



REGIONALNE CENTRUM DOSKONAŁOŚCI
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

**Raport dotyczący analizy uwarunkowań technicznych
wdrażania technologii VR w dydaktyce na
kierunkach *automatyka i robotyka* oraz *informatyka*
prowadzonych przez WEiI z potencjalnymi
zastosowaniami dla Przemysłu 4.0**

Raport opracowali: dr inż. Paweł Dymora
 dr inż. Marek Bolanowski
 dr inż. Mirosław Mazurek
 mgr inż. Bartosz Kowal
 mgr inż. Mateusz Salach

Spis treści

1. Wprowadzenie.....	6
2. Historia Wirtualnej Rzeczywistości	7
2.1. Ewolucja technologii wirtualnej rzeczywistości.....	8
2.2. Klasyfikacje wirtualnej rzeczywistości	16
2.3. Przegląd urządzeń VR	20
2.4. Charakterystyka wybranych zestawów VR HMD.....	22
2.4.1. Podstawowe parametry HMD.....	22
2.4.2. HTC Vive	22
2.4.3. Sony PlayStation VR	24
2.4.4. Oculus Quest	25
2.5. Porównanie parametrów popularnych zestawów VR HMD.....	27
2.6. Rozszerzenia standardowych zestawów VR.....	27
2.7. VR w chmurze	30
2.7.1. Podział usług VR dostępnych w chmurze obliczeniowej.....	31
2.7.2. Wymagania dotyczące przepustowości i opóźnień w sieci.....	34
2.8. Środowiska programistyczne do budowy aplikacji VR.....	35
2.8.1. Programowe silniki gier i aplikacji VR.....	37
2.8.2. Zintegrowane środowisko programistyczne Unity	38
2.8.3. Zintegrowane środowisko programistyczne Unreal	39
2.9. Wady i zalety stosowania wirtualnej rzeczywistości.....	40
3. Przykłady wykorzystania technologii VR	44
3.1. Zastosowanie technologii VR w obszarze edukacji	46
3.2. Zastosowanie technologii VR w obszarze przemysłowym	57
3.3. Zastosowanie technologii VR w rozwoju „smart city”	65
4. Analiza możliwości wdrożenia technik VR w procesie nauczania dla wybranych modułów na kierunkach prowadzonych na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej	67
4.1. Wprowadzenie	67



4.2. Potencjał technologiczny Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej.....	70
4.3. Przygotowanie kadry do wdrożeń technologii VR w edukacji.....	79
4.4. Kryteria oceny możliwości wdrożenia elementów VR w procesie edukacyjnym na WEiI PRz.....	81
4.5. Badanie możliwości wdrożenia elementów VR na kierunku <i>Informatyka</i>	83
4.6. Badanie możliwości wdrożenia elementów VR na kierunku <i>Automatyka i Robotyka</i>	95
5. Podsumowanie.....	105
Bibliografia	108



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego



Rzeczpospolita
Polska



POLITECHNIKA
RZESZOWSKA
im. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA



Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 nr projektu 027/RID/2018/19 kwota finansowania 11 999 900 zł.

Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza
al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów; tel. + 48 17 86 51 100, fax + 48 17 85 41 260
www.rid.prz.edu.pl

1. Wprowadzenie

W obecnych czasach jesteśmy obserwatorami gwałtownego rozwoju nowoczesnych technologii związanych z informatyką, elektroniką, telekomunikacją, a także automatyką i robotyką. Rozwój ten ma znaczący wpływ na różne obszary życia społecznego, gospodarczego oraz kulturalnego m.in. poprzez poprawę jakości życia, czy też zwiększenie efektywności produkcji przemysłowej. Jednakże, aby te zmiany były w pełni wykorzystane i we właściwy sposób zaimplementowane, niezbędne jest ciągle i systematyczne dostosowywanie procesów edukacyjnych do bieżących wymagań stawianych przez przemysł oraz innowacje technologiczne. Działania te powinny doprowadzić do przygotowania absolwentów szkół i uczelni w taki sposób, aby potrafili oni szybko odnaleźć się w nowych i wymagających środowiskach pracy. Biorąc pod uwagę dużą dynamikę postępu technologicznego jest to poważne wyzwanie m.in. dla środowiska akademickiego i większości branż przemysłowych. Jednym z rozwiązań technologicznych, które mogą ułatwić to zadanie jest wirtualna rzeczywistość, która zwłaszcza w ostatnich latach bardzo szybko się rozwija i znacząco wkracza nie tylko w obszar rozrywki, ale również i edukacji, zarówno tej formalnej, jak i pozaformalnej.

Niniejszy raport stanowi przegląd dotychczasowych osiągnięć w zakresie rozwoju technologii wspierających wirtualną rzeczywistość, dostępnych narzędzi, a także przykładów jej implementacji w procesie kształcenia. Obejmuje analizę aktualnego poziomu jej wykorzystania na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej, a także analizę potencjału wdrożenia w ramach modułów kształcenia ujętych w planie studiów na kierunkach informatyka oraz automatyka i robotyka. Na podstawie tej analizy sformułowano rekomendacje w zakresie dalszego wykorzystania wirtualnej rzeczywistości w celu zwiększenia efektywności oraz jakości kształcenia na WEiI przyszłych kadr inżynierów.

Raport powstał w ramach realizacji projektu „*Regionalne Centrum Doskonałości Automatyki i Robotyki, Informatyki, Elektrotechniki, Elektroniki oraz Telekomunikacji Politechniki Rzeszowskiej*” w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „*Regionalna Inicjatywa Doskonałości*” w latach 2019-2020 nr projektu 027/RID/2018/19.



2. Historia Wirtualnej Rzeczywistości

Wirtualna Rzeczywistość (ang. Virtual Reality, VR) należy obecnie do grona tych technologii, które coraz częściej są wykorzystywane w wielu dziedzinach życia, takich jak rozrywka, edukacja, kosmonautyka, przemysł zbrojeniowy, medycyna, elektronika przemysłowa czy też nowa strategia wdrażania procesów produkcyjnych Industry 4.0 (w j. polskim Przemysł 4.0). Technologie wirtualne takie jak wirtualna rzeczywistość, rzeczywistość rozszerzona (ang. Augmented Reality, AR) oraz rzeczywistość mieszana (ang. Mixed Reality, MR) dość szybko ewoluują i ich udział w światowym rynku znacząco wzrasta [1, 2].

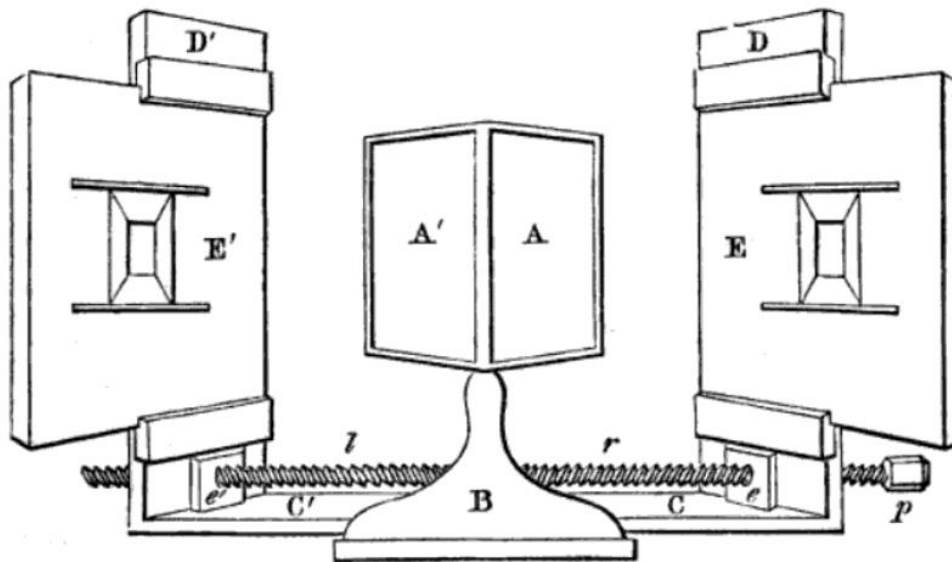
Trudno jest jednoznacznie określić moment powstania założeń i koncepcji wirtualnej rzeczywistości. Początki jej powstawania można zaobserwować już w latach 60-tych XX wieku, a dokładnie w 1964 roku, kiedy to Ivan Sutherland w swoim esej [3] traktuje wyświetlacz komputerowy jako „okno”, przez które człowiek może zobaczyć i poczuć wirtualny świat. W 1962 roku Morton Heilig podczas projektowania Sensoramy [4] zaprezentował nieco odmienne podejście. Stwierdził, że urządzenie ma wyświetlać immersyjny film z dodatkowymi bodźcami, takimi jak dźwięki stereo, pochylenie fotela, wibracje, zapach oraz podmuch wiatru. Od czasu powstania pierwszych systemów wirtualnej rzeczywistości sformułowano kilka różnych definicji w zależności od charakterystyki i zastosowania danego systemu. W 1992 roku Bishop w swoich badaniach [5], bazując na koncepcji Sutherland'a [3], przedstawił koncepcję środowiska VR jako interaktywną, immersyjną, trójwymiarową grafikę, generowaną w czasie rzeczywistym, która w połączeniu z odpowiednią technologią wyświetlania obrazu sprawia, że wirtualny model świata daje wrażenie immersyjności użytkownikom. Inną definicję wirtualnej rzeczywistości przedstawił w 2007 roku Guitérrez [6]. Określił ją jako koncepcję komputerowo generowanego sztucznego środowiska, zawierającego interaktywną grafikę. System ten musiał zapewniać fizyczną i/lub psychologiczną immersję w sztucznie wygenerowanej rzeczywistości.

Analizując różne definicje systemów VR, można wyodrębnić pewne wspólne cechy. Jest to przede wszystkim immersja – uczucie obecności w wirtualnym środowisku oraz interakcja – możliwość współdziałania z tym środowiskiem. W szczególności

to immersja stymuluje zmysły i pozwala poczuć podobieństwo symulowanych obiektów z obiektami rzeczywistymi [7].

2.1. Ewolucja technologii wirtualnej rzeczywistości

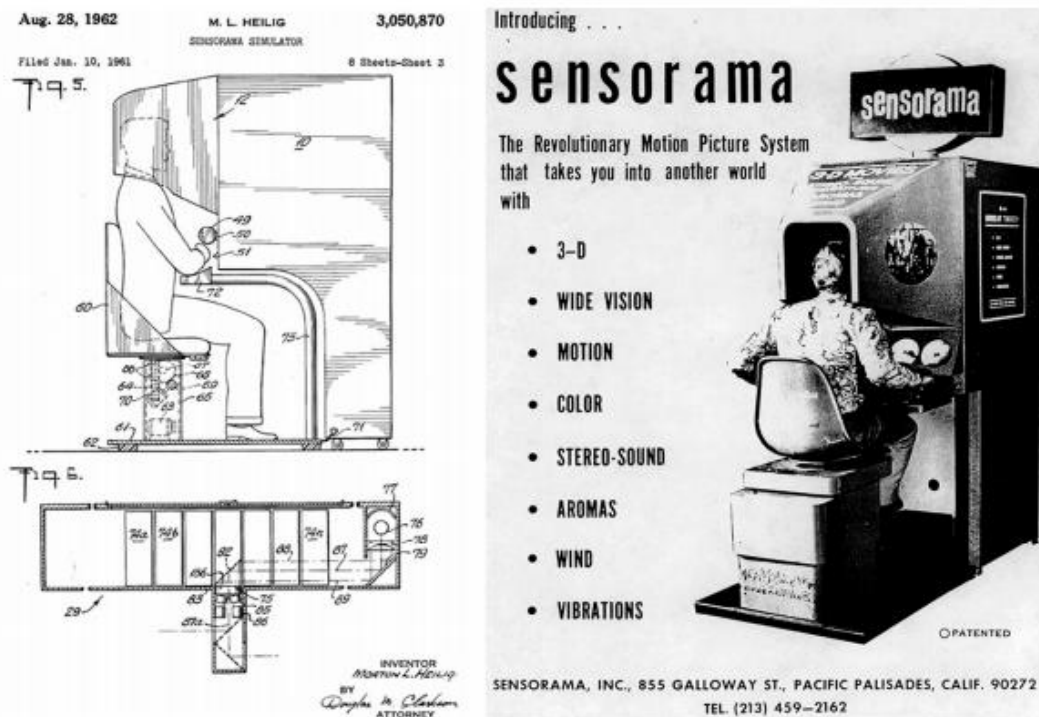
Pierwsze systemy wirtualnej rzeczywistości opierały się na koncepcji stereoskopu z 1838 roku [10]. Badania Sir Charles'a Wheatstone'a wykazały, że mózg człowieka potrafi łączyć ze sobą dwa obrazy (po jednym na każde oko), dzięki czemu obraz wydaje się mieć wrażenie głębi i przestrzeni. Koncepcja ta w 1840 roku została wykorzystana przez Wheatstone w budowie pierwszego stereoskopu (rys. 1) wykorzystującego dwa lustra ustawione pod kątem 45° , które odbijały ustawione naprzeciw siebie obrazy, tworząc pozornie przestrzenny obraz [11, 12].



Rys. 1. Szkic budowy stereoskopu Wheatstone'a ze zgłoszonego patentu [12].

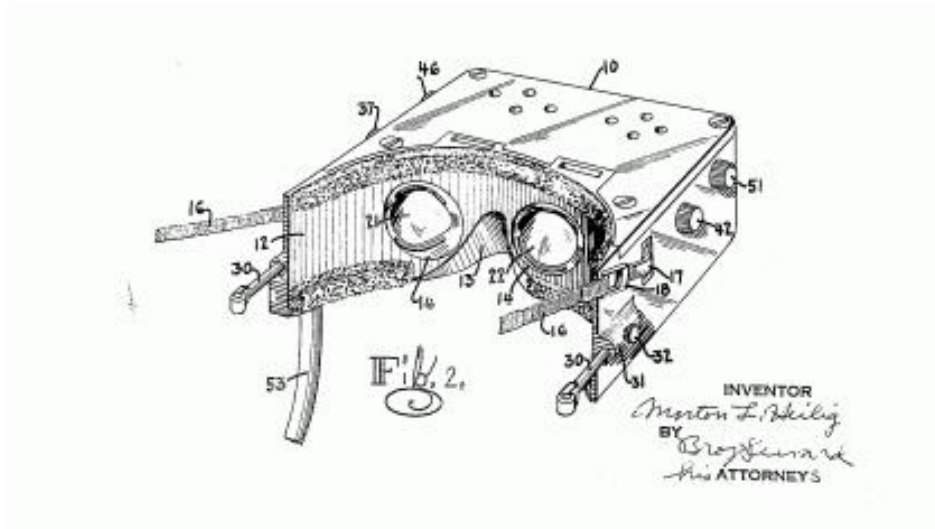
W 1956 roku Morton Heilig stworzył „Sensoramę” [13], będącą pierwszym systemem analogowej rzeczywistości wirtualnej (opatentowanej w 1962). Sensorama była dużym urządzeniem, które łączyło w sobie wiele technologii zwiększających immersję użytkowników, poprzez połączenie kolorowego trójwymiarowego obrazu, dźwięku stereo zgodnego ze ścieżką filmową, podmuchami powietrza oraz aromatami (rys. 2). Dodatkowo fotel urządzenia odchyłał ciało widza [8, 9]. Heilig nie był w stanie uzyskać wsparcia

finansowego dla swoich pomysłów i patentów, dlatego prace nad Sensoramą zostały wstrzymane [14].



