również uwzględnić przedstawienie różnych efektów działań osoby szkolonej zarówno te pozytywne, jak i negatywne. Materiał opisowy należy dodatkowo opatrzyć odpowiednim materiałem graficznym oraz video. Dodatkowo w przypadku szkoleń istotne jest opracowanie i zawarcie w scenariuszu metod weryfikacji na poszczególnych etapach szkolenia czynności wykonywanych przez osobę szkoloną. Finalnie opracowany dokument to efekt pracy dużego różnorodnego zespołu pozwalający na odtworzenie konkretnych treści przez zespół grafików, animatorów i programistów.

Metody i materiały

Metodologia prac

Treść merytoryczna szkoleń, sfera wizualna scenarii odwzorowanej w VR, jak i szereg zabiegów audiowizualnych, zastosowanych w trakcie rozgrywki, mają kluczowy wpływ na poziom immersji uczestników szkoleń, zanurzonych w wygenerowane środowisko wirtualne. Aplikacja powinna być zaprojektowana w taki sposób, aby poprzez wykorzystanie różnych bodźców sensorycznych zmaksymalizować efektywność odczuć w VR (Erfanian, Tarng, Hu, Plouzeau, Merienne, 2017).

W toku prac wykorzystano narzędzia i techniki oceny ryzyka przemysłowego, jednocześnie z zastosowaniem wybranych twórczych metod heurystycznych. Prace rozpoczęto od wytypowania zaistniałych zdarzeń wypadkowych, które stanowiły podstawę scenariuszy szkoleń. Wykorzystano do tego metodę Critical Incident Technique opracowaną w 1954 przez J.C. Flanagan (Flanagan, 1954), której skuteczność potwierdzono między innymi w przeglądowym badaniu literaturowym Butterfield, Borgen, Amundson, Maglio (2005). Następnie, w oparciu o pozyskaną dokumentację powypadkową, przeprowadzono analizę drzewa błędów

(Fault Tree Analysis – FTA) w celu określenia kluczowych zdarzeń, które miały wpływ na zaistnienie wypadków oraz zidentyfikowania współzależności pomiędzy potencjalnym, głównym zdarzeniem i przyczynami tego zdarzenia. Jak wykazali Ruijters i Stoelinga (2015), FTA to bardzo skuteczna, jakościowa metoda analizy ryzyka pozwalająca na inferencję oraz modelowanie przebiegu awarii.

Jednocześnie zdecydowano się na przeprowadzenie wśród zespołu realizującego projekt SENSE VR, burzy mózgów, co prowadziło do wygenerowania kolejnych pomysłów na potencjalne przyczyny zaistniałych wypadków. Działanie to prowadzone było równoległe z analizą drzewa błędów, jednakże przez inne osoby, co pozwoliło na weryfikację i wzbogacenie wyników badania o nowe, potencjalne przyczyny zdarzeń wypadkowych.

Czwarty etap prac obejmował wybór najlepszej możliwej opcji poprowadzenia fabuły scenariusza, a następnie zastosowanie w aplikacji optymalnej liczby i rodzaju urządzeń, zaprojektowanie architektury wyrobisk korytarzowych i dodatkowych elementów wzmacniających realizm rozgrywki. Wszystko to w celu przedstawienia uczestnikom wyraźnej ścieżki prowadzącej od pierwszego popełnionego błędu aż do wypadku. Wymienione cele wymagały dogłębnej analizy dostępnych informacji, a także opartego na twórczym myśleniu, przewidywania przyszłego przebiegu zdarzeń.

Zastosowane metody dydaktyczne

Wybór stosowanych podczas zajęć metod, form i technik realizacji szkoleń ma kluczowe znaczenie w kontekście zaplanowanych efektów szkolenia. Przeniesienie do VR metod szkoleniowych, których skuteczność została już wielokrotnie udowodniona oraz przetestowanie ich w warunkach badawczych, skutkować powinno zarówno efektywnym sposobem przekazywania niezbędnej wiedzy, jak i wzbudzeniem zainteresowania oraz zaangażowania odbiorców przekazu edukacyjnego.

