

BUDOWA ELASTYCZNYCH APLIKACJI RZECZYWISTOŚCI WIRTUALNEJ DO TRENINGU PRZEMYSŁOWEGO

Filip GÓRSKI

Streszczenie: Artykuł prezentuje metodykę budowy interaktywnych aplikacji szkoleniowych dla przemysłu, opartych o techniki rzeczywistości wirtualnej (Virtual Reality). Dotychczasowa metodyka budowy takich aplikacji nie zakłada ich elastyczności, tj. możliwości łatwego rozszerzania treści bez edycji kodu źródłowego. Zaprezentowano autorską metodykę budowy takich aplikacji opartą o dostępne i dedykowane rozwiązania oraz – częściowo – dostępne metodyki budowy systemów opartych na wiedzy (Knowledge-Based Systems). Jako przykład aplikacji zaprezentowano system do szkolenia operatorów wózków widłowych. Aplikacja została przetestowana i zweryfikowana w praktyce i pozwala na znaczne zwiększenie efektywności procesu szkolenia w stosunku do metod tradycyjnych.

Słowa kluczowe: wirtualna rzeczywistość, inżynieria wiedzy, szkolenia przemysłowe

1. Wprowadzenie

Systemy rzeczywistości wirtualnej (ang. *Virtual Reality*, VR) to rozwiązania znane już od kilku dekad. W ostatnim czasie, dzięki pojawieniu się nowych urządzeń przeznaczonych na rynek konsumencki, dziedzina VR na nowo zyskuje na popularności, również w zastosowaniach przemysłowych. Środowisko wirtualne umożliwia użytkownikom swobodne przemieszczanie się i interakcję z trójwymiarowymi obiektami w czasie rzeczywistym [1, 2]. Wirtualna rzeczywistość ma wiele różnorodnych zastosowań profesjonalnych. Jedną z głównych dziedzin jest edukacja i szkolenia – systemy VR umożliwiają prowadzenie edukacji inżynierskiej [2, 3, 4], tradycyjnej [2, 5] lub szkoleń medycznych [6, 7]. W przemyśle można ich także używać do wspomagania procesów projektowania [8, 9], symulowania działania maszyn i urządzeń [10] czy wspomagania decyzji w procesach inżynierskich [11, 12].

Zastosowanie wizualizacji i interakcji w rzeczywistości wirtualnej jest coraz szerzej rozpowszechnione w przemyśle – wiele przedsiębiorstw buduje swoje własne centra rzeczywistości wirtualnej, współpracujące z centrami badawczo-rozwojowymi [13]. Pomimo jednak sporego postępu w rozwoju rozwiązań VR, w opinii autora wciąż nierozwiązany pozostaje problem efektywnego wdrażania systemów VR w przedsiębiorstwach przemysłowych. Jako główne problemy należałoby tutaj wskazać trudności z integracją rozwiązań VR z bazami danych i oprogramowaniem profesjonalnym używanym w przemyśle (m. in. systemami klasy CAx czy PLM), kosztowne i czasochłonne przygotowanie i utrzymywanie aplikacji oraz brak standaryzowanych procedur wdrażania tego typu systemów i scenariuszy ich użytkowania w różnych działach przedsiębiorstwa. Stąd VR często pozostaje jedynie ciekawostką, sposobem na przyciągnięcie uwagi klienta czy kontrahenta, a nie realną pomocą w zakresie projektowania, symulacji czy szkoleń.

W opinii autora i na podstawie jego doświadczeń, problem kosztów i czasu przygotowania aplikacji oraz utrzymania ich aktualności pozostaje tutaj jednym z ważniejszych. Brak jest dedykowanych metodyk usprawniających planowanie, budowanie i wdrażanie przemysłowych systemów VR, zwłaszcza w zakresie rozwiązań do wirtualnego treningu. Skutkuje to tworzeniem rozwiązań w sposób doraźny, jednostkowy, często przypadkowy, co zwiększa czas i koszty, jak również liczbę błędów. Rozwiązania VR utworzone w sposób doraźny nie są też odpowiednie do długoterminowego utrzymywania i szybko przestają być aktualne, zwłaszcza jeżeli procesy w przedsiębiorstwie ulegają dynamicznym zmianom. Zlecenie utrzymywania aktualności aplikacji VR na zewnątrz przedsiębiorstwa wiąże się z dodatkowymi, niemałymi kosztami, zatem często aplikacje VR wychodzą z użycia szybciej niż planowano.

W artykule zaproponowano innowacyjną koncepcję podejścia do budowy wirtualnych systemów szkoleniowych przeznaczonych dla przemysłu. Koncepcja ta zakłada tworzenie aplikacji elastycznych, łatwych w utrzymaniu i aktualizowaniu bez dodatkowych kosztów, z zastosowaniem metod pochodzących z grupy technik inżynierii wiedzy (ang. *Knowledge Engineering* [14]). Zaprezentowano metodykę oraz przykład aplikacji powstałej na jej bazie, zweryfikowanej w praktyce i gotowej do wdrożenia.