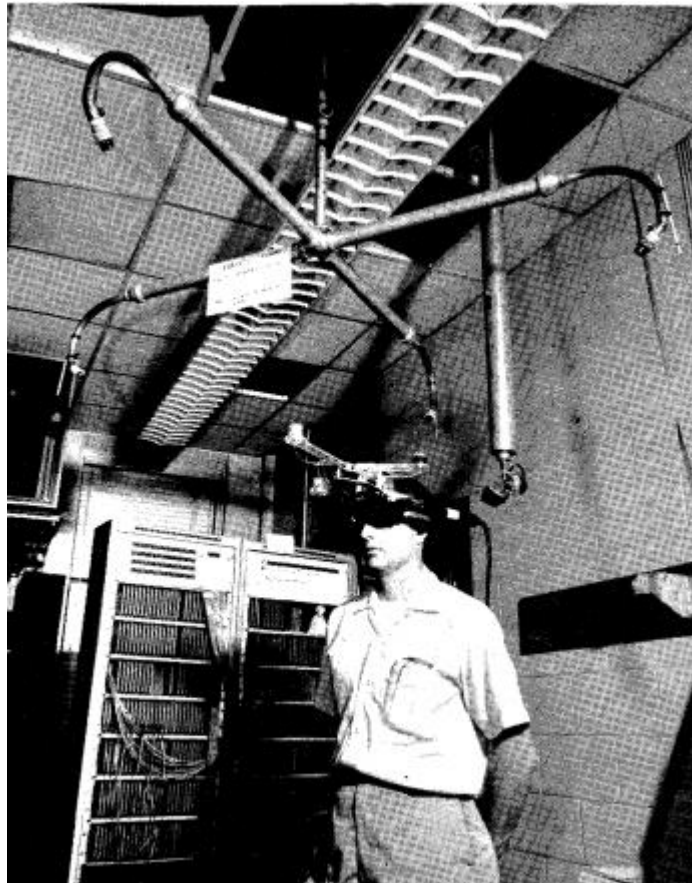
Rys. 2. Szkic pierwszego immersyjnego systemu wirtualnej rzeczywistości oraz zdjęcie pokazane podczas prezentacji eksperymentalnego produktu [13, 15].

Kolejnym krokiem w rozwoju VR było opatentowanie w 1960 roku urządzenia o nazwie „Telesphere Mask” [16]. Był to pierwszy „wyświetlacz zakładany na głowę” (ang. Head-Mounted Display, HMD), podobny w swojej budowie do dzisiejszych gogli VR, z wyjątkiem dotyczącym wykorzystanej technologii przesyłania obrazu (rys. 3). Do przesyłania stereoskopowych obrazów telewizyjnych użyto zminiaturyzowanych lamp projekcyjnych. Zapewniło to szeroki 140° kąt widzenia oraz dźwięk stereo. Podobnie jak w przypadku Sensoramy, Heilig nie był w stanie uzyskać wsparcia finansowego dla swojego patentu, dlatego prace nad Telesphere Mask zostały również wstrzymane [14].



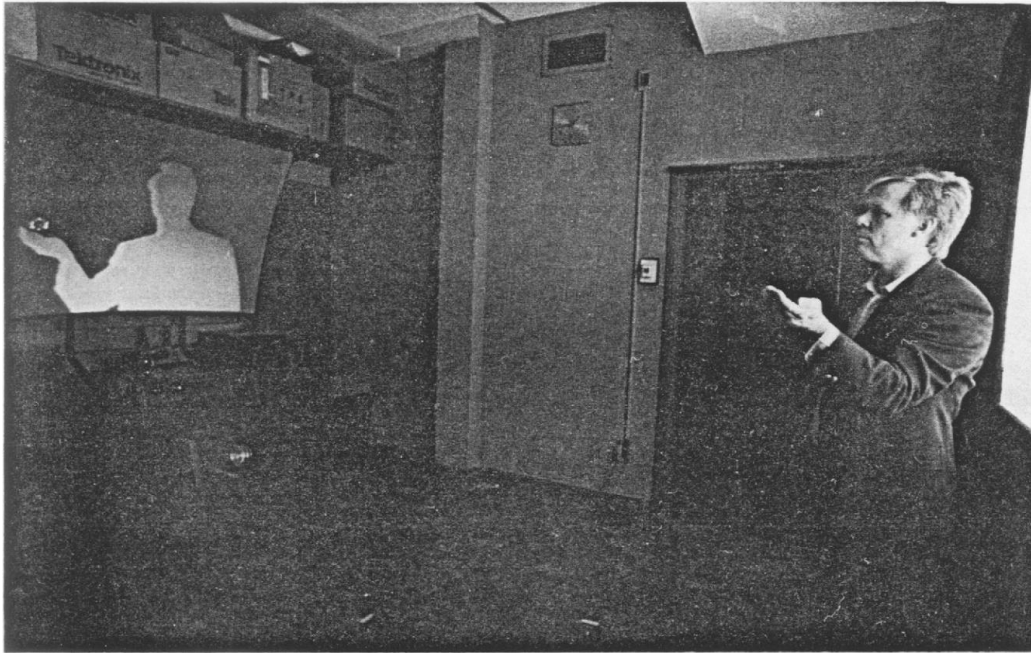
Rys. 3. Szkic Telesphere Mask ze zgłoszonego patentu [16].

W 1965 roku, Ivan Sutherhand w swoim eseju „The Ultimate Display” [3] przedstawił koncepcję dotyczącą wirtualnego świata, tj. „Ostatecznego wyświetlacza”, jako pomieszczenia, w którym to komputer może kontrolować każdą tam znajdującą się materię. Trzy lata później, w 1968 roku, Sutherhand [17] stworzył pierwsze urządzenie wirtualnej rzeczywistości zakładane na głowę o nazwie „Miecz Damoklesa” (ang. The Sword of Damocles). Połączył on stereoskopowy wyświetlacz z programem komputerowym, wyświetlającym proste wirtualne kształty, które potrafiły zmieniać swoją perspektywę przy poruszaniu głową przez użytkownika. Prototyp wyświetlacza nie był rozwijany, być może dlatego, że waga wyświetlacza wymagała zawieszania go na mechanicznym ramieniu (rys. 4). Warto podkreślić, że wyświetlacze były częściowo przezroczyste, więc użytkownicy nie byli całkowicie odcięci od świata rzeczywistego [18]. Zastosowanie półprzezroczystości wraz z innymi metodami sprawiło, że system ten często jest przedstawiany jako przodek technologii rozszerzonej rzeczywistości.



Rys. 4. Miecz Damoklesa - pierwszy wyświetlacz VR typu HMD [17].

Pierwsze interaktywne środowisko wirtualnej rzeczywistości powstało w 1975 roku. Myron Krueger rozpoczął pracę nad systemem „VIDEOPLACE”, który korzystał z grafiki generowanej komputerowo, projektorów, kamer wideo oraz technologii śledzenia pozycji użytkownika (rys. 5). Warto podkreślić, że system ten nie wykorzystywał okularów, gogli czy rękawic. VIDEOPLACE opierał się na wykorzystaniu ciemnych pomieszczeń z dużymi ekranami projekcyjnymi, które otaczały użytkownika. Jeden z ekranów o wymiarach 8 x 10 cali wykorzystywany był do interakcji z osobami w innych pokojach. Osoby w połączonych pokojach mogły widzieć ten sam obraz, który widział użytkownik. Ponadto, użytkownik poruszając się po poszczególnych pokojach, generował obraz poruszającej się osoby, który mógł być zmniejszany, powiększany lub obracany. Dostępna była też opcja zmiany kolorów. System ten pozwalał na interakcję nie tylko z innymi użytkownikami, ale również z obiektami [19].

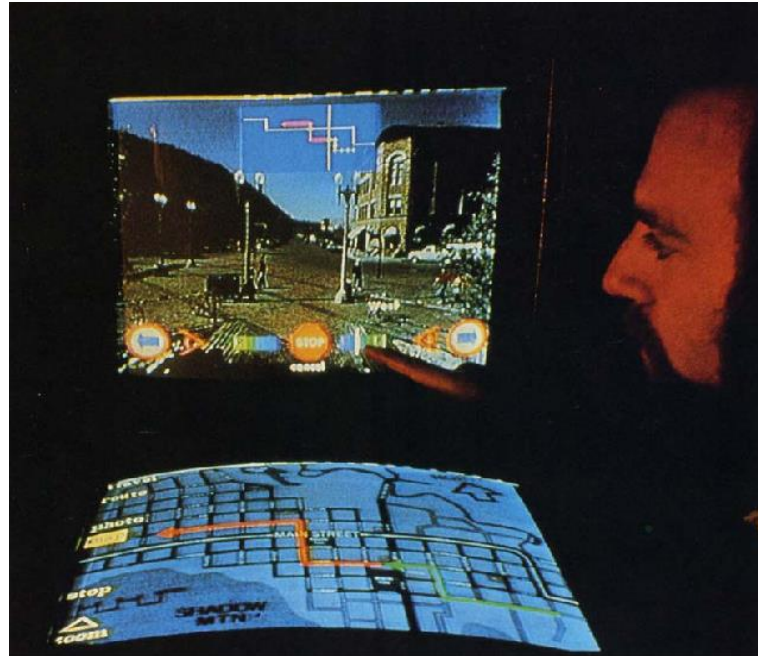


Rys. 5. VIDEOPLACE – interaktywne medium człowiek-maszyna [20].

W 1977 roku MIT (ang. *Massachusetts Institute of Technology*) przedstawiło system wirtualnej reprezentacji otoczenia dla miasta Aspen w stanie Colorado. System nazwano „Aspen Movie Map” (rys. 6). Umożliwiał on wirtualną wędrowkę po mieście, realizowaną w podobny sposób jak popularna dziś aplikacja Google Street View. Program stworzony został na podstawie zdjęć robionych z poziomu samochodu jadącego przez miasto. Nie był to system HMD, ale używał systemu interakcji i stwarzał wrażenie, że wyświetlana rzeczywistość (wirtualna) może przenosić ludzi w inne miejsca.

W latach 80-tych XX wieku nastąpiło znaczące zwiększenie zainteresowania wirtualną rzeczywistością. W 1982 roku Zimmerman [21], opatentował rękawicę z optycznymi czujnikami, służącymi do pomiaru zgięcia palca. Kiedy użytkownik poruszał palcami, ilość światła padającego na fotokomórkę zmieniała się, co następnie przekształcało ruchy palców w sygnały elektryczne. Uważa się, że takie rękawice zapoczątkowały tworzenie systemów rozpoznawania gestów [22]. W drugiej połowie lat 80-tych XX wieku, Furness pracował nad projektem symulacyjnym dla Sił powietrznych USA, w którym to opracował „Symulator Systemów Lotniczych” (ang. *Visually Coupled Airborne Systems Simulator, VCASS*) [23]. System oferował pilotom wirtualny widok, w obszarze którego wyświetlano informacje w czasie

rzeczywistym. Projekt VCASS finalnie doprowadził do stworzenia „Super kokpitu”, w którym informacje i trójwymiarowe mapy generowane komputerowo wyświetlane były na specjalnie zaprojektowanym do tego celu wyświetlaczu HMD [24].



Rys. 6. System Aspen Movie Map, 1978–1983 [25].

Kolejnym krokiem w rozwoju systemów VR było uruchomienie system „Virtuality” w 1991 roku przez Virtuality Group. Był to zestaw arkadowych gier zręcznościowych na platformę wirtualnej rzeczywistości. Warto podkreślić, że był to pierwszy masowo produkowany system rozrywki VR. System ten posiadał zestawy słuchawkowe stereo, zaś realistyczne, stereoskopowe, trójwymiarowe obrazy wyświetlane były w czasie rzeczywistym [26].

W 1992 roku zaprojektowano „audiowizualne automatyczne środowisko wirtualne” (ang. Cave Automatic Virtual Environment, CAVE) [27]. CAVE to immersyjne środowisko wirtualnej rzeczywistości umieszczone w pomieszczeniu. Obrazy były wyświetlane na trzech do sześciu ścianach pomieszczenia. System projekcyjny miał bardzo wysoką rozdzielczość, co wymagało zastosowania pikseli o bardzo małych rozmiarach, aby zachować iluzję rzeczywistości. Był to wymóg wynikający z konieczności oglądania obrazów z bliskiej odległości.

Mobilność systemów HMD udało się osiągnąć w 1995 roku. Firma Nintendo wypuściła na rynek konsolę „Virtual Boy” (rys. 7), która wyświetlała trójwymiarowy obraz generowany za pomocą czerwonych diod. Wadą tej konsoli był brak kolorów (nie licząc odcieni czerwieni), brak otwartości oprogramowania oraz niekorzystny wpływ na stan zdrowia użytkowników [28].



Rys. 7. Konsola Nintendo Virtual Boy [29].

W obszarze implementacji immersyjnego świata znaczącym osiągnięciem było wdrożenie przez firmę Google LLC w 2007 roku nowej funkcjonalności map, a mianowicie „Street View 2D”, a w 2010 roku stereoskopowej wersji 3D. Street View to funkcja pozwalająca na wirtualne odwzorowanie świata poprzez połączenie ze sobą panoramicznych zdjęć. Rozwiązanie to pozwoliło przemieszczać się po wirtualnym świecie za pomocą strzałek na klawiaturze czy myszy, jednocześnie zmieniając kierunek i kąt patrzenia na obraz [30].

Rok 2014 można uznawać za początek znanych obecnie systemów wirtualnej rzeczywistości. W tym roku Google LLC wypuścił na rynek „Cardboard”, kartonowe gogle do samodzielnego składania, które miały być obudową do popularnych smartfonów. Na pierwszy zestaw Google Cardboard składały się: kartonowy arkusz gogli, dwie soczewki o ogniskowej 45 mm, magnes neodymowy oraz ferrytowy, tag NFC, rzepy oraz gumka [31]. W tym samym roku Samsung, zaprezentował własne gogle – „Samsung Gear VR”. Zestaw ten używa smartfona do generowania wirtualnej rzeczywistości [32]. Popularność tego rozwiązania sprawiała, że Facebook kupił firmę Oculus VR, za 2 miliardy dolarów i przyspieszył budowę następnej generacji gogli VR [33].

W latach 2015-2016 wiele firm, w tym: HTC, Google, Apple, Amazon, Microsoft Sony, Samsung stworzyło i wypuściło na rynek własne zestawy gogli VR. Większość zestawów VR obsługiwała dynamiczny, przestrzenny dźwięk. Stosowane interfejsy dotykowe były nadal słabo rozwinięte. Rozwiązania tego typu używają autorskich kontrolerów ręcznych z systemem śledzenia ruchu, pozwalających na interakcję użytkownika z komputerem. Jakość wyświetlanego obrazu była znacznie lepsza od poprzednich rozwiązań i pozwalała na oglądanie obrazów w rozdzielczości 1080×1200 pikseli na pojedyncze oko [34]. W ramach kontynuacji prac nad technologią VR, w kolejnych latach wyprodukowano kolejne modele gogli VR, tj.: Oculus Quest, Nintendo Labo VR Kit, Oculus Go, Oculus Rift S, HTC Vive Pro, HTC Vive Cosmos, itd. Od 2015 roku trwa era współczesnych gogli VR [35]. Najważniejsze etapy związane z historią rozwoju VR zawarto w tabeli 1.

Tabela 1. Rozwój technologii VR [36].

Rok	Kategoria	Opis
1856	Przodek-VR	Charles Wheatstone tworzy pierwszy stereoskop.
1957	Przodek-VR	Morton Heilig tworzy „Sensorame”.
1960	Przodek-VR/HMD	Morton Heilig tworzy „Telesphere Mask”.
1961	Przodek-VR/HMD	Philco Corporation tworzy „Headsight” – przodka znanych urządzeń HMD.
1965	Przodek-VR/HMD	Ivan Sutherland publikuje koncepcje „Ostatecznego wyświetlacza”.
1968	Pierwszy VR	Ivan Sutherland tworzy „Miecz Damoklesa” (ang. The Sword of Damocles). Uznany za pierwszy HMD VR.
1969	VR	Myron Krueger pracuje nad wirtualnym interaktywnym środowiskiem „VIDEOPLACE”.
1970-1980	VR/Symulator	Stworzenie pierwszego symulatora lotów wykorzystującego HMD.
1978	VR	MIT przedstawiło system wirtualnej reprezentacji otoczenia dla miasta Aspen w stanie Colorado.
1982	VR w filmach	Premiera filmu „Tron”. Dzięki filmowi publiczność dostała możliwość poznania koncepcji wirtualnego świata.
1987	VR	Termin „Wirtualna Rzeczywistość” został formalnie sformułowany przez Jarona Laniera.
1991	VR/Gry	Grupa „Virtual Reality” wypuszcza serię gier arkadowych na VR.
1995	VR/Gry	Nintendo tworzy własną konsolę VR – „Virtual Boy”, Forte Technologies wypuszcza na rynek własne gogle „VFX1 VR Headgear”.

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 nr projektu 027/RID/2018/19 kwota finansowania 11 999 900 zł.

1999	VR w filmach	Premiera filmu „Matrix” ma wielki wpływ na rynek VR.
2010	VR	Przedstawienie pierwszego prototypu „Oculus Rift”.
2011	VR/HMD	Apple wypuszcza przeglądarkę „Virtual Reality” na urządzenia iPhone.
2014	VR	Premiera gogli „Google Cardboard”.
2015	VR	Premiera Samsung „Gear VR”.
2015	VR/MR	Microsoft ogłasza pracę nad goglami „HoloLens”.
2016	VR	Premiera gogli „Oculus Rift” oraz gogli „HTC” dla konsumentów.
2016	VR/Gry	Sony wypuszcza na rynek system „PlayStation VR” dla konsoli PS4.