Dokonana selekcja informacji oraz danych, na podstawie których została podjęta decyzja dotycząca doboru metod aktywizujących, które mają potencjał, aby aplikować je do środowiska VR, wskazała zarówno na zasadność budowania aplikacji na podstawie modelu Cyklu Kolba, jak i na elementy neurodydaktyki (dyscyplina naukowa) oraz pedagogiki przeżyć (kompleksowa metoda edukacyjna).

Na założeniach Cyklu Kolba (Kolb, 1984) została oparta idea funkcjonalności aplikacji VR, gdyż kluczem do pamięci długotrwałej jest konkretne doświadczenie nabywane przez uczestnika szkolenia podczas wykonywania zadań ujętych w scenariuszu aplikacji. Od tego doświadczenia rozpoczyna się cykl, jednak aby mógł się on dopełnić i tym samym przekształcić w wiedzę, muszą być również stworzone warunki do przeprowadzenia przez uczestnika szkolenia: refleksyjnej obserwacji, następnie teoretyzowania oraz aktywnego eksperymentowania, czyli ponownego działania wraz z możliwością zrewidowania nauczonych treści. Jak wskazują Zabłocki i Nowacka (2014), meritum Cyklu stanowi potwierdzenie przez uczest-

ników teorii, które sami wysnuli, na podstawie doświadczeń uzyskanych w trakcie szkolenia.

Podczas prób stopniowego aplikowania metod dydaktycznych do środowiska VR nieodzowne było sięgnięcie do neurobiologicznych podstaw procesu uczenia się. Przystawiane informacje można przetwarzać na różnych poziomach – im głębiej się je przetwarza, tym lepiej rozumie i zapamiętuje. Jak dowodzi Prauzner (2015), efektywność nauczania zależy nie tylko od czasu poświęconego na szkolenie, ale również od głębokości przetwarzania informacji. Przetwarzanie wiadomości jest tym głębsze, im więcej różnych operacji umysłowych wykonuje się na danym materiale. Metody aktywizujące uczestników szkoleń powinny więc opierać się na manipulowaniu przyswajanymi informacjami, przetwarzaniu ich i stosowaniu w różnych kontekstach. Najskuteczniejsze metody nauczania to te, które angażują różne zmysły uczestnika szkolenia – wzrok, słuch i motorykę (jednocześnie). Rezultatem wielopoziomowego przetwarzania informacji jest wytworzenie się znacznie większej liczby nowych połączeń neuronalnych niż w sytuacji, gdy tego samego materiału uczestnik uczy się mechanicznie na pamięć. Ze względu na ten aspekt, neurodydaktyka i aplikacje VR bazują na wspólnych założeniach wykorzystujących aktywne metody kształcenia wspierające proces zapamiętywania i angażujące osoby szkolone w proces dydaktyczny.

Ze względu na zakładany głęboki poziom immersji, zadania stawiane uczestnikom szkoleń wykorzystują m.in elementy: case study, odgrywania ról, gier szkoleniowych, eksperymentów i grywalizacji.

Wykorzystywana aplikacja immersyjnej wirtualnej rzeczywistości

Badania prowadzone były w oparciu o aplikację IVR zaprojektowaną i wykonaną przez zespół programistów i grafików w JSW Innowacje S.A. Do tego celu wykorzystano silnik graficzny Unity, który szeroko rozpoznawany jest jako narzędzie do tworzenia animacji, wizualizacji i co najistotniejsze wieloplatformowych trójwymiarowych gier uruchamianych na komputerach, konsolach i urządzeniach mobilnych. Obecnie jest to jedno z dwóch środowisk powszechnie stosowanych do projektowania aplikacji wykorzystujących wirtualną bądź rozszerzoną rzeczywistość.

W celu zapewnienia oczekiwanej współpracy ze zbudowanym wirtualnym środowiskiem wykorzystuje się specjalne gogle HMD oraz rękawice haptyczne. Ze względu na posiadane przez Konsorcjantów doświadczenie zdecydowano o zastosowaniu gogli HTC Vive Pro oraz rękawic Hi5 Noitom. Aby zwiększyć dokładność przechwytywania ruchu, na ciele szkolonego umieszcza się dodatkowo 4 czujniki Vive Tracker.