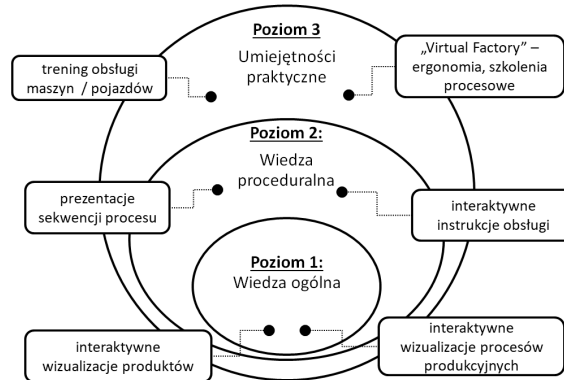
2. Problem badawczy

2.1. Klasyfikacja wirtualnych aplikacji szkoleniowych

Aplikację rzeczywistości wirtualnej odróżnia od innych programów komputerowych przede wszystkim cyfrowo generowana grafika 3D oraz zastosowanie odpowiedniego sprzętu do interakcji i immersji (zanurzenia) użytkownika. Wirtualna aplikacja szkoleniowa to program komputerowy umożliwiający uzyskiwanie nowej wiedzy lub umiejętności poprzez interakcję w środowisku rzeczywistości wirtualnej. Skuteczność szkoleniowych aplikacji VR wynika bezpośrednio z możliwości interakcji oraz odpowiedniego poziomu immersji użytkownika [15].

Według autora, aplikacje szkoleniowe VR można sklasyfikować na jednym z trzech poziomów, w zależności od rodzaju wiedzy, jaka jest w nich przekazywana (rys. 1). I tak, poziom 1 to wiedza ogólna, czyli informacje, fakty, pojęcia dotyczące wybranego zagadnienia. Poziom 2 to wiedza proceduralna, czyli prezentacja metodyki postępowania np. podczas realizacji danego procesu technologicznego czy obsługi wybranego urządzenia technicznego. Poziom 3 to umiejętności praktyczne – nawyki i sposoby wykonywania danych czynności. Jedna aplikacja szkoleniowa może zawierać wszystkie 3 poziomy wiedzy jednocześnie, lub każdy z osobna, choć zwykle aplikacje z poziomu 2 zawierają też wiedzę ogólną, a z poziomu 3 – proceduralną i ogólną.

Jako przykład aplikacji edukacyjnych i szkoleniowych z poziomu 1 można podać np. atlasy takie jak opisano w [16]. Najwięcej aplikacji szkoleniowych można zaklasyfikować do poziomu 2 – należą do nich np. wirtualne symulacje procesów montażowych [17]. Aplikacje z poziomu 3 są najtrudniejsze w implementacji – wymagają również zaangażowania zmysłu dotyku użytkownika, co wiąże się z użyciem skomplikowanych w programowaniu urządzeń haptycznych [6], stąd też nie ma ich wiele, a ich skuteczność wciąż jest ograniczona.



Rys. 1. Klasyfikacja szkoleniowych aplikacji VR – poziomy wiedzy

2.2. Problem badawczy – wymagania względem aplikacji VR

Aby dany system VR mógł funkcjonować w przedsiębiorstwie, zwłaszcza produkcyjnym, muszą zostać spełnione pewne wymagania. W sposób ogólny, wymagania względem aplikacji VR mogą zostać sformułowane następująco [18]:

- jakość grafiki,
- łatwość obsługi,
- zastosowanie znanych urządzeń peryferyjnych (hełmów, kontrolerów itp.),
- możliwość zarządzania strukturą, treścią i funkcjami,
- cena implementacji i utrzymania.

Ogólnym wymogiem stawianym aplikacjom VR, a w szczególności aplikacjom szkoleniowym, jest utrzymywanie ich aktualności przez cały czas życia produktu/usługi lub procesu, do którego się odnoszą, z uwzględnieniem możliwości wprowadzania aktualizacji wewnątrz przedsiębiorstwa [19], bez konieczności powrotu do kodu źródłowego aplikacji. Jeśli, przykładowo, aplikacja szkoleniowa dotyczy procesu ręcznego montażu podzespołu urządzenia a zmieni się jego konstrukcja (opracowane zostaną nowe modele geometryczne), powinna być możliwość wprowadzenia nowych cech do aplikacji szkoleniowej w szybki i łatwy sposób, z wykorzystaniem wewnętrznych zasobów przedsiębiorstwa. Jeśli dokonane zostaną zmiany na rzeczywistym stanowisku pracy czy w układzie linii produkcyjnej, odpowiadająca im wirtualna aplikacja szkoleniowa również powinna mieć możliwość rekonfiguracji, aby proces odpowiadał rzeczywistości.