Oprócz rynku gier komputerowych, który napędza przemysł rozrywkowy VR, prowadzone są również prace badawcze w ramach których realizowane są złożone eksperymenty naukowe. Eksperymenty te wykonuje się w laboratorium przy użyciu systemów VR, eliminując, a raczej zastępując fizyczną obecność w rzeczywistym środowisku. Dzięki temu możliwe jest badanie rzeczywistości w symulowanym środowisku, które zapewnia możliwości interakcji oraz odbioru różnego rodzaju bodźców.

2.2. Klasyfikacje wirtualnej rzeczywistości

Jak przedstawiono w rozdziale 2.1 można wyróżnić wiele podejść do zjawiska immersyjności. Powstało wiele różnych podziałów wirtualnej rzeczywistości. Jednym z podziałów jest skategoryzowanie VR ze względu na przeznaczenie wirtualnego systemu na systemy [37, 38]:

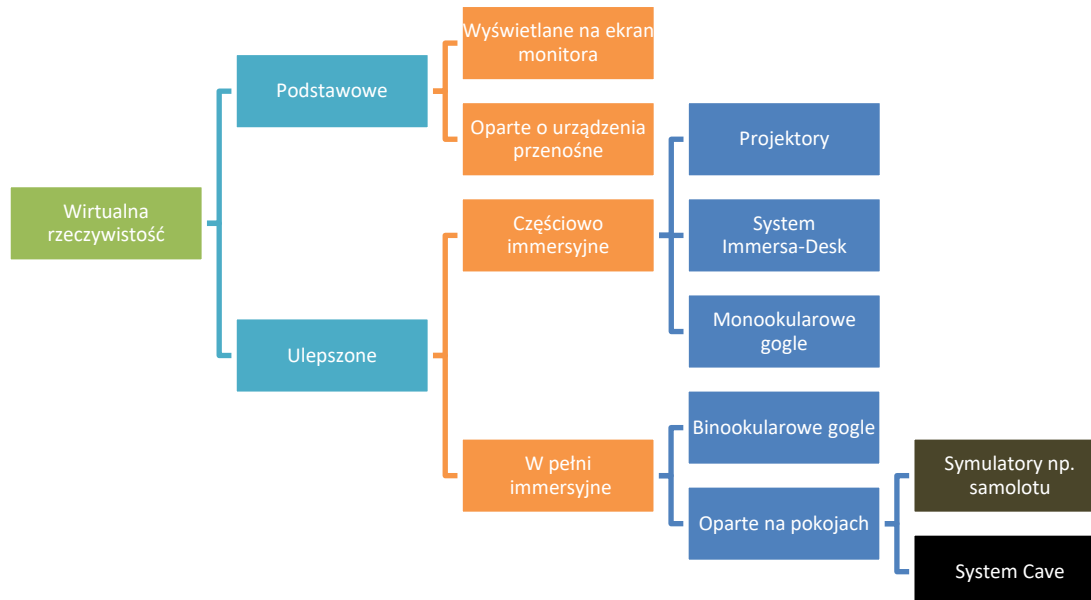
- Nie-immersyjne – są to systemy wirtualnej rzeczywistości, które w najmniejszym stopniu wpływają na immersyjność użytkownika. Przykładem takiego systemu są wirtualne środowiska wyświetlane w oknie aplikacji za pomocą standardowego monitora. Interakcja z wirtualnym środowiskiem jest ograniczona do standardowych środków komunikacji z systemem komputerowym tj. mysz komputerowa, klawiatura, gamepad. Istnieje także możliwość interakcji z urządzeniami 3D np. „Data Glove” [39]. Systemy należące do tej kategorii mają zarówno swoje wady, jak i zalety. W większości przypadków takie systemy wirtualne nie wymagają tak dużej mocy obliczeniowej oraz żadnych specjalistycznych urządzeń do wyświetlania

wirtualnego świata. Można więc uznać, że systemy nie-immersyjne są najtańszym i najbardziej dostępnym systemem wirtualnym. Jednak taki system nigdy nie osiągnie wysokiego poziomu immersji z powodu ograniczeń dotyczących interakcji oraz wyświetlanego środowiska. Biorąc pod uwagę aktualne potrzeby można stwierdzić, że systemy te są obecnie mało przydatne. Jednakże, można zaobserwować związek między systemami nie-immersyjnymi, a w pełni immersyjnymi. Do programowania systemów w pełni immersyjnych zawsze będzie potrzebny system pozwalający na zaprojektowanie obiektów, interakcji itp.

- Pół-immersyjne – zwane także systemami hybrydowymi. Podobnie jak systemy nie-immersyjne wykorzystują wyświetlacz do interakcji z użytkownikiem. Systemy te pozwalają użytkownikom doświadczyć wirtualnego, trójwymiarowego środowiska, jednocześnie pozostając połączonymi z otaczającym światem i jego efektami dźwiękowymi, warstwą wizualną, bodźcami zapachowymi oraz fizycznymi, a także zachowując kontrolę nad obiektami fizycznymi. W przeciwieństwie do systemu nie-immersyjnego, system hybrydowy jest wyposażony w dodatkowe urządzenia i aplikacje służące do pogłębienia immersyjności użytkownika ze światem wirtualnym. W przypadku projektowania systemów hybrydowych z polepszoną immersją, konieczna jest instalacja odpowiedniego wyświetlacza lub wyświetlaczy, sensorów śledzących ruch, interfejsów użytkownika oraz specjalnego sprzętu czy specjalistycznego oprogramowania renderującego cyfrowy obraz 3D. Obrazy wyświetlane w systemach pół-immersyjnych są znacznie bardziej zaawansowane od obecnie używanych rozwiązań w systemach w pełni immersyjnych (goglach wirtualnej rzeczywistości), lecz niebawem może się to zmienić [40]. Najbardziej znaczącym przykładem systemów hybrydowych mogą być symulatory lotów [41], które mogą posiadać kokpit samolotu, zestaw wyświetlaczy o wysokiej rozdzielczości oraz program komputerowy, który uruchamia ogólną symulację i przesyła cyfrowy obraz 3D na te ekrany. Użytkownik za pomocą kontrolerów np. joysticka oraz innych manipulatorów może sterować samolotem. Pół-immersyjna rzeczywistość

wirtualna przynosi znaczne korzyści w wielu branżach, takich jak służba zdrowia [42], budownictwo [43] czy kosmonautyka i lotnictwo [41].

- W pełni-immersyjne – wirtualna rzeczywistość została oparta na zasadzie dostarczania pełnej immersji w celu poprawy interakcji człowieka z komputerem. Aby tego dokonać stworzono technologie HMD (gogle wirtualnej rzeczywistości). Systemy te obecnie są prawdopodobnie najbardziej znaną implementacją VR, w której to użytkownik nosi gogle, albo używa jakiegoś rodzaju wyświetlacza sprzężonego z głową np. HTC Vive, Oculus Rift, PlayStation VR [44]. W obecnej postaci zestawy VR mają na celu symulację takiego poziomu immersji i poziomu interaktywności oraz czasu reakcji, który zapewnia wartości zbliżone do swojego odpowiednika w świecie rzeczywistym. Obecnie nie ma systemów w pełni-immersyjnych w kontekście symulacji niektórych zmysłów tj. dotyk, zapach, smak. Wirtualna rzeczywistość już oferuje realistyczne rozwiązania zarówno dla wzroku, jak i słuchu, a firmy technologiczne zdecydowały się na stworzenie nowej generacji technologii dotykowej (np. wspomniany wcześniej Data Glove) [39].



Rys. 8. Podział systemów wirtualnej rzeczywistości według Muhanna [45].

Podział systemów ze względu na konieczność posiadania specjalnych urządzeń do wyświetlania i wskazywania zaproponował w swojej pracy Muhann [45] (rys. 8).

Systemy, które nie posiadają specjalnych urządzeń zostały oznaczone jako podstawowe systemy VR (ang. *Basic*), zaś systemy, które wymagają dodatkowych urządzeń zostały przedstawione jako ulepszone systemy VR (ang. *Enhanced*).

Działanie systemów wirtualnych z kategorii *podstawowej* opiera się na wyświetlaniu trójwymiarowych obrazów na ekranie wyświetlacza oraz sterowaniu za pomocą wskaźnika. Systemy VR oparte na kategorii podstawowej można podzielić na wyświetlacze oparte na monitorach oraz oparte na urządzeniach przenośnych tj. smartfonach, tabletach, przenośnych konsolach gier, laptopach itp. Systemy oparte na monitorach, to po prostu zwykle komputery stacjonarne wyświetlające trójwymiarową grafikę na swoich ekranach. Kategoria podstawowa i jej systemy nie zapewniają dobrej immersyjności i interakcji z obiektami [45].

W kategorii *ulepszone*, można wyróżnić rozszerzony podział systemów wirtualnej rzeczywistości, gdzie systemy dzielone są na częściowo immersyjne oraz w pełni immersyjne. Systemy te wymagają do swojego działania specjalistycznych urządzeń, a także systemów o znacznie większej mocy obliczeniowej niż w systemach podstawowych. Częściowo immersyjne systemy mogą wyświetlać wirtualny świat np. za pomocą specjalnych projektorów [46]. Jest to system VR w którym użytkownik musi założyć specjalistyczne okulary, aby oglądać stereoskopowe zdjęcia w wysokiej rozdzielczości z opcją śledzenia ruchów głowy. Ekran ten tworzy wrażenie trójwymiarowego obrazu w 110-stopniowym polu widzenia. Ostatnim systemem w tej podkategorii jest system oparty o monookularowe gogle, który też można uznać za system rzeczywistości rozszerzonej. Użytkownikowi wyświetla się na jednym ekranie wirtualny obiekt, a na drugim przedstawiony jest realny świat [45].

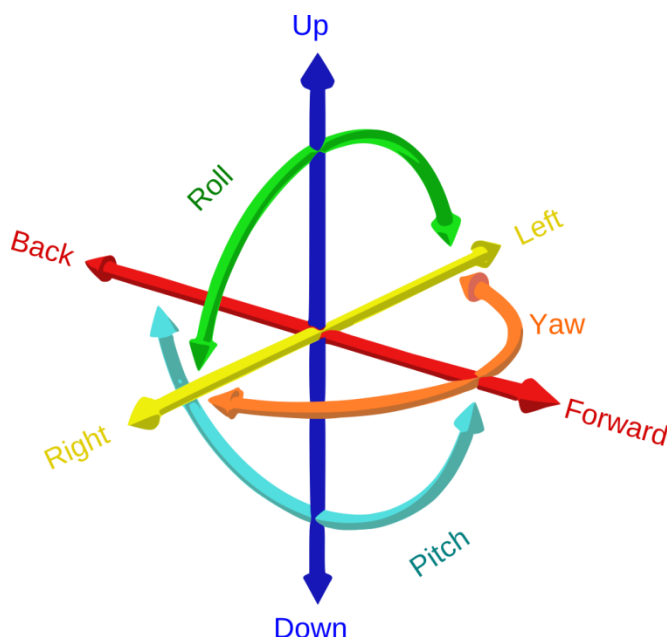
Systemy w pełni immersyjne [45] zapewniają użytkownikom dużą immersję przez wyświetlanie trójwymiarowych obrazów z dużym polem widzenia. Przykładem binokularnych systemów VR są współczesne gogle np. HTC Vive, Oculus Rift, Playstation VR itp. [44]. Wyświetlają one obraz na dwóch małych wyświetlaczach. Gogle te zapewniają znaczne większe pole widzenia, a także pozwalają uczestnikowi na znacznie większą immersję dzięki wyświetlaniu ostrych trójwymiarowych obrazów. Systemy te mogą również śledzić pozycję głowy użytkownika.

Ostatnią grupę stanowią systemy wirtualnej rzeczywistości oparte na pokojach [45]. W tej kategorii uczestnicy doświadczają wirtualnej rzeczywistości w pokoju. Pokój ten zazwyczaj składa się z kilku wyświetlaczy oraz kontrolerów. Takie systemy tworzy się szczególnie do celów szkoleniowych np. dla szkolenia pilotów [41]. Celem systemów opartych na pokojach jest zapewnienie wysokiej immersyjności oraz zmniejszenie ryzyka związanego np. z testowaniem nowych urządzeń.

Warto także wspomnieć o koncepcji Full Dive Virtual Reality [47], w której to użytkownicy nie korzystają z gogli i innych systemów wizualizacji, tylko dzięki interfejsowi mózg-komputer tworzą połączenie pomiędzy układem nerwowym użytkownika a maszyną. Jednakże na rozwój tej koncepcji i związanych z nią technologii niestety jeszcze trzeba będzie poczekać.

2.3. Przegląd urządzeń VR

Nowoczesne zestawy VR dzieli się zazwyczaj na trzy kategorie [48]: mobilne, autonomiczne oraz połączeniowe. Mobilne zestawy są to obudowy wykonane z różnego typu materiałów i wyposażone w specjalne soczewki, w których umieszcza się smartfon. Zasada ich działania polega na dzieleniu ekranu na dwa obrazy za pomocą soczewek, dzięki czemu możliwa jest adaptacja smartfona w urządzenie VR. Mobilne urządzenia takie jak Google Cardboard, Samsung Gear VR są niedrogie, ponieważ całe przetwarzanie danych odbywa się na smartfonie. Gogle te jednak nie potrafią przekazać pełnej immersji użytkownikom, gdyż zasada działania tych zestawów oparta jest na trzech stopniach swobody (ang. Three Degrees of Freedom, 3DoF) [49]. Trzy stopnie swobody oznaczają możliwość patrzenia w dowolnym kierunku, obracania głowy w dowolnym kierunku, ale nie pozwalają poruszać się w kierunkach góra-dół, lewo-prawo, przód-tył. Ulepszeniem 3DoF jest zastosowanie rozwiązań opartych o sześć stopni swobody (ang. Six Degrees of Freedom, 6DoF) pozwalających patrzeć w dowolnym kierunku oraz dających możliwość poruszania się w rzeczywistości wirtualnej, tak jak w świecie rzeczywistym (rys. 9) [49].



Rys 9. Sześć stopni swobody (6DoF). Obraz autorstwa GregorDS na licencji CC BY-SA 4.0.

Zestawy połączeniowe (ang. Tethered) np. HTC Vive, Playstation VR, Oculus Rift są fizycznie (bądź bezprzewodowo) połączone z komputerem, bądź tak jak w przypadku Playstation VR, połączone z konsolą PS4. Zestawy te pozwalają na przetwarzanie obrazu dla wyświetlaczy bezpośrednio w goglach VR, dlatego odczucie immersji na tych urządzeniach jest znacznie lepsze niż w zestawach mobilnych. Dodatkowo, zastosowanie w zestawach dedykowanych rozwiązań technologicznych znacznie poprawia jakość i wierność przesyłanego obrazu. Czujniki zamontowane w zestawie lub na zewnątrz, pozwalają na zapewnienie pełnego śledzenia ruchu użytkownika – 6DoF [34]. Konieczne w tym wypadku jest posiadanie nie tylko gogli, ale także zestawu komputerowego z wydajną kartą graficzną (np. GeForce GTX 970 lub Radeon R9 290 [34]), lub użycie konsoli gier [50], co powoduje, że koszt tych zestawów obecnie jest najwyższy.

Autonomiczne zestawy (inaczej nazywane też samodzielnymi zestawami) to nowość na rynku VR. W zależności od modelu, oferują one wirtualną rzeczywistość w trybie 3DoF lub 6DoF. Modele te są połączeniem rozwiązań dedykowanych dla gogli VR wykorzystujących moc procesorów ze smartfonów i kosztują znacznie mniej niż sprzęt dla zestawów połączeniowych. Aby zapewnić śledzenie 6DoF, przykładowe rozwiązanie Oculus Quest [51] wykorzystuje kamery skierowane na zewnątrz urządzenia.