Zastosowane rozwiązania techniczne pozwalały na bieżąco, w czasie rzeczywistym, śledzić ruch każdej szkolonej osoby z dokładnością do ruchu palców. Na potrzeby aplikacji weryfikowany jest również kierunek patrzenia oraz sposób chwytania poszczególnych wirtualnych elementów.

Istotnym rozwiązaniem jest również zastosowanie trybu wieloosobowej współpracy, zwiększającego w zdecydowany sposób funkcjonalność aplikacji szkoleniowej. Dzięki temu możliwe jest wspólne prowadzenie wirtualnych prac, bezpośrednio oddziaływanie na siebie oraz na otaczające nas i współuczestników środowisko.

Rezultaty i dyskusja

Proces tworzenia scenariusza w wirtualnej rzeczywistości

Jednym z głównych założeń tworzenia scenariusza szkolenia było oddanie, w jak najwyższym stopniu, realnych warunków pracy w podziemiach kopalni węgla kamiennego. W tym celu na każdym etapie prac przygotowawczych realizowano szereg szczegółowo zaplanowanych działań.

W pierwszej kolejności skoncentrowano się na wytypowaniu zdarzenia, mającego stanowić podstawę fabuły scenariusza, którego przyczyny i okoliczności charakteryzują się największą powtarzalnością. Prace badawcze w tym kierunku rozpoczęto od szczegółowej analizy stanu wypadkowości w kopalniach węgla kamiennego w latach 2017–2020. Analiza ta została przeprowadzona w oparciu o informacje i dokumenty pozyskane w Wyższym Urzędzie Górniczym. Ponadto przeanalizowano informacje o stanie bhp w spółce JSW SiG w ostatnich trzech latach. Na tej podstawie możliwe było wskazanie zdarzeń wypadkowych charakteryzujących się powtarzalnością okoliczności i przyczyn oraz wskazanie tych zdarzeń, które mogą posłużyć jako kanwa do stworzenia fabuły scenariusza szkolenia VR. Dla tych przypadków zgromadzono obszerną dokumentację, zwracając się do dyrektorów dwóch Okręgowych Urzędów Górniczych i zarządu JSW S.A. o udostępnienie orzeczeń powypadkowych oraz części planu ratownictwa zakładu górniczego.

Drugą, ważną kwestią dla odtworzenia w aplikacji możliwie jak najbliższych realistycznych warunków pracy w kopalni węgla kamiennego, było umożliwienie członkom zespołu projektowego odpowiedzialnym za graficzną stronę aplikacji zapoznania się ze środowiskiem podziemnym, wyglądem oraz rozmieszczeniem poszczególnych przedmiotów, urządzeń i wyrobisk korytarzowych. Jak wspomniano, w skład konsorcjum projektowego wchodziłi specjaliści z różnych dziedzin, przy czym osoby z wiedzą i doświadczeniem w obszarze projektowania i modelowania 3D nie posiadały wiedzy z zakresu górnictwa podziemnego. Aby przybliżyć tym członkom zespołu warunki panujące w kopalni węgla kamiennego, zorganizowano wspólne spotkanie w formie wizji lokalnej w podziemnych wyrobiskach jednej z kopalń węgla kamiennego JSW SA – KWK Pniówek. Uczestnicy tego wydarzenia mogli też zapoznać się i omówić wygląd poszczególnych elementów urządzeń zabudowanych w ruchu zakładu górniczego. Szczególne znaczenie dla jakości tworzonej aplikacji IVR miało zaprezentowanie wszystkim członkom zespołu projektowego budowy i zasad obsługi urządzeń i stanowisk, których wygląd miał być później przeniesiony do środowiska wirtualnej rzeczywistości.

Ponadto, dla ułatwienia prac osobom zaangażowanym w prace graficzne, pozyskano dokumentację techniczno-ruchowe wytypowanych urządzeń oraz instrukcje ich obsługi. Dokumenty, wraz z dodatkowymi schematami oraz materiałami referencyjnymi, służyły zespołowi grafików i programistów do stworzenia przestrzeni, w której prowadzona będzie rozgrywka, a tym samym do stworzenia bazy aplikacji szkoleniowej IVR.