Aplikacje VR budowane w tradycyjny sposób, z użyciem klasycznych technik programowania lub specjalizowanych silników (np. Unity 3D) po wygenerowaniu do postaci samodzielnego, wykonywalnego programu (ang. *standalone executable*) mają zamkniętą formę, a wszelkie zmiany (struktura, wizualizacja, funkcje) nie mogą zostać wprowadzone bez edycji kodu źródłowego i ponownego wygenerowania programu. Takie podejście zaprzecza idei zarządzania strukturą i treścią wewnątrz przedsiębiorstwa. Według autora, brak elastyczności obecnej generacji systemów i aplikacji VR wdrażanych w warunkach przemysłowych jest jednym z powodów, dla których technologia VR – pomimo oczywistych korzyści z jej stosowania – nie znalazła jeszcze masowego zastosowania w przemyśle [19]. Autor skupia się w swoich pracach na opracowaniu metodycznego podejścia – z użyciem dostępnych metodyk bazujących m. in. na inżynierii wiedzy –

pozwalającego na budowanie aplikacji elastycznych, tj. takich, gdzie dostęp do wiedzy zawartej w aplikacji pozostaje otwarty po jej implementacji i istnieje możliwość łatwego wprowadzania zmian, aby umożliwić swobodną aktualizację aplikacji w czasie życia wyrobu czy procesu, do którego jest ona przypisana.

3. Metodyka budowy elastycznych wirtualnych aplikacji szkoleniowych

3.1. Koncepcja i ramowy proces budowy aplikacji

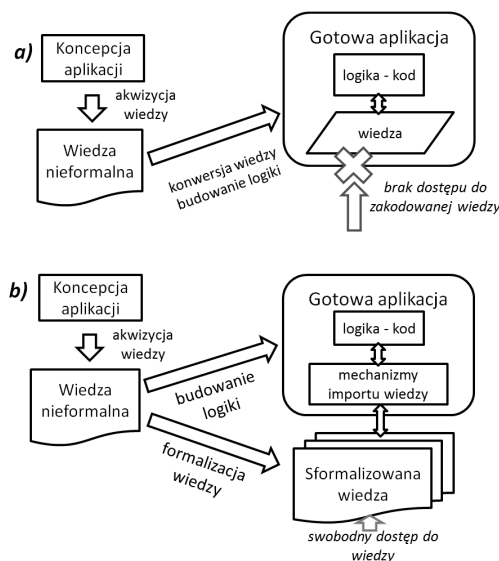
Tradycyjnie budowane aplikacje rzeczywistości wirtualnej (w tym szkoleniowe), charakteryzują się brakiem otwartego dostępu do zawartej w nich wiedzy po implementacji i uruchomieniu w docelowym środowisku pracy. Oprogramowanie używane do tworzenia tych aplikacji – m. in. silniki takie jak Unity 3D czy Unreal Engine oryginalnie jest wykorzystywane do tworzenia gier komputerowych, gdzie wymóg dostępu do wiedzy i samodzielnego rozwijania aplikacji nie jest tak bardzo istotny, a deweloperzy zawsze mają kontrolę nad kolejnymi wersjami oprogramowania i treścią w nich zawartą. Przemysłowe aplikacje VR przejęły zatem proces twórczy od gier i interaktywnych wizualizacji, razem z jego oczywistymi wadami. Z punktu widzenia przedsiębiorstw wdrażających rozwiązania VR, jest to wysoce niekorzystne – jeśli prosta zmiana (np. zakres kolorów lakieru w wirtualnym konfiguratorze pojazdu lub treść polecenia tekstowego w wirtualnym szkoleniu) wymaga powrotu do kodu źródłowego, jest to bardzo kosztowne i nieefektywne. Co więcej, przy tworzeniu przemysłowych aplikacji VR z reguły nie stosuje się żadnego ustandaryzowanego podejścia, tworząc rozwiązania doraźne, co znacznie obniża efektywność ich budowania i wdrażania.

Autor proponuje innowacyjne podejście do tego problemu, na podstawie dotychczasowych doświadczeń z wdrażania rozwiązań VR w firmach przemysłowych. Dwie najważniejsze cechy proponowanego podejścia to:

- zastosowanie w budowie aplikacji VR podejścia metodycznego właściwego dla inżynierii wiedzy (z ang. Knowledge Engineering, KE), a w szczególności ram metodyki MOKA [20],
- w ramach przyjętej metodyki – zastosowanie specjalnego podejścia do etapu akwizycji i formalizacji wiedzy oraz programowania, tak aby po uruchomieniu aplikacji w środowisku docelowym dostęp do wiedzy w niej zawartej pozostał otwarty.

Różnicę między podejściem tradycyjnym a zaproponowanym – elastycznym – przedstawia rysunek 2. Ramowa metodyka oparta o podejście MOKA przedstawia się jak poniżej:

1. Identyfikacja – cele i zakres rozwiązania.
2. Uzasadnienie – określenie zasobów, kosztów i ryzyka.
3. Akwizycja wiedzy – zebranie wiedzy i jej zapis nieformalny.
4. Formalizacja wiedzy – przetworzenie jej na formę zrozumiałą przez system komputerowy.
5. Implementacja – przygotowanie i testy rozwiązania informatycznego.
6. Uruchomienie systemu w środowisku docelowym [20, 21].



Rys. 2. Tradycyjne (a) i elastyczne (b) podejście do budowy aplikacji VR

Autor proponuje przeniesienie zrębów metodyki MOKA na grunt budowy szkoleniowych rozwiązań VR, aby zwiększyć efektywność ich tworzenia oraz zapewnić możliwość ich elastycznego rozwoju bez konieczności częstego powrotu do kodu źródłowego. Kluczowe w tym przypadku są dwa środkowe etapy, tj. akwizycja i formalizacja wiedzy. Wiedza sformalizowana w odpowiedni sposób może być później dostępna z zewnątrz aplikacji VR, co pozwala spełnić wymóg elastyczności. Dalsza część rozdziału przedstawia poszczególne etapy wg MOKA, w odniesieniu do budowy szkoleniowych aplikacji VR.