2.4. Charakterystyka wybranych zestawów VR HMD

2.4.1. Podstawowe parametry HMD

Na wybór odpowiedniego zestawu VR mają wpływ parametry techniczne zastosowanych podzespołów. Zazwyczaj gogle wirtualnej rzeczywistości sprawdza się pod kątem poniższych parametrów technicznych:

- *Typ zestawu*, np. standalone, tethered, mobile;
- *Rozdzielczość* – rozdzielczość wyświetlana na pojedyncze oko;
- *Typ wyświetlacza* – LCD, OLED, AMOLED;
- *Częstotliwość odświeżania obrazu*;
- *Pole widzenia* – im większe tym lepiej;
- *System śledzenia* – zewnętrzne stacje śledzenia, wewnętrzne czujniki;
- *Stopnie swobody* – 3 lub 6 DoF (Motion Tracking);
- *Czujniki* – żyroskop, prędkościomierz itp.
- *Typ i rodzaj podłączenia zestawów*, np. HDMI, DisplayPort, USB, USB-C;
- *Dźwięk* – złącze jack 3,5mm, wbudowany zestaw słuchawkowy, głośniki;
- *Platforma sprzętowa* – PC, Android, konsole;
- *Platforma aplikacyjna* – Oculus Home, Nintendo Lab, PlayStation 4, SteamVR;
- *Kontrolery* – dedykowane kontrolery, gamepad;
- *Procesor* – tylko w przypadku typu standalone;
- *Pamięć wbudowana* – tylko w przypadku typu standalone;
- *Bateria* – tylko w przypadku typu standalone;
- *Łączność* – tylko w przypadku typu standalone;
- *Wymiary i waga*.

2.4.2. HTC Vive

Korporacje HTC i Valve pracowały razem nad stworzeniem zestawu wirtualnej rzeczywistości (VR), który mógłby konkurować z Oculus Rift (gogle wirtualnej rzeczywistości stworzone przez firmę Oculus VR). Wynikiem tej współpracy jest seria produktów HTC Vive (rys. 10). W 2016 roku oba systemy pojawiły się w finalnej wersji. HTC Vive miały swoją premierę miesiąc po Oculus Rift. HTC Vive wymaga użycia

sprzętu komputerowego z minimum jedną kartą graficzną typu Nvidia GeForce GTX 970 lub Radeon R9 290, procesorem Intel i5-4590 lub AMD FX 8350 CPU, z co najmniej 4GB RAMu, HDMI 1.4 albo DisplayPort 1.2, portem USB 3.0 oraz systemem Windows 7 lub wyższym. Do gogli podłącza się trzy przewody, które są łączone z modułem pośrednim Vive Link Box. Dopiero ten moduł łączy się z komputerem za pomocą USB oraz HDMI lub DisplayPort. Do zestawu dołączane są dwa identyczne kontrolery zawierające czujniki pozycji. Śledzenie pozycji gogli i kontrolerów jest obsługiwane przez stacje bazowe. Stacje bazowe synchronizują się za pomocą podczerwieni lub bluetooth. Jeśli synchronizacja nie zadziała, to istnieje możliwość fizycznego połączenia stacji kablem synchronizacyjnym 3,5mm [34].



Rys. 10. Zestaw HTC Vive [34].

Zestaw gogli wykonany jest z plastiku w kolorze czarnym. Gogle mają zakrzywiony przód, w którym znajdują się 32 sensory do śledzenia ruchu gogli, a także pojedynczą kamerę zlokalizowaną w dolnej części urządzenia. Po prawej stronie znajduje się pokrętko, dzięki któremu można regulować ostrość zestawu. Vive CV1 używa pojedynczego ekranu AMOLED z rozdzielczością 2160x1200 (1080x1200 na jedno oko) z częstotliwością odświeżania 90 Hz [34]. Szczegółową specyfikację gogli HTC Vive zawarto w tabeli 2.

Tabela 2. Specyfikacja HTC Vive [34].

Parametr	Wartość
Wyświetlacz	AMOLED 3,6"
Rozdzielczość	2160x1200
Rozdzielczość (na jedno oko)	1080x1200
Odświeżanie	90 Hz
Pole widzenia	110°
Zabezpieczenia	Asystent wyświetlający granicę ustalonego obszaru
Czujniki	SteamVR, akcelerometr, żyroskop, czujnik zbliżenia
Połączenia	HDMI, USB, audio 3,5 mm, Bluetooth, DisplayPort
Obszar śledzenia (na siedzące/stojąco)	Brak wymagań
Obszar śledzenia (pokój)	Min 2x1,5m, Max 3,5x3,5m.

2.4.3. Sony PlayStation VR

System rzeczywistości wirtualnej Sony PlayStation VR (rys. 11), został zaprojektowany do użytku z konsolą Sony PlayStation 4 lub PS4 Pro. Możliwości graficzne zestawu i rozwiązania dotyczące śledzenia ruchu znacznie przewyższają VR opartą na smartfonach. Do obsługi gogli Playstation VR potrzebna jest kamera PlayStation służąca do śledzenia pozycji zestawu VR (gogli i kontrolerów). Przewody połączeniowe biegną z lewej strony obudowy łącząc się ze specjalną obudową box PS VR. Wizualnie obudowa PS VR przypomina samą konsolę PS4, gdzie z tyłu obudowy znajduje się port zasilający, złącze micro USB do podłączenia z PlayStation 4, wejście HDMI dla PS4 i wyjście HDMI do podłączenia telewizora [50].



Rys 11. Zestaw Sony PlayStation VR [50].

Gogle PS VR wykorzystują panel OLED o rozdzielczości 1920x1080 (960x1080 na pojedyncze oko). W porównaniu do HTC Vive i podobnych zestawów przeznaczonych na platformę PC, dostępna rozdzielczość jest trochę niższa. Zestaw odświeża obraz z częstotliwością 120 Hz, co oznacza, że gogle pozwalają na płynniejszy ruch niż przy 90 Hz [50]. Szczegółową specyfikację gogli zawarto w tabeli 3.

Tabela 3. Specyfikacja Sony Playstation VR [50].

Parametr	Wynik
Wyświetlacz	OLED 3,6"
Rozdzielczość	1920x1080
Rozdzielczość (na jedno oko)	960x1080
Odświeżanie	120/90 Hz
Pole widzenia	100°
Czujniki	przyspieszeniometer, żyroskop
Połączenia	HDMI, USB, audio 3.5 mm
Obszar śledzenia (na siedzące/stojąco)	Brak wymagań
Obszar śledzenia (pokój)	3x1,9m

2.4.4. Oculus Quest

Oculus Quest (rys. 12) jest samodzielnym zestawem wirtualnej rzeczywistości, który według producenta stanowi kompromis między tanimi mobilnymi zestawami oferującymi słabszą moc obliczeniową i możliwość śledzenia ruchu, a zestawami połączeniowymi, które potrzebują dobrego komputera lub konsoli do gier. Zestaw ten nie wymaga komputera oraz dodatkowych przewodów. Dodatkowo nie ogranicza się do orientacji i wykrywania ruchu gogli tylko za pomocą pojedynczego kontrolera, takiego jak Oculus Go. Kamery śledzą pozycję zestawu VR i obu kontrolerów Oculus Touch, zapewniając pozycjonowanie w wirtualnej rzeczywistości w skali całego pokoju. Quest'y wykorzystują nowe kontrolery dotykowe Oculus. Są to przeprojektowane wersje kontrolerów ruchu 6DoF oferowane od pierwszej wersji konsumenckiej Oculus Rift [52].



Rys. 12. Zestaw Oculus Quest [52].

Oculus Quest pomimo swoich parametrów nadal nie osiąga poziomu wydajności i jakości, jakie może zaoferować nowoczesny zestaw VR podłączony do komputera. Quest wyposażony jest w procesor Qualcomm Snapdragon 835 VR, co stanowi znaczną poprawę w obszarze oferowanej mocy obliczeniowej w porównaniu do procesora Snapdragon 821 w Oculus Go. Jego wyświetlacz OLED zapewnia rozdzielczość jak w HTC Vive Pro czyli 1440x1600 dla każdego oka. Częstotliwość odświeżania obrazu wynosi 72-90 Hz lub 80 Hz w zależności od wyświetlanej zawartości. Zestaw słuchawkowy ma własną pojemną baterię, którą należy ładować za pomocą dołączonego adaptera USB-C. Według producenta bateria powinna zapewnić trzy godzinną pracę przy pełnym naładowaniu [52]. Specyfikację gogli zawarto w tabeli 4.

Tabela 4. Specyfikacja Oculus Quest [51].

Parametr	Wynik
Wyświetlacz	OLED
Rozdzielczość	2880x1600
Rozdzielczość (na jedno oko)	1440x1600
Odświeżanie	72-90, 80 Hz
Pole widzenia	100°
Czujniki	przyspieszeniometer, żyroskop
Zabezpieczenia	Asystent wyświetlający granicę ustalonego obszaru
Procesor	Qualcomm Snapdragon 835

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 nr projektu 027/RID/2018/19 kwota finansowania 11 999 900 zł.

Pamięć RAM	4 GB
Pamięć Wewnętrzna	64/128 GB
Kontrolery	2 kontrolery
Obszar śledzenia (na siedzące/stojąco)	Brak wymagań
Obszar śledzenia (pokój)	Brak wymagań

2.5. Porównanie parametrów popularnych zestawów VR HMD

Podstawowe parametry i zastosowanie wybranych zestawów VR HMD zaprezentowano w tabeli 5.

Tabela 5. Porównanie wybranych konsumenckich zestawów połączeniowych VR.

Nazwa	System śledzenia	Typ wyświetlacza	Rozdzielczość na oko	Pole widzenia (horyzontalnie)	Rodzaj połączenia	Platforma sprzętowa	Dźwięk
Oculus Rift [53]	Zewnętrzny	OLED	1080x1200	110°	HDMI, USB	PC	Wbudowany zestaw
HTC Vive [34]	Zewnętrzny	AMOLED	1080x1200	110°	HDMI, Display Port, HDMI, USB	PC	Gniazdo audio 3,5mm lub zestaw słuchawkowy
OSVR HDK 2 [54]	Wewnętrzny	OLED	1080x1200	110°	HDMI, USB	PC	Gniazdo audio 3,5mm
Playstation VR [50]	Zewnętrzne	OLED	960x1080	100°	HDMI, USB	Konsola PS4	Gniazdo audio 3,5mm
Pimax 4K [55]	Wewnętrzny	LCD	1920x2160	110°	HDMI, USB	PC	2 gniazda audio 3,5mm
DPVR E3 [56]	Wewnętrzny	LCD	1280x1440	110°	HDMI, USB	PC	Gniazdo audio 3,5mm
Lenovo Explorer [57]	Wewnętrzne	LCD	1440x1440	110°	Kabel typu Y ze złączem wideo, USB	PC	Gniazdo audio 3,5mm
Acer AH101-D8EY [58]	Wewnętrzne	LCD	1440x1440	100°	HDMI, USB	PC	Gniazdo audio 3,5mm
Samsung Odyssey+ [59]	Wewnętrzne	AMOLED	1440x1600	110°	HDMI, USB	PC	Wbudowany zestaw
HTC Vive Pro [60]	Zewnętrzne	AMOLED	1440x1600	110°	Displayport, USB	PC	Wbudowany zestaw
Pimax 5K Plus [61]	Wewnętrzne	CLPL (ang. Customized low persistence liquid)	2560x1440	200°	Displayport, USB, USB-C	PC	Gniazdo audio 3,5mm
HP Reverb Professional Edition [62]	Wewnętrzne	LCD	2160x2160	114°	Displayport, USB	PC	Wbudowany zestaw
Valve Index [63]	Zewnętrzne	LCD	1440x1600	130°	Specjalny	PC	Wbudowany zestaw
Oculus Rift S [53]	Wewnętrzne	LCD	1280x1440	110°	USB-C, Displayport	PC	Wbudowany zestaw
HTC Vive Cosmos [64]	Wewnętrzne	LCD	1440x1700	110°	USB-C, Displayport	PC	Wbudowany zestaw

2.6. Rozszerzenia standardowych zestawów VR

Systemy wirtualnej rzeczywistości są ciągle rozwijane. Pojawiają się dodatkowe akcesoria pozwalające na rozszerzenie wirtualnej rzeczywistości o dodatkowe elementy,

np. systemy śledzenia całej sylwetki, akcesoria dla graczy, adaptory bezprzewodowe dla gogli połączeniowych czy też platformy rozrywkowe umieszczone w specjalnie zaprojektowanych pokojach.

Głównym problemem gogli połączeniowych jest podłączenie gogli do zestawu PC/konsoli za pomocą długiego, nieporęcznego przewodu. Jednym z rozwiązań jakie zaproponowała firma HTC jest kontroler VIVE Wireless Adapter [65] (rys. 13), który pozwala na bezprzewodowe połączenie gogli HTC Vive ze stacją bazową. Według producenta, bezprzewodowy adapter można podłączyć do gogli Vive oraz Vive Pro (dla gogli Vive Pro wymagany jest dodatkowy uchwyt), który będzie pozwalał na transmisję obrazu za pomocą technologii Intel WiGig, oferującej niemal zerowe opóźnienia w transmisji obrazu. Maksymalny obszar bezprzewodowego śledzenia czujników wynosi 6x6 metrów. Do bezprzewodowego zestawu dołączona jest karta PCIe WiGig, którą należy umieścić w gnieździe PCIe x1. Naładowana w pełni bateria powinna zapewnić maksymalnie 2,5 godziny ciągłej pracy [65].



Rys. 13. Bezprzewodowy zestaw HTC [65].

Alternatywą dla VIVE Wireless Adapter jest adapter TPCAST Wireless Adapter (rys. 14) przeznaczony nie tylko dla użytkowników urządzeń HTC, ale też do modeli Oculus. Niestety nie jest to uniwersalny model, dlatego do gogli HTC Vive, HTC Vive Pro, Oculus Rift oraz Oculus Quest wymagany jest całkowicie inny model TPCAST Wireless Adapter. Warto podkreślić, że TPCAST dla Oculus Quest

pozwala użytkownikom na strumieniowanie obrazu z komputera do gogli Quest, co pozwala na ich wykorzystanie w takich branżach jak architektura, inżynieria, budownictwo, projektowanie wnętrz oraz edukacja. Wersja TPCAST Air dla firm wspiera obsługę aż do 24 użytkowników mogących współdzielić tę samą przestrzeń i działać w tym samym czasie [66].



Rys. 14. Bezprzewodowy zestaw TPCAST dla Oculus Quest [66].

Jednym z problemów rozwiązań wspierających wirtualną rzeczywistość jest odzwierciedlenie ruchu użytkownika w świecie rzeczywistym. Przykładowym rozwiązaniem tego problemu może być bieżnia dookólna [67, 68]. Bieżnia dookólna Virtuix Omni (rys. 15) jest kontrolerem wykorzystywanym do bezpiecznego poruszania się w świecie VR. Zapewnia pełną swobodę ruchu w promieniu 360 stopni. Użytkownik musi być wyposażony w specjalne obuwie dostosowane do bieżni oraz parę specjalnych czujników do analizy ruchu stóp. Elementem zabezpieczającym użytkownika jest specjalny pas służący do kontroli pozycji gracza na bieżni. Producent gwarantuje kompatybilność z urządzeniami firm HTC, Oculus oraz innymi czołowymi goglami dostępnymi na rynku [69].



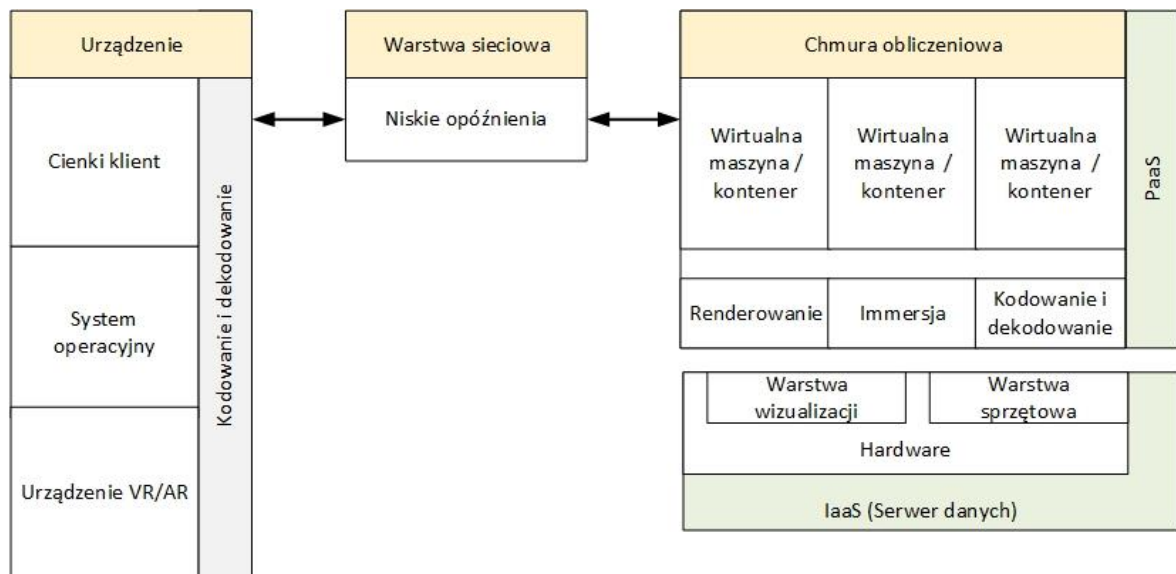
Rys. 15. Bieżnia Virtuix Omni pozwalająca na swobodne poruszanie się w VR [69].