Opis opracowanego scenariusza szkolenia IVR

W wyniku analizy stanu wypadkowości oraz przeglądu dokumentacji opisanych powyżej fabułę scenariusza oparto na podstawie okoliczności i przyczyn wypadku śmiertelnego zaistniałego w PGG S.A. Oddział KWK Piast-Ziemowit w Bieruniu, Ruch Ziemowit w Łędzinach. Zdarzenie to miało miejsce 4 lutego 2020 roku. W jego wyniku zginął 29-letni górnik.

Na potrzeby szkolenia oraz w celu umożliwienia użytkownikom aplikacji interakcji i współpracy, scenariusz opracowano w ten sposób, aby uwzględnić rolę pracownika nowo przyjętego oraz role dwóch pracowników skierowanych do obsługi przenośników taśmowych, z których jeden ulega wypadkowi. Przebieg scenariusza, stanowiący wynik przeprowadzonych przez zespół projektowy prac badawczych, można w uproszczeniu przedstawić w siedmiu krokach opisanych poniżej.

Przebieg scenariusza

Krok 1:

Sztygar zmianowy oddziału GT (postać sterowana przez silnik aplikacji) wyznacza górnikom (uczestnicy szkolenia zwani dalej kolejno: P-1, P-2, P-3) zadania na rozpoczynającą się zmianę. Górnicy P-1 i P-2 będą odpowiedzialni za obsługę dwóch przenośników taśmowych typu PIOMA 1400, oznaczonych odpowiednio jako T-1 i T-2. Przenośnik T-1 o długości 800 m znajduje się w przekopie taśmowym, a przenośnik T-2 o długości 700 m – w Upadowej taśmowej.

Górnik P-3 jest pracownikiem nowo przyjętym i jego zadaniem jest czyszczenie trasy przenośników T-1 i T-2 w miejscach wskazanych przez górników P-1 i P-2. Pracownik P-3 ma pozostawać w dyspozycji i do pomocy pracownikom P-1 i P-2. Górnicy zobowiązani są do postępowania zgodnie z Instrukcją Obsługi, Kontroli i Czyszczenia Przenośnika Taśmowego PIOMA 1400. Górnicy mają do dyspozycji narzędzia niezbędne do pracy przy przenośniku. Są to: kilof, łopata, gracka i klucze ślusarskie dla pracowników P-1 i P-2 oraz kilof, łopata i gracka dla pracownika P-3.

Od wiedzy i decyzji związanych z wyborem odpowiednich narzędzi, podjętych przez użytkowników aplikacji, zależy będzie zaliczenie pierwszego zadania i możliwość przejścia do kolejnego kroku.

Krok 2:

Przed uruchomieniem przenośnika T-1 i T-2 górnicy P-1 i P-2 (każdy na swoim odcinku) kontrolują szczegółowo jego stan techniczny. Górnik P-1 przechodzi razem z P-1 lub P-2 wzdłuż całej trasy przenośnika. Na trasie sprawdzają czy nie ma przeszkód w uruchomieniu przenośnika, czy nie odbywają się naprawy; kontrolują stan krążników na trasie, stan taśmy i jej naprężenie, stan linek awaryjnych. Górnik P-1 oraz P-2 wskazują nowo przyjętemu pracownikowi P-3 miejsca, które ten ma wyczyścić i następnie razem przemieszczają się aż do stacji zwrotnych przenośników. *Zaliczenie zadania następuje w momencie, gdy użytkownicy ukończą kontrolę całej trasy wzdłuż przenośnika.*

Krok 3:

W miejscu stacji zwrotnych przenośników T-1 i T-2 górnicy sprawdzają kompletność osłon napędu przenośnika, zamocowanie zgarniacza, obecność czujników temperatury oraz obecność wyłącznika awaryjnego. *Zaliczenie zadania następuje w momencie, gdy każdy z wymienionych powyżej elementów zostanie skontrolowany.*

Krok 4:

Przed uruchomieniem przenośnika górnik P-1 i P-2 sprawdza: trasę przenośnika, kompletność osłon przenośnika na napędzie i stacji zwrotnej, czujnik spiętrzenia urobku na przesypie, czujniki temperatury, czujnik ruchu taśmy oraz działanie wyłącznika awaryjnego poprzez zaciągnięcie linki podczas pracy przenośnika.

Zaliczenie zadania następuje w momencie, gdy każdy z wymienionych powyżej elementów zostanie skontrolowany.