3.2. Identyfikacja i uzasadnienie

Aby rozpocząć budowanie szkoleniowej aplikacji VR zgodnie z zaproponowaną metodyką, należy najpierw dokonać identyfikacji, tj. odpowiedzieć na podstawowe pytania:

- kto będzie odbiorcą aplikacji? możliwe odpowiedzi w przypadku szkoleń przemysłowych to np.: pracownicy produkcji/magazynu, inżynierowie, menedżerowie, sprzedawcy, klienci itp.
- jaki jest cel działania aplikacji? możliwe odpowiedzi: zdobycie podstawowej wiedzy o danym procesie/metodzie/produkcji, zdobycie wiedzy specjalistycznej o realizacji danego procesu, zdobycie nowych umiejętności praktycznych [19].

Na tej podstawie aplikację można zaklasyfikować do jednego z poziomów wiedzy, przedstawionych na rysunku 1 oraz określić podstawowe wymagania techniczne. Po zakończeniu etapu identyfikacji powinien nastąpić etap uzasadnienia, gdzie powinno się przeprowadzić m. in. analizę ryzyka budowy i wdrożenia aplikacji oraz proces decyzyjny związany z wyborem komponentów sprzętowych i programowych systemu. Ten proces nie będzie tutaj przedstawiany w szczegółach, gdyż nie różni się mocno od analizy ryzyka i procesów decyzyjnych podczas planowania klasycznych rozwiązań IT w przedsiębiorstwach produkcyjnych, a informacje na ten temat są szeroko dostępne w literaturze.

3.3. Akwizycja i formalizacja wiedzy

Akwizycja i formalizacja wiedzy to kluczowy etap, zarówno w podejściu MOKA [20], jak i w podejściu proponowanym przez autora do budowania elastycznych aplikacji VR. Wiedza o danym procesie czy obiekcie, który jest przedmiotem wirtualnego szkolenia, może być zapisana w jednej z podstawowych czterech form: tekstowej, graficznej, dźwiękowej oraz animowanych lub statycznych modeli 3D, w rozbiciu na poszczególne komponenty i etapy nauczanego procesu. Dodatkowo, zapisu wymagają powiązania strukturalne między obiektami (hierarchia i wiązania oparte o silnik fizyki – jeżeli występują, zwykle tylko w aplikacjach z poziomem 3), sekwencja wykonywania operacji ze wskazaniem aktywnych na poszczególnych etapach obiektów, jak również powiązania logiczne między obiektami (na zasadzie: „aktywuj obiekt 1, aby zniknął obiekt 2”, albo „użyj obiektu 1 na obiekcie 2 aby aktywować obiekt 3”).

Wiedzę w postaci nieformalnej należy zbierać ze źródeł zdefiniowanych na wcześniejszym etapie prac. Do tych źródeł, w przypadku nauczania procesów produkcyjnych czy obsługi maszyn, zaliczyć należy przede wszystkim dokumentację techniczną – rysunki, schematy, modele CAD 3D, DTR (dokumentację techniczno-ruchową), jak również normy, katalogi itp. Do innej kategorii źródeł wiedzy należy zaliczyć wiedzę niejawną, prezentowaną przez pracowników, ekspertów w danej dziedzinie. Tutaj nieformalny zapis wiedzy odbywa się zwykle w wyniku wywiadów, rozmów, analizy osobistych notatek oraz rejestracji fizycznego działania tych osób (np. nagrania pokazującego wzorcową obsługę danej maszyny produkcyjnej). Można poszukiwać wiedzy również w innych źródłach – wynikach badań i symulacji, raportach z projektów R&D itp. Organizacja wiedzy nieformalnej może być ułatwiona przez użycie np. formularzy ICARE [20, 21].

Podejście tradycyjne do budowy aplikacji VR zakłada w tym momencie zakodowanie wiedzy nieformalnej wewnątrz aplikacji, bez uwzględnienia jakiegokolwiek dostępu do niej po implementacji. Organizacja wiedzy wewnątrz aplikacji VR nie jest w żaden sposób ustandaryzowana i z reguły zależy od podejścia danego dewelopera (lub grupy deweloperów) VR.