2.7. VR w chmurze

Jednym z wyzwań, które stoją przed twórcami systemów wirtualnej rzeczywistości jest przeniesienie platformy przetwarzania z lokalnych jednostek obliczeniowych do chmury obliczeniowej. W przypadku klasycznego zestawu komputerowego z okularami VR stosunek kosztu do wydajności nie zawsze jest korzystny. Aby zapewnić jak największą immersję, do wizualizacji wirtualnej scenarii systemy VR oparte na przesyłaniu obrazu za pomocą przewodów wymagają również dużej mocy obliczeniowej procesora, karty graficznej oraz pamięci RAM. Dodatkowo, różnorodność platform np. dla PC czy PS4 oraz środowisk programistycznych, dedykowanych rozwiązań uwzględniających tylko własne modele gogli jakiej dostarczają producenci często utrudnia wdrożenie jednolitego systemu. Dlatego też, jednym z możliwych rozwiązań tego problemu mogłoby być wykorzystanie przetwarzania w chmurach oferującego dużą moc obliczeniową. Obecnie trwają prace nad stworzeniem chmury VR, a także związanych z nią standardów i protokołów transmisji danych.

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 nr projektu 027/RID/2018/19 kwota finansowania 11 999 900 zł.

Chmura obliczeniowa (ang. Cloud computing) to usługa polegająca na gromadzeniu i przetwarzaniu danych bez konieczności używania oprogramowania zainstalowanego na lokalnej jednostce sprzętowej. Dedykowane oprogramowanie i platforma sprzętowa dostarczana jest przez usługodawcę, podobnie jak wirtualna przestrzeń na dane. W systemach AR/VR chmura będzie działała na podobnej zasadzie jak chmury przeznaczone do zwykłych obliczeń. Chmura AR/VR to nowy typ platformy AR/VR, który może potencjalnie zmienić obecny model biznesowy i rozszerzyć dostępne usługi platformy chmurowej świadczone przez operatorów. W takiej chmurze AR/VR, oprócz serwera obliczeniowego wyróżnia się także „cienkiego klienta”, czyli architekturę klienta pozwalającą na odbieranie obrazu, dźwięku, pozycjonowanie obrazu oraz odbieranie danych z czujników kontrolerów z jak najmniejszym opóźnieniem. Możliwe jest też wprowadzenie „grubego klienta”, który pobiera treści z lokalnego systemu, a renderowanie i strumieniowanie jest wykonywane po stronie serwera [70]. Przykład modelu chmury obliczeniowej dla AR/VR przedstawiono na rys. 16.

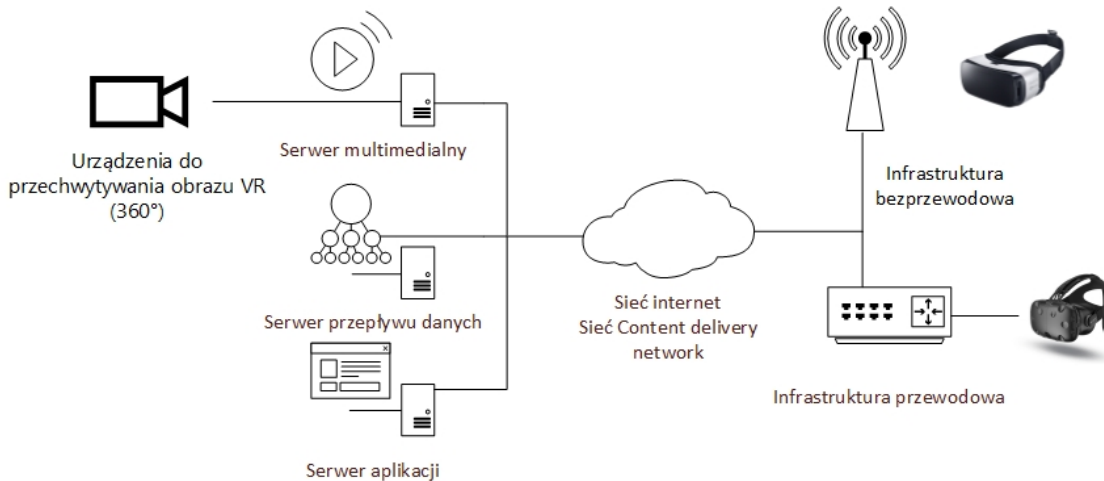


Rys. 16. Proponowany model architektury chmury dla AR/VR przedstawionej w [71].

2.7.1. Podział usług VR dostępnych w chmurze obliczeniowej

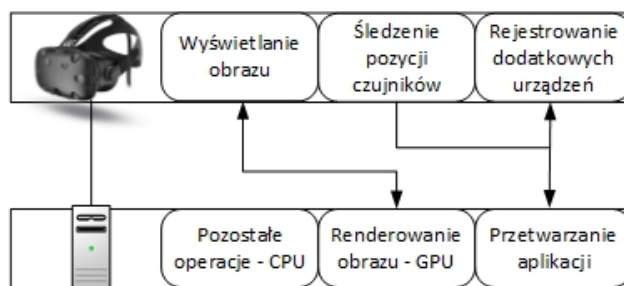
Usługi VR oparte o chmury obliczeniowe można podzielić na dwie kategorie: słabą interakcją ze światem (lub jej brak) oraz mocą interakcją. W słabych interakcjach wyświetlane są filmy, widoki z gier VR czy też podgląd z kamer. Nie potrzebują one dużej mocy obliczeniowej. W tym rozwiązaniu należałoby zmienić

obecną infrastrukturę programową i sprzętową, tak aby odciążyc lokalny system. W związku z tym niezbędne jest przeniesienie części operacji ze strony użytkownika do chmury. Rys. 17 przedstawia proponowany model transmisji obrazu w czasie rzeczywistym dla użytkowników VR [71].

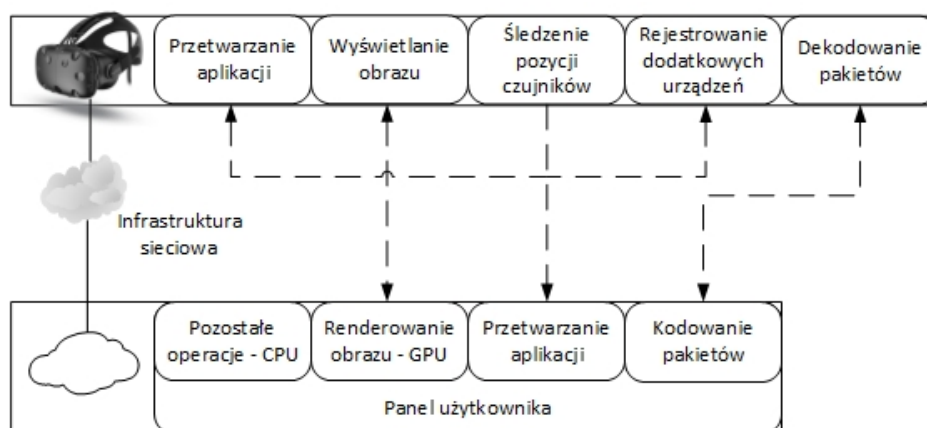


Rys. 17. Proponowany model transmisji obrazu w czasie rzeczywistym [71].

Zupełnie inaczej przedstawiają się usługi oparte na mocnych interakcjach. W tym rozwiązaniu wymagane jest śledzenie ruchów kontrolerów oraz przetwarzanie bardziej wymagających aplikacji VR. W normalnym użytkowaniu takiego systemu, użytkownik posiada HMD oraz jednostkę sprzętową wyposażoną w dosyć mocne wydajnościowo podzespoły. Dzięki temu renderowanie jest realizowane w czasie rzeczywistym, zapewniając immersyjność w VR. Przejście do modelu przetwarzania w chmurze dla tego typu usługi może być problematyczne. Jednym z racjonalnych sposobów realizacji VR w chmurze obliczeniowej jest wykorzystanie jej zasobów jedynie do przetwarzania i rendering obrazów [71]. Porównanie standardowej platformy VR z proponowanym modelem chmury VR pokazano na rys. 18.



Standardowy model VR



Model chmury VR

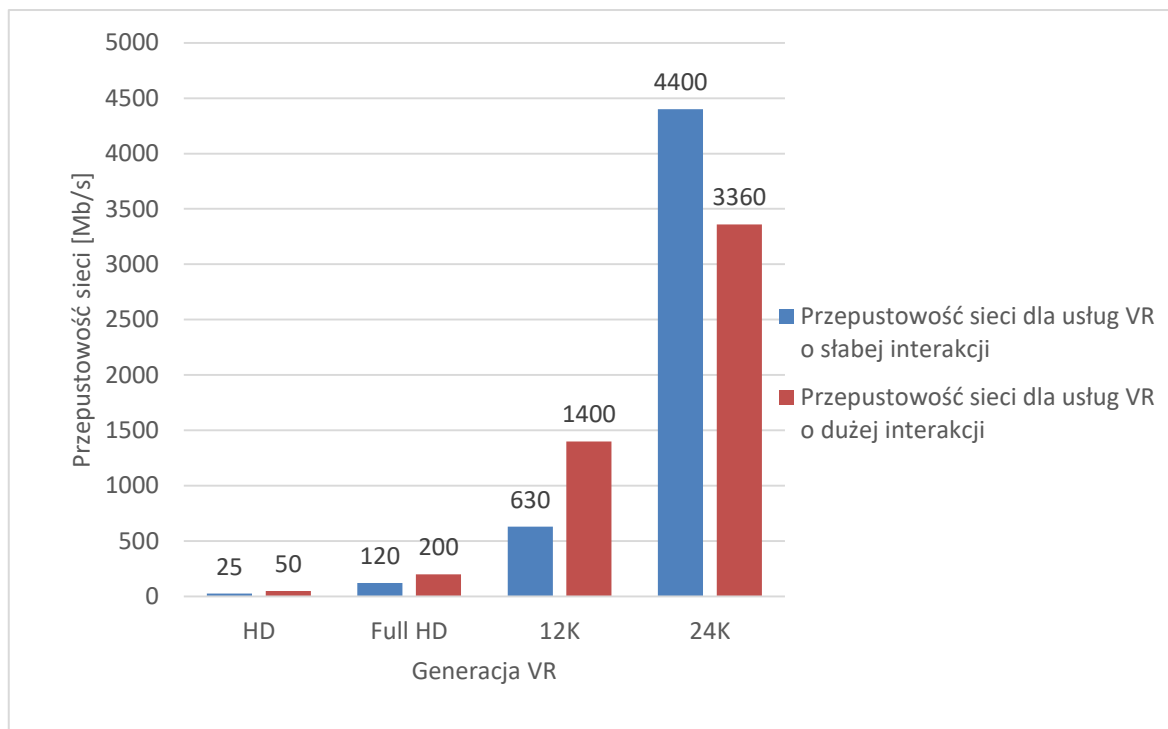
Rys. 18. Porównanie standardowej platformy VR z proponowanym modelem chmury VR [71].

Plan przejścia z tradycyjnego modelu obejmowałby trzy etapy. W pierwszym etapie nastąpiłoby przeniesienie przetwarzania i obliczeń związanych z renderowaniem z jednostki lokalnej do chmury. Po stronie okularów wirtualnej rzeczywistości zostałyby tylko wyświetlanie obrazu oraz przechwytywanie ruchu okularów oraz czujników. Pierwszy etap ograniczyłby koszty związane z koniecznością posiadania lub modernizacji sprzętu lokalnego. W drugim etapie stworzony zostałby model przetwarzania obrazów w VR dla serwerów oraz dla użytkowników końcowych. Na tym etapie model musi zawierać odpowiednie moduły dekodowania i kodowania obrazu oraz jego przesyłania z zapewnieniem odpowiednich zabezpieczeń oraz odpowiedniej infrastruktury sieciowej. W trzecim etapie nastąpiłyby testy oraz wdrożenie modelu. Odpowiedni model chmury obliczeniowej powinien pozwalać na odbiór obrazu z jak najmniejszymi opóźnieniami (mniejszymi niż 20 ms) [71].

2.7.2. Wymagania dotyczące przepustowości i opóźnień w sieci

Wąskim gardłem w infrastrukturze chmury obliczeniowej jest jej przepustowość. Aby zapewnić immersję użytkownikom sieci komputerowe muszą spełniać wymagania dotyczące przesyłania obrazu w czasie rzeczywistym. W zależności od usługi VR opisanej w rozdziale 2.7.1 nawet przy słabej interakcji, system już stawia duże wymagania dotyczące przepustowości. W przypadku dużej interakcji przepustowość musi być nie tylko znacznie większa, ale ma zapewnić jak najmniejsze opóźnienia [71, 72]. W tabeli 6 zestawiono wymagania sieciowe takie jak przepustowość sieci wymaganą do przejścia ze standardowego modelu VR na chmurę obliczeniową, którą opracowano w [72].

Huawei w swoim raporcie [72] przedstawił wymagania dotyczące przepustowości sieci dla różnych etapów wdrażania chmury VR. Dla obecnych urządzeń VR wymagane pasmo sieci wynosi 50 Mb/s (np. dla urządzeń HTC Vive Pro). W urządzeniach nowszej generacji (wyświetlających obraz na jedno oko w Full HD), które mają pojawić się w sprzedaży w ciągu najbliższych 2 lat wymaga się pasma sieci na poziomie 200 Mb/s. Taka transmisja w obecnej infrastrukturze sieciowej jest bardzo trudna. Prognozuje się, że w kolejnych generacjach gogli VR (obraz 12K i 24K), minimalne wymagane pasmo będzie równe 0,5Gb/s dla 12K oraz 3Gb/s dla 24K. Jednym z głównych parametrów w przesyłaniu danych w chmurze VR jest parametr RTT (ang. Round Trip Time) oraz poziom dopuszczalnej utraty pakietów podczas transmisji. Sam parametr RTT powinien być jak najmniejszy (najlepiej około 5-10 ms). W przypadku utraty pakietów, wskaźnik powinien wynosić co najmniej $1.00E-6$ ms. Porównanie wymaganego pasma dla różnych generacji VR przedstawiono na rys. 19.



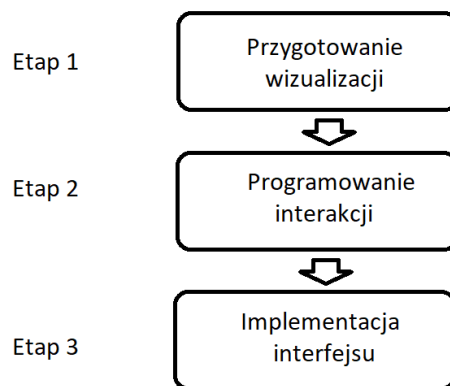
Rys. 19. Wymagana przepustowość sieci w przypadku integracji różnych urządzeń z chmurą VR [72].

Dostępna obecnie infrastruktura sieciowa z punktu widzenia użytkownika końcowego nie spełnia wymagań niezbędnych do zapewnienia renderingu realizowanego w chmurze i przesyłania obrazów VR w czasie rzeczywistym. W przypadku niskiej przepustowości oraz wysokiego prawdopodobieństwa występowania zatorów sieciowych, utrata pakietów stanowi poważny problem. W przypadku chmur VR przesyłających obraz w 12K i 24K przewiduje się, że nie będzie możliwości wykorzystania aktualnie używanych protokołów sieciowych (np. TCP). Obecnie stosowane protokoły nie spełnią wymagań transmisji i jakości usług niezbędnych dla świadczenia tego typu usług [71, 72].