Krok 5:

Górnicy P-1 i P-2, na swoich stanowiskach przy napędach urządzeń, wykonują wszystkie czynności z instrukcji w celu uruchomienia podlegających im przenośników taśmowych. Pracownik P-3 zgodnie z otrzymanym poleceniem udaje się do wyrobiska na trasie przenośnika taśmowego T-1. Jego zadaniem będzie kontrola biegu taśmy oraz czyszczenie spągu. Zgodnie z Instrukcją może to robić w czasie ruchu przenośnika. *Następny krok rozpoczyna się po uruchomieniu przez użytkowników ruchu przenośników taśmowych.*

Krok 6:

Pracownik P-3 zauważa nagromadzenie się urobku w stacji zwrotnej przenośnika taśmowego T-1. Zgłasza to pracownikowi będącemu w pobliżu – górnikowi P-2, ponieważ elementy napędu przenośnika może czyścić tylko pracownik posiadający upoważnienie do obsługi przenośników taśmowych i zapoznany z Instrukcją. Czyszczenie powinno odbywać się przy wyłączonym i zabezpieczonym stanie wyłączenia przenośnika.

Górnik P-2 podejmuje się próby usunięcia awarii i wbrew obowiązującym przepisom dokonuje tego przy uruchomionym napędzie. W momencie gdy górnik P-2 manipuluje przy napędzie przenośnika, jego narzędzie (żerdź) zostaje pochwyczone przez obracający się bęben stacji zwrotnej i górnik P-2 zostaje uderzony w głowę. Energia uderzenia jest tak duża, że hełm ochronny zostaje zniszczony, a uraz głowy powoduje, iż pracownik upada nieprzytomny na spąg wyrobiska.

Na podstawie analizowanej dokumentacji stanu wypadkowości określono, że ignorowanie przepisów i zasad bezpieczeństwa zachodzi z niepokojąco wysoką częstością. Jednocześnie była to jedna z przyczyn wypadku zaistniałego w dniu 4 lutego 2020 r stanowiącego podstawę fabuły scenariusza. Powodem takiego stanu rzeczy jest często pośpiech, stres, rutyna i brak świadomości o poziomie ryzyka związanego z tego typu postępowaniem.

Krok 7:

Pracownik P-3 przy pomocy wyłącznika awaryjnego zatrzymuje ruch przenośnika T-1 i następnie przemieszcza się w rejon napędu przenośnika T-2 w celu poinformowania, przy użyciu urządzenia głośnomówiącego, górnika P-1 o zaistniałym wypadku. Pracownik P-1 zabezpiecza przenośnik T-1 przed przypadkowym załączeniem i powiadamia telefonicznie o zdarzeniu sztygara oraz dyspozytora. *Na tym etapie szkolenie zostaje zakończone.*

Efekty prac nad scenariuszem szkolenia w VR

Tworząc scenariusz szkolenia, przygotowywanego do realizacji w wirtualnej rzeczywistości, wypracowano szablon formularza oparty na oprogramowaniu Microsoft Excel. Pozwala on w łatwy i czytelny sposób przedstawiać fabułę i powiązanych z nią aktorów oraz materiały referencyjne. Formularz składa się z sześciu zakładek zawierających między innymi takie informacje jak skrótowy opis scenariusza, mapę terenu rozgrywki i opis ról przewidzianych w scenariuszu. Główną sekcją formularza jest zakładka, w której znajduje się informacja na temat kolejnych kroków scenariusza realizowanego w IVR oraz ich powiązanie z kluczowymi aktorami, lokalizacjami i typami realizowanych przez aktorów czynnościami oraz skutkami powodzenia lub niepowodzenia poszczególnych działań. Stworzono również zakładkę zawierającą uporządkowany wykaz materiałów referencyjnych, stanowiących pomoc dla programistów i grafików pracujących nad aplikacją IVR. Są w niej umieszczone odnośniki do grafik, filmów i dokumentacji, powiązane z informacją o miejscu zastosowania danego obiektu 3D w scenariuszu oraz interakcjach z innymi modelami.