Proponowana przez autora formalizacja polega na tym, aby wszelką wiedzę – zapisaną w jednej z czterech wspomnianych form – zapisywać w formie zorganizowanej, ustandaryzowanej i możliwej do zrozumienia zarówno przez człowieka, jak i przez algorytm komputerowy. W sensie praktycznym oznacza to opracowanie odpowiedniej struktury systemu plików i umieszczanie poszczególnych jednostek wiedzy (np. pojedynczych plików graficznych czy tekstowych opisujących relacje obiektów) w tym systemie, z uwzględnieniem skalowalności oraz reguł dostępu aplikacji do tych plików. Pliki tekstowe opisujące zależności logiczne czy np. sekwencję operacji lub pozycje obiektów muszą również mieć odpowiednią strukturę, zawierając informacje np. rozdzielone przecinkami czy średnikami. W celu formalizacji wiedzy można posłużyć się również bazami danych, ale z doświadczenia autora wynika, że łatwiejsze w implementacji jest użycie plików tekstowych, ze względu na problematyczny dostęp do zawartości baz danych z poziomu popularnych silników VR. Przykład wiedzy w postaci sformalizowanej i niesformalizowanej przedstawia rysunek 3 – dotyczy on przykładowego bloku lekcyjnego w prezentowanej w dalszej części artykułu aplikacji.

BLOK 10

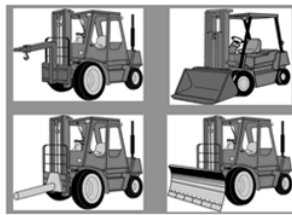
TP (tekst pisany)

Osprzęt wózków widłowych

TM (tekst mówiony)

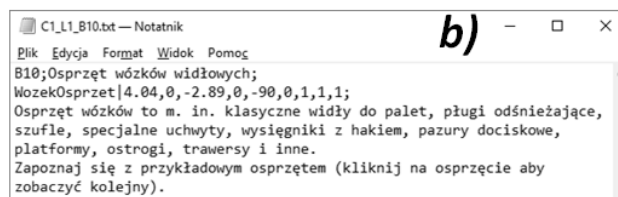
Wózki widłowe mogą być wyposażone w różny osprzęt, dedykowany konkretnym pracom. Mogą to być m.in. widły do palet, pługi do odśnieżania, szufle, specjalne uchwyty, wysięgniki z hakiem, pazury dociskowe, platformy, ostrogi, trawersy i inne.

G (grafika)



M (model z animacją)

Model 2 - 5 wózków obok siebie (typy wózków)



Rys. 3. Wiedza w aplikacji szkoleniowej w postaci nieformalnej (a) i sformalizowanej (b)

Formalizacja może być całkowita – wtedy wszystkie postacie wiedzy tj. cała treść aplikacji jest przechowywana poza kodem źródłowym, w lokalizacji zewnętrznej i ładowana do aplikacji bezpośrednio po jej uruchomieniu. Taka sytuacja pozwala na największą elastyczność, lecz wymaga bardzo dużo nakładów prac programistycznych, stąd na etapie uzasadnienia należy rozważyć poziom formalizacji. Może mieć bowiem ona charakter częściowy – np. niektóre lub wręcz wszystkie modele 3D, z racji problematycznej obsługi dynamicznego ładowania treści 3D w obecnie stosowanych silnikach VR, mogą być zapisane (zakodowane) wewnątrz aplikacji, o ile nie zakłada się ich zmiany w trakcie cyklu życia aplikacji.

3.4. Implementacja

Sposoby budowania aplikacji VR są szeroko znane i opisywane w literaturze krajowej i światowej [1, 2, 7, 15]. W proponowanym przez autora podejściu najważniejsze jest, aby przygotować odpowiednie mechanizmy do ładowania danych (tj. sformalizowanej wiedzy) z zewnętrznej lokalizacji do aplikacji bezpośrednio po jej uruchomieniu. W odróżnieniu od podejścia tradycyjnego, w pełni elastyczne wirtualne aplikacje szkoleniowe bezpośrednio po uruchomieniu zwykle nie zawierają żadnej wizualizacji – wszelkie obiekty są ładowane (instancjonowane) zgodnie z treścią danej, wybranej lekcji czy kursu, bezpośrednio po uruchomieniu danej wirtualnej sceny. Pozwala to na znaczne uproszczenie struktury

aplikacji, a zamiast wirtualnych scen przygotowuje się ich szablony, z odpowiednimi mechanizmami dynamicznego wypełniania treścią. Dla przykładu, jeżeli w tradycyjnym podejściu kurs obsługi maszyny składa się z 10 lekcji, potrzebna jest aplikacja zawierająca 11 wirtualnych scen – 10 scen lekcyjnych i 1 scena wyboru. W aplikacji elastycznej sceny będą tylko 2 – scena menu oraz szablon sceny lekcyjnej, wypełniany treścią w zależności od wybranej lekcji.

Tego typu podejście oznacza, że programowanie treści odbywa się wyłącznie jeden raz, jeżeli formalizacja jest pełna. Rozszerzanie treści aplikacji – np. dodanie kolejnych 10 lekcji – będzie polegać już nie na programowaniu, lecz na rozszerzeniu bazy wiedzy, co może polegać po prostu na uzupełnieniu plików w czterech podstawowych formach, (tekst, grafika, audio, model 3D), odpowiednim nazewnictwie i miejscu w strukturze plików. Podejście elastyczne nie tylko umożliwia rozszerzanie treści wirtualnych aplikacji szkoleniowych bez kodowania, ale też i znacznie skraca i ułatwia ten proces, znacznie powiększając skalowalność danej aplikacji.