2.8. Środowiska programistyczne do budowy aplikacji VR

Aby szkolenie realizowane w systemach wirtualnej rzeczywistości odniosło pożądaną efekt, należy pamiętać o realizmie przedstawianych zjawisk i symulacji. Tworzone scenariusze symulacji czy też scenariusze zajęć dydaktycznych muszą odwzorowywać procesy, obiekty oraz środowisko w jak najdokładniejszy sposób, zbliżony do świata rzeczywistego. Wysoki poziom i jakość doświadczeń, obraz otaczający

użytkownika z każdej strony i nowa perspektywa pozwoli skutecznie zrealizować założony merytorycznie cel edukacyjny. Z uwagi na to, że VR/AR pozwala odwzorować praktycznie każdy proces i każde zdarzenie w dowolnym momencie czasu, rozwiązania szkoleniowe oparte na technikach Immersive Learning (IL) nie mają praktycznie żadnych ograniczeń. Etapy realizacji poprawnej aplikacji VR zaprezentowano na rys. 20.

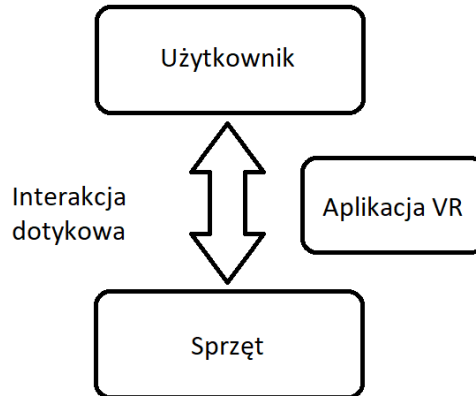


Rys. 20. Etapy budowy aplikacji VR [73].

Najważniejszym komponentem systemu VR/AR jest aplikacja VR, która w sensie programistycznym, logistycznym i funkcjonalnym ma tworzyć zamkniętą całość. Aplikacja powinna funkcjonować jako program wykonywalny, wymagający jedynie systemu operacyjnego i odpowiedniego sprzętu VR. Głównym zadaniem twórców takich aplikacji jest stworzenie interaktywnego, trójwymiarowego środowiska, zapewniającego użytkownikowi immersję, realizm symulacji oraz przede wszystkim interakcję z elementami cyfrowymi. Wyróżnia się dwa podstawowe typy aplikacji VR. Są to aplikacje zorientowane, albo na pojedynczy obiekt (model wirtualny określonego przedmiotu), albo na środowisko (scenę).

W aplikacji VR centralną postacią jest użytkownik. Aby osiągnąć właściwy poziom immersji i interakcji, system VR/AR powinien dostarczyć użytkownikowi jak najwięcej sygnałów z prawdziwego świata zastępujących wrażenia zmysłowe jak dotyk, wzrok, słuch. Obraz generowany jest zwykle przez urządzenia do stereowizji, zaś za przekazywanie bodźców dotykowych odpowiedzialne są systemy haptyczne. Niekiedy stosuje się dodatkowe bodźce w postaci zapachów czy ruchu powietrza. Za komunikację ze światem wirtualnym odpowiadają systemy rozpoznawania gestów

i śledzenia, a niekiedy nawet systemy rozpoznawania mowy. Są one wykrywane za pomocą kontrolerów i czujników, a następnie odpowiednio interpretowane przez komputer.



Rys. 21. Model systemu szkoleniowego.

Przykładowy model systemu szkoleniowego zaprezentowano na rys. 21. Obejmuje on dwa zasadnicze elementy: użytkownika i sprzęt. Zadaniem użytkownika jest realizacja zaprogramowanego scenariusza symulacji. W trakcie zajęć dzięki aplikacji VR użytkownik ma za zadanie wejść w interakcję dotykową z elementami wirtualnej sceny i doświadczyć właściwości fizycznych założonych modeli.

2.8.1. Programowe silniki gier i aplikacji VR

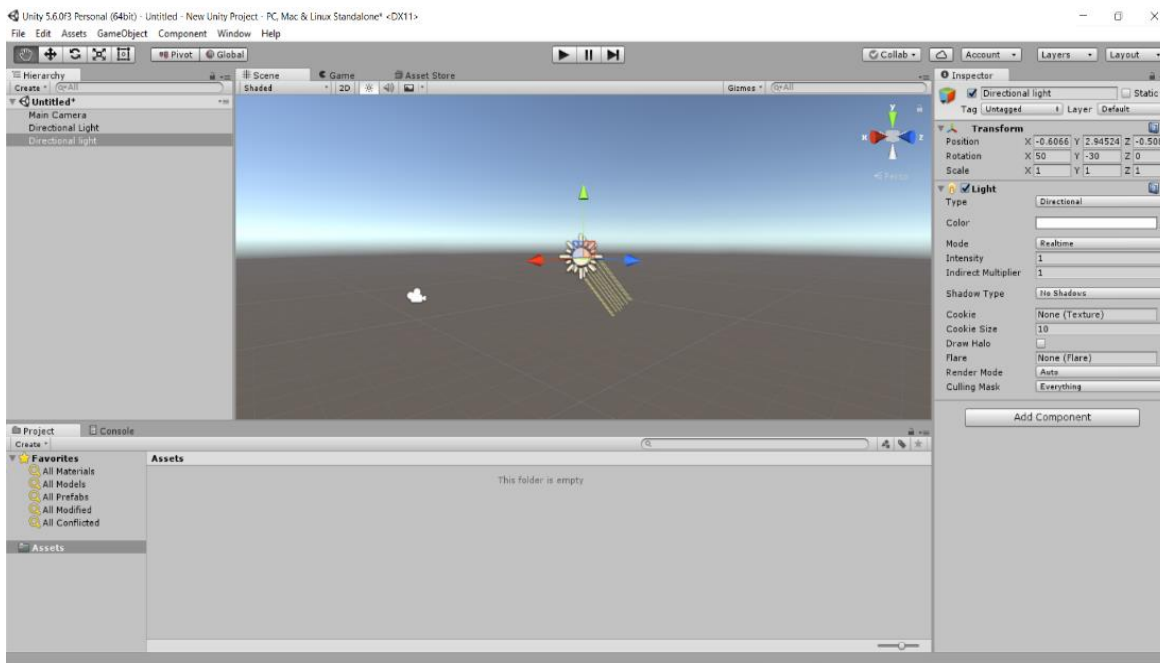
Silnik gier jest jednym z zalecanych narzędzi do tworzenia aplikacji VR/AR. Silnik jest to framework do tworzenia aplikacji i gier na różne platformy. Zapewnia symulację zjawisk fizycznych świata rzeczywistego, tworzenie realistycznej grafiki, aż po wdrożenie sztucznej inteligencji. Silniki gier są odpowiedzialne za renderowanie grafiki, określanie i wykrywanie kolizji, zarządzanie wydajnością, wybór docelowej platformy sprzętowej i wiele innych opcji. Są one bardzo często wykorzystywane ze względu na łatwość tworzenia aplikacji oraz wygodę użytkownika. Nawet początkujący programiści nie powinni mieć problemów z użyciem takiego środowiska. Zazwyczaj rozwiązania takie zawierają w sobie co najmniej pięć głównych elementów [74, 75]:

- główne środowisko zawierające logikę;
- silnik graficzny;
- silnik audio;

- silnik fizyki do implementacji „symulowanych” praw fizyki;
- moduł sztucznej inteligencji.

2.8.2. Zintegrowane środowisko programistyczne Unity

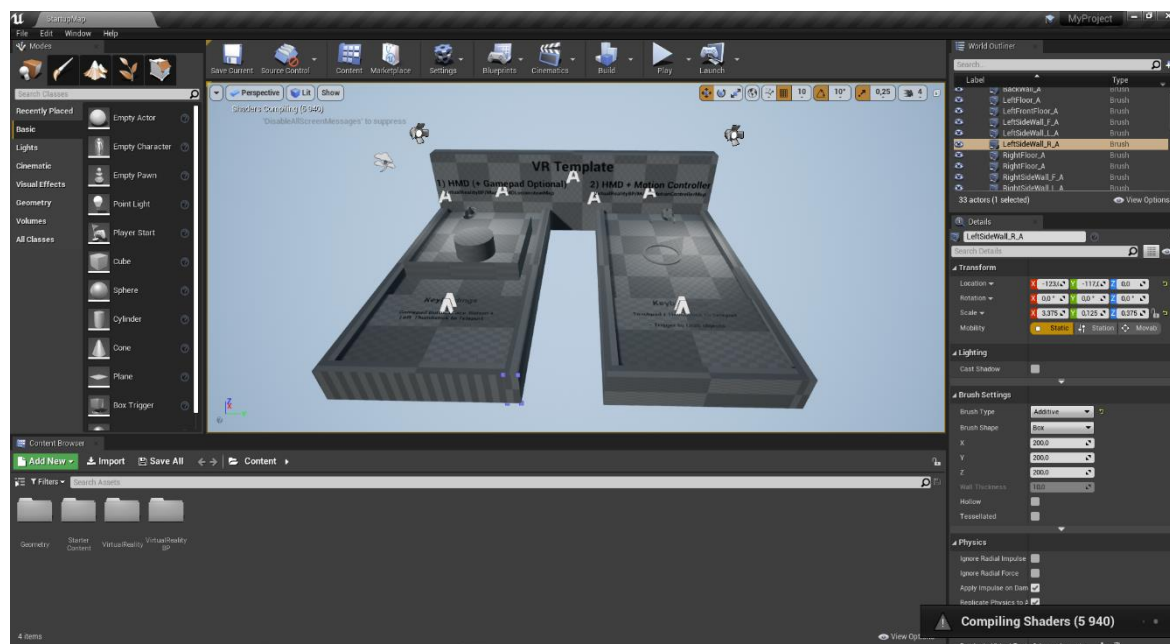
Duża część programistów uważa środowisko Unity za jeden z łatwiejszych silników gier, głównie ze względu na prosty i intuicyjny interfejs. Jedną z podstawowych funkcjonalności jakie oferuje to środowisko, jest tworzenie gier przeznaczonych na różne platformy (Android, iOS oraz Windows). Unity cechuje się dużą i aktywną społecznością programistów, twórców dodatków, materiałów i zasobów. Przykładem może być sklep Unity Asset Store, gdzie znajdują się modele 3D/2D, biblioteki dźwięków, skrypty, gotowe projekty, poradniki itp. Użytkownicy tworzą bogatą bazę zarówno bezpłatnych jak i niedrogich zasobów do wykorzystania w tym silniku. Zaletą Unity są również darmowe licencje dla szkół, które mogą być wykorzystane do nauki programowania, szkoleń i prac badawczo-rozwojowych z pominięciem wdrożenia komercyjnego [74, 76]. Sam framework oparty jest na języku C++, ale użytkownicy mogą tworzyć własne skrypty interakcji z obiektami w języku C# oraz JavaScript. Rys. 22 przedstawia interfejs główny środowiska Unity 3D.



Rys. 22. Silnik gier Unity – interfejs główny.

2.8.3. Zintegrowane środowisko programistyczne Unreal

Kolejnym rozwiązaniem spośród najbardziej popularnych obecnie silników gier jest silnik Unreal. Jego zaletą jest prostota w tworzeniu aplikacji i gier, co ma szczególnie znaczenie w przypadku osób mających niewielkie doświadczenie z programowaniem. Jego popularność wynika głównie z szerokich możliwości: konfiguracji, obsługi wielu platform i tworzenia wysokiej jakości gier. Główną zaletą silnika Unreal Engine są wirtualne plany pozwalające za pomocą gotowych planów na szybkie tworzenie prototypów, a nawet całych gier i aplikacji. Silnik zawiera w sobie duży zestaw narzędzi i może korzystać z ogromnych zasobów tworzonych przez społeczność programistów Unreal, które zwiększają tym samym możliwości samego silnika. Środowisko to udostępnia bezpłatną licencje typu education dla szkół, pozwalając na rozwój uczniów w dziedzinie programowania gier i tworzenia obiektów 3D. Ponadto szkoły i uczniowie otrzymują regularne aktualizacje i materiały szkoleniowe, dzięki czemu mogą łatwo śledzić najnowsze osiągnięcia w zakresie tworzenia gier, dostępnych zasobów oraz możliwości wizualizacji w czasie rzeczywistym. Użytkownicy silnika mogą tworzyć własne skrypty, moduły oraz mieć dostęp do silnika za pomocą języka C++. Unreal Engine jest dobrym punktem startu dla osób tworzących gry i modele 3D [74, 77]. Rys. 23 przedstawia okno interfejsu głównego silnika Unreal Engine.



Rys. 23. Silnik gier Unreal Engine – interfejs główny.

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 nr projektu 027/RID/2018/19 kwota finansowania 11 999 900 zł.

2.9. Wady i zalety stosowania wirtualnej rzeczywistości

Wirtualna rzeczywistość wywiera wpływ na nasze życie w różnych jego obszarach takich jak np. praca, relacje społeczne, rozrywka, styl życia itp. Odnosząc się do samej jej nazwy pojawia się pewna sprzeczność tzn. z jednej strony mówi się o rzeczywistości, czyli o faktycznie istniejącym środowisku, a z drugiej strony mamy do czynienia ze światem wirtualnym, czyli „nierzeczywistym”. Takie zestawienie pojęć pozwala poszerzyć granice postrzegania świata oraz komunikacji z nim poprzez różne bodźce (wizualne, dźwiękowe itp.), ale jednocześnie wiąże się z pośrednim lub też bezpośrednim oddziaływaniem na ww. obszary życia. Wpływ może mieć charakter pozytywny, jak i negatywny. Biorąc pod uwagę znaczenie procesu kształcenia i jego konsekwencje na późniejsze relacje zawodowe, towarzyskie, a nawet rodzinne, należy dokonać zestawienia potencjalnych zalet i wad wykorzystania tej technologii w dydaktyce. Oczywiście, autorzy raportu odnieśli się wyłącznie do aspektów wspierających proces edukacyjny i potencjału wykorzystania VR w edukacji na wybranych kierunkach studiów tj. informatyce oraz automatyce i robotyce, pomijając obszary oddziaływania tej technologii o charakterze socjologicznym, emocjonalnym czy też psychologicznym. Zestawienie zalet i wad analizowanej technologii zostało zaprezentowane w tabeli 6.

Tabela 6. Zalety i wady stosowania technologii VR w edukacji.

Zalety	Wady
Umożliwia tworzenie skomplikowanych scenariuszy testowych, doświadczeń i eksperymentów, które są trudne do realizacji w warunkach rzeczywistych.	Koszty związane ze stworzeniem odpowiedniego stanowiska edukacyjnego bazującego na technologii VR opartego o profesjonalny sprzęt i oprogramowanie.
Umożliwia nabycie pewności siebie przy realizacji procedur i działań technicznych.	Wymaga dużego nakładu pracy w celu stworzenia wirtualnego środowiska posiadającego wiele scenariuszy testowych oraz detali.
Umożliwia wielokrotne powtarzanie doświadczeń, eksperymentów, czy też sytuacji.	Ograniczony zakres lub brak gotowych scenariuszy dydaktycznych.
Oszczędza pieniądze i czas związany z organizacją rzeczywistych stanowisk testowych.	Brak prawdziwych konsekwencji popełnionych pomyłek i błędów.
Umożliwia wykonywania ćwiczeń w dowolnym miejscu i czasie.	Posiada zdolność uzależniania użytkowników od świata wirtualnego.
Zapewnia skalowalność działań dydaktycznych.	Ogranicza kontakty międzyludzkie i doświadczenia z tym związane.
Ogranicza zużycie rzeczywistych zasobów.	Duże prawdopodobieństwo nabycia rutyny

	w podejmowanych działaniach.
Zapewnia bezpieczeństwo realizowanych czynności.	Możliwość wystąpienia problemów zdrowotnych u użytkowników.
Posiada zdolność adaptacji i zastosowania dla różnych dziedzin i obszarów edukacji.	Możliwość przeoczenia podstawowych praw fizyki.
Zwiększa możliwości komunikacji i współpracy z osobami znajdującymi się w oddalonych od siebie miejscach.	Odwzorowuje lepiej lub gorzej daną rzeczywistość, ale nie jest w stanie całkowicie jej zastąpić.