Na podstawie tak przygotowanego opracowania pierwszej wersji scenariusza szkolenia stworzono pierwszą, uproszczoną wersję aplikacji. Aplikację tę poddano wielu testom, stopniowo uzupełniano i poprawiano. W ten sposób wyeliminowano niedociągnięcia i nieprawidłowości w scenariuszu, a także doprowadzono do wywołowania z niej pełnoprawnej aplikacji pozwalającej na prowadzenie szkoleń dla pracowników kopalń węgla kamiennego.

Czas realizacji scenariusza szkolenia w IVR został określony na ok. 45 minut i w rzeczywistości niewiele odbiega od tych założeń. W zależności od indywidualnych predyspozycji oraz poziomu kompetencji cyfrowych poszczególnych uczestników szkolenia, wynosi on od 30 do 55 minut. Jak wynika z wstępnych wyników badań własnych, przeprowadzanych przez członków zespołu projektowego SENSE VR, optymalny czas ekspozycji na środowisko immersyjnej wirtualnej rzeczywistości w aplikacji szkoleniowej, wykorzystującej scenierię i specyfikę pracy w podziemnych wyrobiskach górniczych, w większości przypadków nie powinien wynosić więcej niż 50 minut. Po tym czasie spada koncentracja uczestników i efektywność szkolenia jest mniejsza.

Wnioski

W ramach prac nad scenariuszem szkolenia zaplanowanego do realizacji z wykorzystaniem aplikacji immersyjnej wirtualnej rzeczywistości, zidentyfikowano i szczegółowo opisano szereg standardów, których zastosowanie pozwoli na wiarygodne odzwierciedlenie warunków pracy występujących w podziemnym zakładzie górniczym oraz przyczyni się do oddania pełnego realizmu sytuacji potencjalnie niebezpiecznych i wynikających z nich konsekwencji, prowadzących do tragicznych w skutkach, zdarzeń wypadkowych.

Projektowana metoda, z uwagi na specyficzny charakter warunków środowiskowych występujących w trakcie eksploatacji podziemnych pokładów węgla, jest nierozdzielnie związana ze specyfiką funkcjonowania kopalń węgla kamiennego. Treść merytoryczna szkoleń, sfera wizualna scenerii odwzorowanej w VR, jak i szereg zabiegów audiowizualnych zastosowanych w trakcie rozgrywki, mają kluczowy wpływ na poziom immersji uczestników szkoleń zanurzonych w wygenerowane środowisko wirtualne.

Niewykluczone jednak, że niektóre z elementów opracowanej metody mogą okazać się przydatne również w trakcie tworzenia założeń i scenariuszy szkoleń powstających z myślą o zastosowaniu technologii IVR w działaniach edukacyjnych skierowanych do innych grup odbiorców. Szczególnie kwestie związane z odzwierciedleniem schematów zaistniałych zdarzeń przyczynowo-skutkowych, w których błąd ludzki wywołany takimi czynnikami zewnętrznymi jak stres, trudne warunki pracy czy ograniczona widoczność ma istotny wpływ na przebieg wypadku.

Artykuł został opracowany w związku z realizacją projektu „Poprawa bezpieczeństwa pracy oraz komunikacji małych zespołów roboczych z wykorzystaniem sieciowego środowiska VR (SENSE VR), współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Inteligentny Rozwój. Projekt jest realizowany w ramach konkursu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju: Szybka Ścieżka.