4. Studium przypadku – wirtualny nauczyciel umiejętności technicznych

4.1. Koncepcja

Wirtualny nauczyciel umiejętności technicznych jest platformą VR do nauki praktycznych umiejętności technicznych, związanych głównie z obsługą pojazdów roboczych (głównym przypadkiem w omawianych badaniach jest kurs obsługi wózków jezdniowych), maszyn itp. Główna koncepcja zakłada podział kursu na lekcje i ćwiczenia, które dalej podzielone są na poszczególne bloki. Lekcje zawierają wiedzę ogólną i proceduralną – przekazują informacje w formie graficznej, tekstowej, dźwiękowej i interaktywnych modeli 3D prezentowanych w przestrzeni immersyjnej (rys. 4). Nauka umiejętności praktycznych odbywa się w trakcie ćwiczeń, które wymagają wykonania specyficznych akcji w określonym czasie. Aplikacja zawiera wbudowany moduł egzaminu. Całość platformy utworzono zgodnie z zaprezentowaną metodyką, w podziale na etapy i z uwzględnieniem etapu formalizacji. Całość aplikacji została przygotowana w środowisku Unity. Założono zastosowanie hełmu Oculus Rift CV1 oraz cyfrowej kierownicy do obsługi pojazdów.



Rys. 4. Wirtualne szkolenie obsługi wózka widłowego

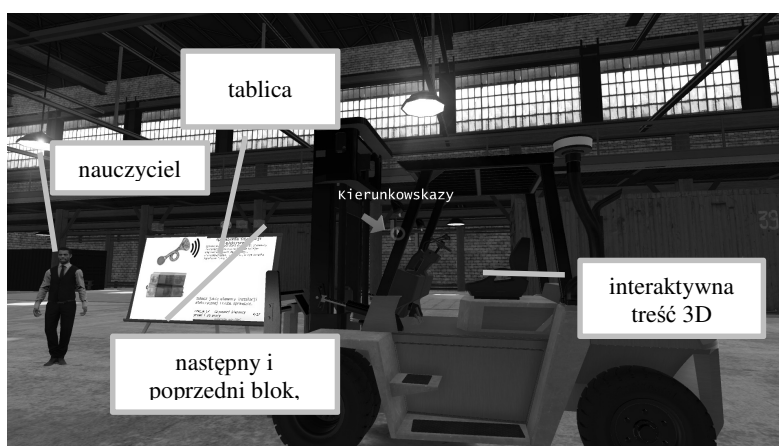
4.2. Struktura i funkcje aplikacji, czasochłonność budowy

Aplikacja wirtualnego nauczyciela została przygotowana w taki sposób, aby możliwe było prezentowanie różnych treści, związanych z procesem szkolenia oraz wykonywania

ćwiczeń: dźwięk (wypowiedzi instruktora, dźwięki maszyn i otoczenia), obrazy 2D, tekst (pisany, tabele, wykresy) oraz modele 3D. Zgodnie z zaprezentowanym podejściem, aplikacja jest elastyczna – wszystkie typy treści multimedialnych (2D, tekst, audio), dzięki przygotowaniu odpowiednich dla każdej lekcji szablonów można zmieniać bezpośrednio poza środowiskiem programistycznym – napisane algorytmy pozwalają na ich import z zewnętrznej lokalizacji podczas działania aplikacji.

Interaktywne modele 3D obiektów użyte w aplikacji utworzono wewnątrz silnika Unity, zatem formalizacja jest tylko częściowa. Tym niemniej, możliwe jest przypisywanie modeli 3D do poszczególnych bloków lekcyjnych i ćwiczeniowych spoza środowiska Unity, teoretycznie zatem wstępne zapełnienie bazy aplikacji odpowiednią liczbą modeli 3D umożliwiłoby dalsze rozszerzanie kursów i lekcji bez konieczności powrotu do kodu źródłowego.

Interakcja w aplikacji odbywa się poprzez wskazywanie obiektów za pomocą celownika i wciśnięcie odpowiedniego przycisku na joysticku. Po przejściu do wybranej lekcji teoretycznej (rys. 5), należy przechodzić między kolejnymi blokami i zapoznawać się z ich treścią, aż lekcja się zakończy.



Rys. 5. Aplikacja wirtualnego nauczyciela – podstawowe elementy sceny lekcyjnej

W ramach ćwiczeń praktycznych użytkownik jest proszony o wykonanie pewnych czynności w określonym czasie. Czas realizacji jest mierzony i rejestrowany do późniejszego wglądu i doskonalenia. Aby przejść do kolejnego bloku ćwiczeniowego, należy wykonać określoną czynność lub sekwencję czynności (np. wsiąść do wózka i uruchomić go oraz przejechać po wyznaczonej trasie). Zwykle warunkiem sukcesu jest zmieszczenie się w określonym czasie, np. poniżej 2 minut, jeśli czas zostanie przekroczony zadanie jest niezaliczone i trzeba wykonać je ponownie. Po wykonaniu wszystkich lekcji i ćwiczeń, należy podejść do wbudowanego w aplikacji egzaminu – testu wyboru.