Wirtualna rzeczywistość charakteryzuje się bardzo wysokim poziomem zaangażowania użytkownika w wykonywane przez niego działania. W wielu przypadkach bardzo dobrze odwzorowuje ona rzeczywiste sytuacje przy jednoczesnym zapewnieniu interakcji zbliżonych do tych znanych ze świata realnego. Dzięki wysokiemu poziomowi immersji, doznania odbierane przez użytkownika zwiększają efektywność procesu dydaktycznego. Taka forma edukacji może przyczyniać się do lepszego zapamiętywania oraz zrozumienia prezentowanej za jej pomocą wiedzy, a także zdobycia doświadczenia w realizacji skomplikowanych działań, procedur oraz doświadczeń. Zaletą technologii VR jest możliwość tworzenia skomplikowanych scenariuszy testowych, które byłyby trudne do realizacji w warunkach rzeczywistych. W wielu wypadkach jest to związane z kosztami i ograniczonym dostępem do zróżnicowanych technologicznie rozwiązań. Co więcej, w stosunkowo łatwy sposób można w przygotowanym wirtualnym środowisku testować bardzo zróżnicowane scenariusze, a także sytuacje krytyczne, które nie mogłyby mieć miejsca podczas tradycyjnych zajęć. Jest to również związane z eliminacją fizycznego zagrożenia dla użytkowników (np. ewentualnego ich zranienia, poparzenia itp.), jak również z eliminacją potencjalnego zagrożenia dla rzeczywistego sprzętu, czy oprogramowania wynikającego z błędnej konfiguracji i niewłaściwej realizacji przez studentów procedury podczas ćwiczeń. Wykorzystanie w edukacji technologii wirtualnej rzeczywistości nie tylko ogranicza, ale wręcz pozwala na popełnianie (nawet wielokrotne) przez studentów błędów i pomyłek bez konsekwencji finansowych, zdrowotnych, a także prawnych. Jedną z podstawowych zalet stosowania tej technologii w dydaktyce jest możliwość realizacji doświadczeń w dowolnym miejscu i czasie, a także umożliwia zaangażowanie innych osób nawet znacznie oddalonych geograficznie. Sprzyja to współpracy pomiędzy różnymi ośrodkami edukacyjnymi i otwiera szerokie perspektywy przed wymianą doświadczeń z najwyższej klasy specjalistami w poszczególnych

dziedzinach, którzy zazwyczaj mogą być jedynie w ograniczonym stopniu zaangażowani w tradycyjne formy zajęć. Dodatkowo, podczas ćwiczeń i doświadczeń wykonywanych w świecie wirtualnym może w nich brać udział instruktor lub grupa instruktorów i kontrolować, a także korygować działania studentów. Sama koncepcja wykorzystania VR w procesie dydaktycznym znacznie ogranicza zużycie fizycznych zasobów (np. zużywalnych elementów) i tym samym wpisuje się w koncepcję bardziej ekologicznego środowiska pracy. Należy również pamiętać, że technologia ta posiada cechę skalowalności i elastyczności w powielaniu oraz łączeniu różnych środowisk testowych.

Pomimo licznych zalet, stosowanie technologii wirtualnej rzeczywistości niesie za sobą również pewne zagrożenia i ograniczenia. Jedną z barier związanych z upowszechnianiem tej technologii w edukacji są wysokie koszty zaawansowanych i profesjonalnych rozwiązań technicznych, a także koszty i pracochłonność opracowania odpowiedniego środowiska wirtualnego. Wiąże się to z zaangażowaniem szerokiego grona specjalistów takich jak graficy komputerowi, programiści oraz inżynierowie z różnych dziedzin. Obecnie na rynku dostępnych jest niewiele gotowych rozwiązań, które mogłyby być bezpośrednio zaadoptowane do bieżących wymagań oraz poruszanych zagadnień w procesach dydaktycznych. To co z jednej strony jest wielką zaletą na etapie kształcenia, czyli brak konsekwencji popełnianych błędów i pomyłek, z drugiej strony może stanowić duże zagrożenie dla wypracowania u studentów poczucia odpowiedzialności za podejmowane przez nich decyzje. Natomiast właśnie takie doświadczenia, nieodzownie towarzyszą działaniom podejmowanym w świecie rzeczywistym. Częste i długotrwałe funkcjonowanie w wirtualnym środowisku może powodować uzależnienie od niego. Wówczas świat wirtualny wydaje się przyjaźniejszy, lepszy, w którym dana osoba czuje się ważniejsza, spełniona itp. Co więcej, ograniczony kontakt z innymi ludźmi może powodować pogarszanie się umiejętności rzeczywistego nawiązywania kontaktów interpersonalnych, czy też pracy w zespole. Należy pamiętać, że cały czas odnosimy się do środowiska wirtualnego, które mimo wielu zalet na dzień dzisiejszy nie jest w stanie w pełni odwzorować rzeczywistości, w szczególności w zakresie liczby detali i wszystkich praw fizyki. Dlatego też odbiór przez użytkownika bodźców, które wydają się bardzo realne jest ograniczony do tych przewidzianych i zamodelowanych przez programistów.

Funkcjonowanie w wirtualnej rzeczywistości może skutkować nabyciem swego rodzaju rutyny, której skutki w tym środowisku są niewielkie, a w rzeczywistości mogą doprowadzić do błędów, uszkodzeń oraz zaniedbań wpływających w znaczący sposób na funkcjonowanie realnego systemu, jego efektywności oraz zdolności do dalszego działania. Podczas tworzenia programów edukacyjnych należy brać pod uwagę potencjalne negatywne oddziaływanie tej technologii na zdrowie jej użytkowników. Dotyczy to m.in. tzw. choroby symulacyjnej objawiającej się dokładnie tymi samymi objawami co choroba lokomocyjna. Jest to związane z zaburzeniami błędnika, wynikającymi z braku fizycznego ruchu w przypadku, gdy ruch pojawia się przed oczami na ekranie.

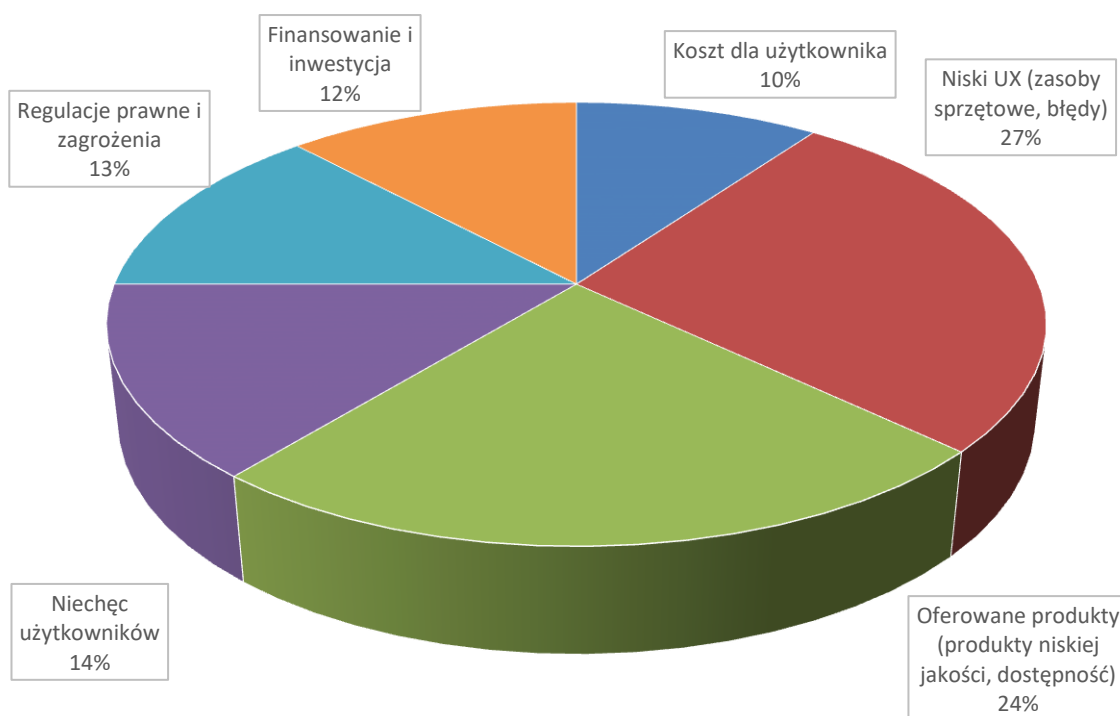
3. Przykłady wykorzystania technologii VR

Wykorzystanie wirtualnej rzeczywistości staje się coraz bardziej popularne. Analizy prowadzone dla serwisów zbierających i przetwarzających dane statystyczne pokazują, że liczba użytkowników urządzeń wirtualnej rzeczywistości, zarówno kompletnych zestawów, jak np. HTC Vive lub też modułowych rozwiązań stale rośnie (tabela 7) [78].

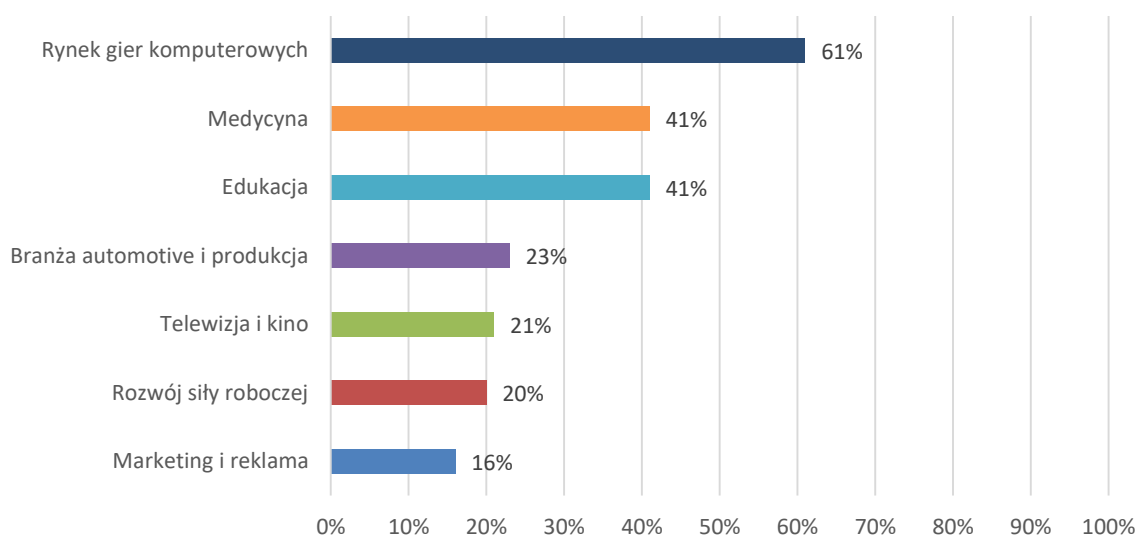
Tabela 7. Raport prezentujący potencjalne wykorzystanie techniki VR na świecie przez użytkowników w latach 2017 – 2021 w milionach użytkowników [79].

Lata	Wykorzystanie rozszerzonej rzeczywistości	Wykorzystanie wirtualnej rzeczywistości (bez okularów)	Wykorzystanie wirtualnej rzeczywistości (z okularami)
2017	37,6	11,5	11
2018	59,6	19	15,7
2019	68,7	23,3	19,6
2020	77,7	27,9	23,9
2021	85	30,6	26,5

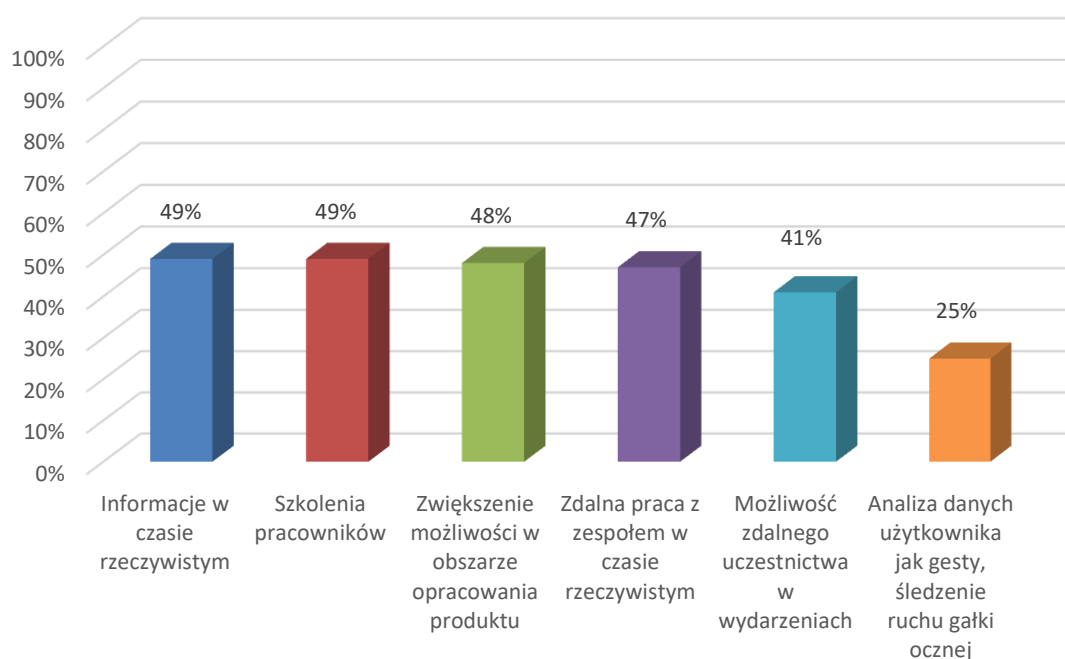
Rozwiązania tego typu są coraz częściej spotykane w takich obszarach jak przemysł czy edukacja. Rozwój techniki VR znacząco poszerza obszar jego potencjalnych zastosowań. Zestawy, które dostępne są na rynku stają się dużo bardziej zaawansowane i znacznie lepiej przetwarzają obraz, co przekłada się bezpośrednio na wyższy poziom immersji. Zarówno w przemyśle, jak i w edukacji pojawiają się bardziej zaawansowane rozwiązania, które mają za zadanie ułatwić realizację procesów przemysłowych, a także umożliwić rozwój edukacyjny. Jednym z najbardziej chłonnych rynków w ostatnich latach okazał się rynek gier komputerowych. Rozrywka w wirtualnej rzeczywistości jest bardzo popularna, a same rozwiązania przeznaczone na ten rynek stają się coraz lepsze i bardziej atrakcyjne dla odbiorcy. VR ma także szerokie zastosowanie w obszarze medycyny, zarówno pod kątem opieki zdrowotnej, jak i urządzeń medycznych. Dostępne analizy pokazują, że na równi z rozwiązaniami medycznymi rozwijają się aplikacje VR stosowane w edukacji. Bariery z jakimi dana technologia musi się zmierzyć oraz korzyści płynące z zastosowania VR w różnych obszarach zaprezentowano w raporcie „Finances Online” oraz zwizualizowano na rys. 24-26 [80].



Rys. 24. Bariery wpływające na implementację techniki wirtualnej rzeczywistości [80].



Rys. 25. Obszary wykorzystania wirtualnej rzeczywistości [80].



Rys. 26. Zalety implementacji wirtualnej rzeczywistości w przemyśle [80].

3.1. Zastosowanie technologii VR w obszarze edukacji

Na świecie istnieje wiele programów edukacyjnych wykorzystujących wirtualną rzeczywistość. Kluczowym zagadnieniem w kontekście szerszego stosowania VR w obszarze edukacji jest odpowiednie dostosowanie materiału i treści kształcenia do wymagań technologii. W 2016 roku przeprowadzono ankietę w grupie 1000 nauczycieli, której wyniki wskazują, iż 60% z nich uważa, że VR jest ważnym składnikiem w rozwoju edukacji [81]. Przeprowadzono badania porównawcze na grupie 50 studentów, podzielonych na dwie grupy. Podczas badania uczestnikom zaprezentowano materiał edukacyjny z zakresu historii Stonehenge. Do badania wykorzystano standardową formę prezentacyjną (PowerPoint) oraz technikę wirtualnej rzeczywistości. Wyniki dowodzą, iż w pewnych obszarach, zastosowanie VR jest korzystniejsze dla studenta. Natomiast, jednym z elementów, w którym grupa studentów bazujących na standardowej prezentacji miała lepsze wyniki od osób korzystających z VR to rozpoznawanie i zapamiętywanie detali. Prosty przykładem było pytanie o miejscowość, w której znajduje się Stonehenge. Tylko 12% studentów będących w grupie VR poprawnie odpowiedziało na to pytanie

w porównaniu do studentów z drugiej grupy, w której to 40% studentów udzieliło poprawnej odpowiedzi. Dalsze analizy pokazały, iż większość studentów szuka słów kluczowych, które zapamiętuje. W grupie VR większą uwagę przykuwa grafika i wizualizacja przez co studenci mniejszą uwagę zwracają na tekst, a tym samym przekazywane informacje [81].