Literatura

1. Bian Wu, Xiaoxue Yu, Xiaoqing Gu (2020), *Effectiveness of immersive virtual reality using head-mounted displays on learning performance: A meta-analysis*, „British Journal of Educational Technology”.
2. Butterfield L.D., Borgen W., Amundson N.E., Maglio A.-S.T. (2005), *Fifty years of the critical incident technique: 1954–2004 and beyond*, „Qualitative Research”, 5.
3. Chan J.C.P., Leung H., Tang J.K.T., Komura T. (2011), *A virtual reality dance training system using motion capture technology*, IEEE Trans. Learn. Technol. 4 (2), pp. 187–195.
4. Di Natale A.F., Repetto C., Riva G., Villani D. (2020), *Immersive virtual reality in K-12 and higher education: A ten-year systematic review of empirical research*, „British Journal of Educational Technology”.
5. Erfanian A., Tarng S., Hu Y., Plouzeau J., Merienne F. (2017), *Mechanism of integrating force and vibrotactile cues for 3D user interaction within virtual environments*, Proceedings – IEEE Virtual Reality, Article number 789227419th IEEE Virtual Reality, Los Angeles, pp. 257–258.
6. Flanagan J.C. (1954), *The critical incident technique*. „Psychological Bulletin”, 51(4), pp. 327–358.
7. Górski F. (2018), *Budowa elastycznych aplikacji rzeczywistości wirtualnej do treningu przemysłowego*, Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji.
8. Grabowski A. (2017), *Porównanie efektywności szkolenia w środowisku wirtualnym dla osób w różnych grupach wiekowych*, „Edukacja Ustawiczna Dorosłych”, nr 4, s. 55–62.
9. Hamilton D. McKechnie J., Edgerton E., Wilson C. (2020), *Immersive virtual reality as a pedagogical tool in education: a systematic literature review of quantitative learning outcomes and experimental design*. „Journal of Computers in Education”.
10. Kolb D.A. (1984), *Experiential learning: Experience as the source of learning and development* (Vol. 1). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
11. Kurillo G., Bajcsy R., Nahrsted K., Kreylos O. (2008), *Immersive 3D environment for remote collaboration and training of physical activities*, IEEE Virtual Reality Conference, Reno, NE, pp. 269–270.
12. Li Y., Zhang, J., Sun W., Wang J., Gao X. (2017), *VREX: Virtual reality education expansion could help to improve the class experience (VREX platform and community for VR based education)*. In Proceedings of the IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), Indianapolis, IN, USA, 18–21 October, pp. 1–5
13. Paiva P.V., Machado L.d.S., Batista T.V.V. (2015), *A collaborative and immersive VR simulator for education and assessment of surgical teams*. In: 2015 XVII Symposium on Virtual and Augmented Reality, Sao Paulo, pp. 176–185.
14. Wei Pei G.X., Li M., Ding H., Zhang S., Luo A. (2016), *A motion rehabilitation selftraining and evaluation system using Kinect*. In: 2016 13th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI), Xi’an, pp. 353–357
15. Prauzner T. (2015), *Neurodydaktyka – innowacyjny sposób myślenia o nowoczesnej edukacji w społeczeństwie informacyjnym*, Prace Naukowe Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie. Technika, Informatyka, Inżynieria Bezpieczeństwa.
16. Ruijters E., Stoelinga M. (2015), *Fault tree analysis: A survey of the state-of-the-art in modeling, analysis and tools*, Computer Science Review, Volumes 15–16, <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2015.03.001>.

17. Stępnikowski A.W. (2021), *Retencja uczenia się z zastosowaniem wirtualnej rzeczywistości w edukacji i szkoleniach*, „Edukacja Ustawiczna Dorosłych”, nr 4, s. 55–61.
18. Surer E., Mustafa Erkayao, Zeynep Nur Öztürk, Furkan Yücel, Emin Alp Bıyık, Burak Altan, Büsra Senderin, Zeliha Oguz, Servet Gürer, H. Sebnem Düzgün (2020), *Developing a scenario-based video game generation framework for computer and virtual reality environments: a comparative usability study*, „Journal on Multimodal User Interfaces” (2021), 15:393–411.
19. Wodehouse A. (2010), *Computer gaming scenarios for product development teams*, International Journal of Gaimng and Computer-Mediated Simulations
20. *Wypadki przy pracy w 2021 r. – dane wstępne*, Główny Urząd Statystyczny (2022), <https://stat.gov.pl>
21. Xiaoming Chen, Zhibo Chen, Ye Li, Tianyu He, Junhui Hou, Sen Liu, Ying He (2018), *Immer-Tai: Immersive Motion Learning in VR Environments*, „Journal of Visual Communication and Image Representation”.
22. Zabłocki M., Nowacka U. (2014), *Wykorzystanie cyklu Kolba jako metody szkolenia ratowników*, „International Journal of Engineering and Safety Sciences”.

Szymon Łagosz, Główny Instytut Górnictwa; slagosz@gig.eu

Krzysztof Kaźmierczak, JSW Innowacje

Dagmara Sobczak, Główny Instytut Górnictwa

Aldona Urbanek, JSW Szkolenie i Górnictwo