Tabela 1 przedstawia czasochłonność poszczególnych etapów budowy aplikacji wirtualnego nauczyciela (z pominięciem identyfikacji i uzasadnienia oraz testowania rozwiązania), z perspektywy pracy członków zespołu projektowego, z uwzględnieniem poszczególnych etapów. Rozdzielono przygotowanie i programowanie środowiska oraz pierwszych trzech lekcji i jednego ćwiczenia od późniejszego przygotowania treści

pozostałych 6 lekcji i 3 ćwiczeń, aby uwypuklić uzysk czasowy z zastosowania aplikacji w podejściu elastycznym.

Tab. 1. Czasochłonność przygotowania aplikacji

Etap	Czynność	Czas pracy programistów VR (dni robocze)	Czas pracy inżyniera CAD (dni robocze)
1	Akwizycja wiedzy nieformalnej – 9 lekcji + 4 ćwiczenia	5	20
2	Formalizacja wiedzy – 3 lekcje i 1 ćwiczenie	10	3
3	Programowanie i implementacja pierwszego prototypu	60	2
4	Formalizacja wiedzy – 6 lekcji i 3 ćwiczenia	15	3
5	Implementacja drugiego prototypu aplikacji	5	2
Suma:		95	30

4.3. Weryfikacja skuteczności działania aplikacji

W ramach testowania aplikacji do wirtualnego szkolenia podeszło 12 niewykształconych osób, z grupy docelowej osób wchodzących na rynek pracy lub pracowników firm produkcyjnych i usługowych. Były to osoby wstępnie zaznajomione z technologią VR, co pomogło wyeliminować efekt nowości samej formy nauki i skupić się na jej treści. Aplikacja zawiera pełen kurs obsługi wózka jezdniowego, który w podejściu tradycyjnym trwa 39 godzin (5 dni roboczych). Kursanci podchodzący do szkolenia wirtualnego przechodzili przez pełen zakres kursu, a następnie podchodzili do egzaminu. Czas był nielimitowany, tj. kursant mógł spędzić na lekcjach i ćwiczeniach tyle czasu, ile uważał za stosowne.

Wszystkie osoby zdały egzamin kończący kurs. Czas spędzony na przejściu kursu nie był mierzony, ale żaden z kursantów nie przekroczył 4 godzin wewnątrz środowiska wirtualnego. Warto tutaj podkreślić znaczny, prawie 90% uzysk czasu spowodowany zastosowaniem technologii VR, w stosunku do tradycyjnego kursu, przy zachowaniu skuteczności nauki (zdany egzamin). Niestety w przypadku niektórych osób komfort korzystania z aplikacji był niewielki przez wzgląd na tzw. chorobę symulatorową (ang. *cyber sickness*) – częsta przypadłość związana z korzystaniem z systemów VR. Po przeprowadzeniu testów weryfikowano również opinie testujących na temat samej aplikacji – 100% testujących w badanej grupie preferowało tę formę kursu nad tradycyjną formą.

5. Podsumowanie

Rozwiązanie szkoleniowe zaprezentowane w artykule jest obecnie testowane i oceniane pod kątem możliwości wdrożenia, testy potwierdzają jego użyteczność i wysoką skuteczność, jak również atrakcyjną formę. W aspekcie stosowalności szkoleniowych aplikacji VR należy zatem podkreślić, że udało się udowodnić wyższość szkoleń

wirtualnych nad tradycyjnymi w zakresie umiejętności technicznych. Z punktu widzenia zarządzania przedsiębiorstwem produkcyjnym warto zatem rozważyć implementację tego rodzaju szkoleń w codziennej praktyce, również pod względem ekonomicznym (szkolenie może odbywać się samodzielnie, bez ciągłego udziału instruktora i trwa krócej niż tradycyjne). Tym bardziej istotne jest rozważanie problemu budowania tego rodzaju aplikacji w sposób maksymalnie efektywny i zapewniający ich długotrwałe, skuteczne działanie.

Podejście do budowy elastycznych aplikacji VR, zaprezentowane w artykule, jest rozwijane przez autora już od dłuższego czasu, w wyniku współpracy z przemysłem oraz własnych badań. Wdrożenie aplikacji w oparciu o zdefiniowaną metodykę jest łatwiejsze, szybsze i niesie ze sobą mniejsze ryzyko szybkiego wycofania z użycia w stosunku do tradycyjnych, doraźnie budowanych rozwiązań. Warto zauważyć znaczące oszczędności czasu podczas rozbudowywania aplikacji o dodatkową wiedzę (tabela 1). Tym niemniej, należy podkreślić że zaproponowane podejście wymaga znacznych nakładów pracy na etapie programowania, więc nie zawsze uzasadnione będzie jego wdrożenie. Podejście elastyczne ma sens tylko wtedy, gdy zakładany jest częsty lub intensywny rozwój aplikacji o dalsze treści w trakcie cyklu jej życia, a brak możliwości takiego rozwoju skutkowałby ryzykiem przedwczesnego wycofania aplikacji z użycia. Aby upewnić się co do sensu zastosowanego podejścia, zawsze warto wykonać etap identyfikacji i uzasadnienia – jak wynika z doświadczeń autora, przemysłowe rozwiązania VR nie zawsze poprzedzane są taką analizą, co niekiedy skutkuje zniechęceniem do samej technologii z racji niskiej skuteczności wdrożenia niewprawnie zaplanowanych rozwiązań.

Literatura

1. Burdea G.C., Coiffet P.: *Virtual Reality Technology*. John Wiley & Sons, Inc. (2003).
2. Martín-Gutiérrez J., Mora E., Añorbe-Díaz B., González-Marrero A., *Virtual Technologies Trends in Education*, EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education, Vol. 13, Iss. 2, pp. 469--486 (2017)
3. Grajewski D., Górski F., Zawadzki P., Hamrol A.: *Application of Virtual Reality Techniques in Design of Ergonomic Manufacturing Workplaces*. Procedia Computer Science, Vol. 25, pp. 289—301 (2013).
4. Rodriguez J., Gutiérrez T., Sánchez E.J., Casado S., Aguinaga I., *Training of Procedural Tasks Through the Use of Virtual Reality and Direct Aids*, Virtual Reality and Environments (2012).
5. Sigitov A., Hinkenjann A., Roth T., *Towards VR-based Systems for School Experiments*, Procedia Computer Science, Vol. 25, pp. 201—210 (2013).
6. Escobar-Castillejos D., Noguez J., Neri L., Magana A., & Benes B.. *A Review of Simulators with Haptic Devices for Medical Training*. Journal of Medical Systems, 40(4), 2016, 104.
7. Vankipuram A., Khanal P., Ashby A., Vankipuram M., Gupta A., Drumm Gurnee D., Josey K., Smith M., *Design and Development of a Virtual Reality Simulator for Advanced Cardiac Life Support Training*, Journal of Biomedical and Health Informatics, IEEE, Vol. 18, no. 4, pp. 1478--1484, 2014.
8. Ye J., Badiyani S., Raja V., Schlegel T., *Applications of virtual reality in product design evaluation*. In: 12th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International 2007), Beijing, China, 22-27 Jul 2007. Published in: HCI'07 Proceedings

- of the 12th international conference on Human-computer interaction: applications and services, Volume 4553 (Part 4). pp. 1190—1199 (2007)
9. Martin G., Wolfgang S., Ralph S., Kathrin B., Meta-model for VR-based design reviews, Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED Volume 4, Issue DS87-4, 2017, Pages 337-346
 10. Mujber T.S., Szecsi T., Hashmi M.S.J., Virtual reality applications in manufacturing process simulation, Journal of Materials Processing Technology, Vol.: 155, pp: 1834-1838
 11. Colombo S., Nazir S., Manca D., Immersive Virtual Reality for Training and Decision Making: Preliminary Results of Experiments Performed With a Plant Simulator, SPE Economics & Management, Vol. 6, Iss. 4 (2014), DOI: 10.2118/164993-PA
 12. Trojanowska J., Karwasz A., Machado J., Varela M.L.R., Virtual Reality Based Ecodesign In: Golinska-Dawson P., Kolinski A. (eds), Efficiency in Sustainable Supply Chain, Part II, Springer International Publishing, pp. 119—135 (2017), DOI 10.1007/978-3-319-46451-0_8
 13. Zimmermann P.: Virtual Reality Aided Design. A survey of the use of VR in automotive industry. In: Talaba D, Amditis A. Product Engineering. Springer Netherlands, pp. 277--296 (2008).
 14. Schreiber, G. Knowledge engineering. In V. Lifschitz, F. van Harmelen, and B. Porter, (Eds.), Handbook of Knowledge Representation (pp. 929-946). Amsterdam 2007, Elsevier Science.
 15. Górski F., Bun P., Wichniarek R., Zawadzki P., Hamrol A., Effective Design of Educational Virtual Reality Applications for Medicine using Knowledge-Engineering Techniques, EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education, Vol. 13, Iss. 2, 2017, pp. 395-416
 16. Bilyatdinova, A., Karsakov A., Bezgodov A., Dukhanov A., Virtual Environment for Creative and Collaborative Learning, Advances in Intelligent Systems and Computing, Volume: 416 Pages: 371-381, 2016
 17. Wan, H., Gao, S., Peng, Q., Dai, G. & Zhang, F., Mivas: A multi-modal immersive virtual assembly system, Proceedings of DETC'04, 2004
 18. Buń P., Górski F., Zawadzki P., Wichniarek R., Hamrol A., Selection of optimal software for immersive virtual reality application of city bus configurator, Advances in Intelligent Systems and Computing, 571, 2017, pp. 480-489
 19. Górski F., Building Virtual Reality applications for engineering with knowledge-based approach, Management and Production Engineering Review, Vol. 8, No. 4, 2017.
 20. Stokes M., (2001). Managing Engineering Knowledge; MOKA: Methodology for Knowledge Based Engineering Applications, Professional Engineering Publishing, London 2001.
 21. Górski F., Zawadzki P., Hamrol A., Knowledge based engineering as a condition of effective mass production of configurable products by design automation, Journal of Machine Engineering Vol. 16, Iss. 4, pp. 5-30, 2016

Dr inż. Filip GÓRSKI
 Katedra Zarządzania i Inżynierii Produkcji
 Politechnika Poznańska, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania
 60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3
 tel./fax: (0-61) 665 2708
 e-mail: filip.gorski@put.poznan.pl