Aby zastosowanie VR było najbardziej efektywne, nauka musi być dostosowana do aktualnych trendów zarówno pod względem digitalizacji świata, jak i aktualnej generacji studentów określanej np. jako Z, Y, α itp. Generacja Z lub α swoją wiedzę opiera o szeroko dostępny Internet, wykorzystując do nauki wszelkiego rodzaju urządzenia elektroniczne – telefony typu smartphone czy tablety. W Internecie można znaleźć dużą liczbę materiałów edukacyjnych, w tym materiały typu e-learning, które są oferowane przez duże firmy w ramach np. kursów certyfikacyjnych. Nacisk na media społecznościowe i szeroką digitalizację wpływa także na formę nauki, co prowadzi do powstania nowych rozwiązań takich jak edu-coaching [82]. Obserwowane obecnie duże rozproszenie uwagi studentów wieloma czynnikami jest negatywnym czynnikiem wpływającym na poziom przyswajania wiedzy podczas nauki. Izolacja użytkownika w wirtualnym świecie pozwala osiągnąć większy poziom skupienia. Dla przykładu w [83] przedstawiono opracowany na potrzeby realizacji innowacyjnych zajęć program „MaxWhere 3D VR”. Jest to silnik VR znajdujący się w chmurze, który można integrować z wieloma rozwiązaniami. MaxWhere pozwala na przygotowanie materiałów do zajęć w formie wirtualnej rzeczywistości wykorzystując przeglądarkę internetową (rys. 27).



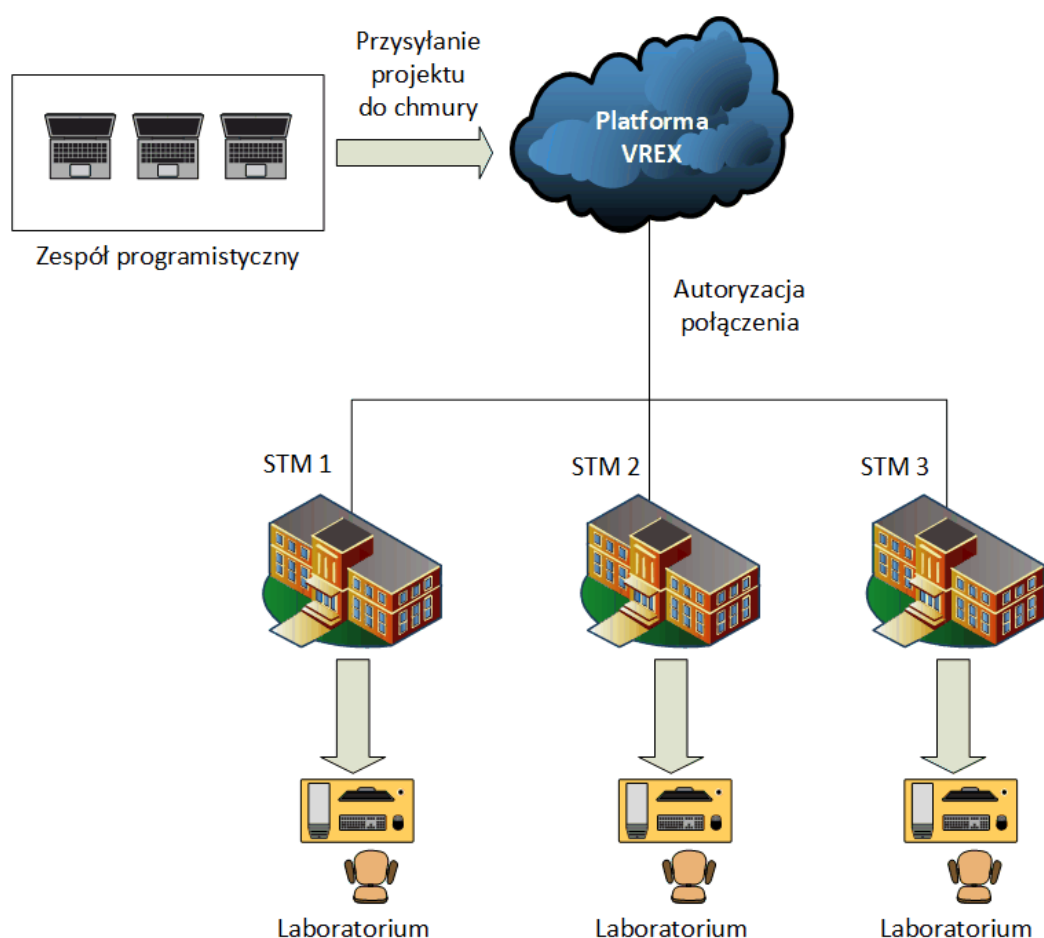
Rys. 27. Przykład implementacji zajęć w środowisku MaxWhere [83].

Na Széchenyi István University na Węgrzech przeprowadzono badania mające na celu określenie, która forma zajęć jest efektywniejsza. Do analizy wykorzystano trzy formy realizacji zajęć:

- **Klasyczne rozwiązanie** – oparte o pliki txt, prezentacje, pliki pdf;
- **E-learning** – platformy do nauki zdalnej z dostosowanym interfejsem i materiałami w formie cyfrowej (np. Moodle);
- **MaxWhere OS** – rozwiązanie posiadające elementy VR, do których można uzyskać dostęp za pomocą przeglądarki internetowej, bądź interaktywnej tablicy.

W badaniu udział wzięło 379 studentów. Wykorzystano 1 plik PowerPoint, 1 plik formatu PDF, 1 plik wideo, 4 strony internetowe. Liczba przeprowadzonych testów odpowiadała liczbie udostępnionych plików. Ostatni test bazował na informacjach zawartych na stronach internetowych. Każdy student otrzymał wiadomość email z odpowiednimi materiałami. W badaniach mierzono czas od uruchomienia/ściągnięcia plików do zakończenia nauki. Wyniki pokazały, iż wykorzystując rozwiązanie oparte o VR studenci dużo szybciej potrafili przygotować miejsce pracy i opanować materiał z zajęć [84].

Kolejnym ciekawym projektem jest system „VREX” (ang. Virtual Reality Education eXpansion). VREX jest platformą edukacyjną opartą o chmurę, przeznaczoną do poszerzania wiedzy z zakresu nauk ścisłych. VREX wprowadzono w szkołach wyższych, głównie na terenie Chin. W ramach projektu powstają gry edukacyjne, które pokrywają obszary nauki takie jak biologia, astronomia, matematyka, inżynieria czy bezpieczeństwo i ochrona danych. VREX pozwala na korzystanie z ponad 300 zbiorów materiałów, nie tylko w szkołach, ale także w domu. Student logując się do systemu otrzymuje dostęp do materiałów zawartych na platformie VREX Cloud (rys. 28) [85].



Rys. 28. Schemat ideowy platformy VREX Cloud [85].

Jednym z kursów na platformie VREX jest szkolenie z zakresu operacji medycznych. W pełnym, wirtualnym środowisku student może w praktyczny sposób poznać tajniki chirurgii, bazując na wirtualnych modelach, które za pomocą kontrolerów

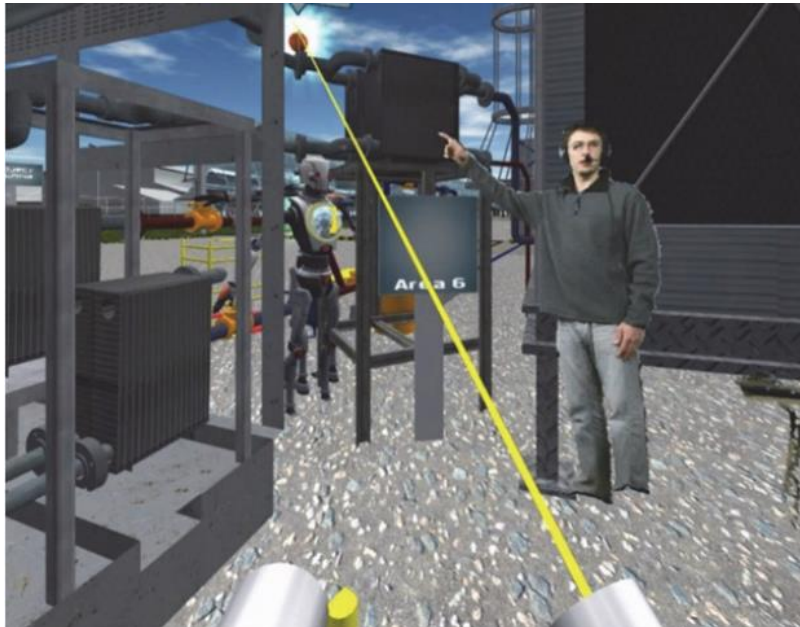
może dotknąć oraz wykonać na nich praktyczne ćwiczenia. Wykorzystanie VR w edukacji, szczególnie w chirurgii znacząco redukuje koszty zajęć w porównaniu do klasycznych zajęć prowadzonych na uniwersytetach medycznych.

Innym godnym uwagi kursem jest „Automobile Theory”. W ramach tego kursu student zaznajamia się z tematyką mechaniki samochodowej. W procesie nauki wykorzystuje wirtualne modele silników samochodowych. Podczas zajęć student może rozłożyć wybrany silnik na części, a następnie złożyć go w całość w wirtualnym środowisku [85]. Oczywiście, możliwości wykorzystania platformy VREX są dużo większe i odnoszą się do wielu dziedzin.

Praktyczne zajęcia na uniwersytetach medycznych bazują na pracy studentów z prawdziwymi organami lub specjalnie opracowanymi organami zastępczymi. Koszt ich pozyskania jest wysoki, a ilość ograniczona. Taką formę zajęć można częściowo zastąpić wykorzystując środowisko wirtualnej rzeczywistości. W obszarze zastosowań VR szczególnie duży potencjał wykazują zajęcia związane z anatomią. Jednym z przykładów może być program „Anatomy Builder VR” opracowany przez naukowców z Texas A&M University. Program oparty jest o silnik Unity. W projekcie zastosowano zestawy HTC Vive wraz z kontrolerami. Anatomy Builder VR umożliwia studentom praktyczną naukę anatomii poprzez poznanie struktury budowy kończyn u zwierząt oraz realizację wcześniej przygotowanych scenariuszy dydaktycznych. W trakcie pracy w środowisku wirtualnym student może podnieść za pomocą kontrolera wirtualną kość i połączyć ją z innymi elementami w dedykowanym antygravitacyjnym sandboxie [86]. Projekt wciąż jest w fazie rozwojowej, ale może znaleźć szerokie zastosowanie w nauczaniu anatomii.

Na Uniwersytecie Stanu Luizjana (LA, USA) opracowano wirtualną prezentację ośrodka naukowego o nazwie VEC (ang. Virtual Energy Center), a w szczególności umiejscowionej tam i należącej do Uczelni elektrowni słonecznej. The Solar Technology Applied Research and Testing (START) Laboratory jest placówką naukową, a jednocześnie elektrownią słoneczną, w której prowadzone są badania nad urządzeniami słonecznymi nowej generacji. Położenie placówki powoduje, że dostęp do niej dla studentów jest utrudniony. Virtual Energy Center jest projektem, który zabiera użytkownika na wycieczkę edukacyjną po ośrodku START. Studenci zakładając okulary wirtualnej rzeczywistości mają możliwość zapoznania się dokładnie z ośrodkiem, a także

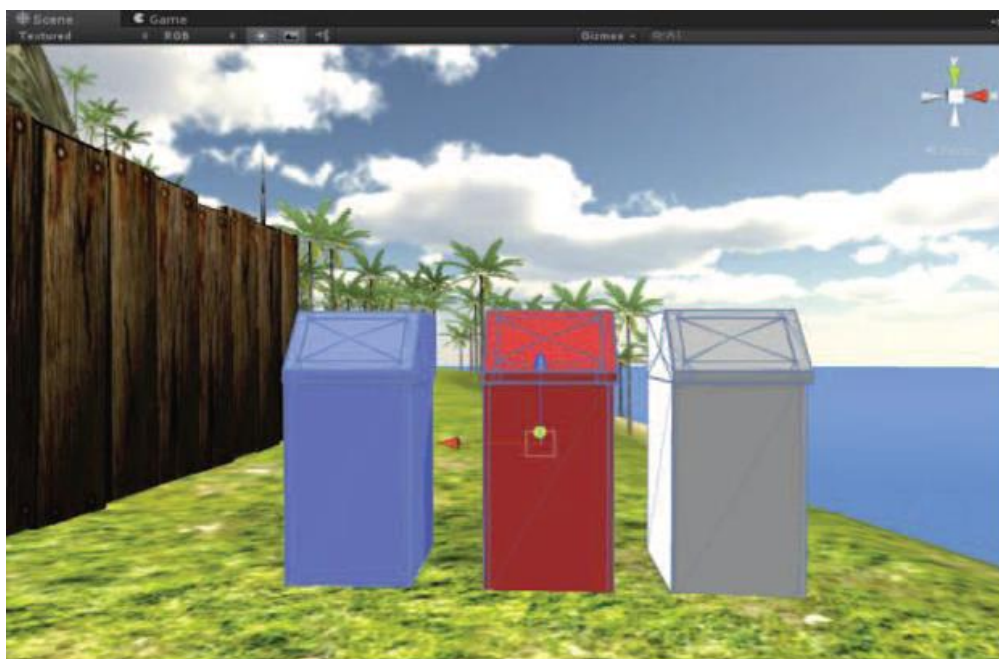
jego funkcjonalnością. VEC pokazuje i zaznajamia studentów z pojęciem energii słonecznej, metodami jej pozyskiwania oraz innymi formami odzyskiwania energii. Model laboratorium START został opracowany za pomocą silnika Unity oraz korzysta z okularów Oculus Rift DK2, kontrolerów Razer Hydra oraz urządzeń Microsoft Kinect drugiej generacji do przesłania obrazu nauczyciela do wirtualnego środowiska. Taka architektura pozwala nauczycielowi stojącemu obok studentów brać czynny udział w oprowadzaniu ich po ośrodku poprzez wizualizację jego postaci w wirtualnym świecie. W trakcie oprowadzania studenci docierają do kilku interaktywnych punktów. Mogą tam uzyskać dokładniejsze informacje o funkcjonowaniu elektrowni, zobaczyć jak złożone są wybrane komponenty, czy też poznać proces obiegu płynu w module wymiany ciepła. W systemie VEC zaimplementowano także nagrania głosowe, rzeczywiste zdjęcia urządzeń czy też pojawiające się na ekranie dodatkowe okna z informacjami na temat danego urządzenia. Poprzez przeniesienie obrazu nauczyciela do wirtualnej rzeczywistości może on omawiać elementy bezpośrednio na nie wskazując (rys. 29). Zajęcia odbywają się w pozycji siedzącej, dlatego zastosowano kontrolery do poruszania się po wirtualnym ośrodku badawczym. Pozycja obserwującego jest identyczna dla każdego studenta. W wirtualnym świecie stoi on na platformie, na której może się swobodnie rozglądać dzięki wykorzystaniu czujników umieszczonych w goglach VR [87]. Proponowane rozwiązanie korzystnie wpływa na przyswajanie wiedzy poprzez nowoczesną formę zajęć, dzięki przełożeniu teoretycznej formy przekazywania wiedzy na wirtualną rzeczywistość implementującą praktyczne aspekty zajęć.



Rys. 29. Prezentacja jednego z modułów zwiedzanego ośrodka [87].

Zarówno edukacja, jak i rynek gier mogą łączyć się ze sobą. Obecnie projektowanych jest coraz więcej gier edukacyjnych, które posiadają duży potencjał w zakresie aktywnego zaangażowania studentów w procesie dydaktycznym w porównaniu ze standardowymi zajęciami odbywającymi się w klasie. Przykładem takiego połączenia jest gra edukacyjna dotycząca tematyki ochrony środowiska. Idealnie łączy ona naukę z rozrywką. Zajęcia w szkole pozwalają poznać podstawy teoretyczne. Dzięki wykorzystaniu wirtualnej rzeczywistości można pokazać uczniom w jak pozytywnie wpływać na realne środowisko. Naukowcy z Jiangxi Science & Technology Normal University przygotowali grę, w której gracz znajduje się na wirtualnej wyspie tropikalnej. Scenariusz gry zakłada zwiększanie liczby turystów przy jednoczesnym utrzymaniu wysokiej liczby mieszkańców na wyspie. Zwiększająca się liczba ludności na danej wyspie prowadzi do zachwiania równowagi ekosystemu. Celem gracza jest ochrona wyspy z punktu widzenia mieszkańca. Ochronę tę realizuje się poprzez sprzątanie rozrzuconych śmieci na określonym terenie wraz z ich odpowiednim segregowaniem. W grze mierzona jest ilość zebranych odpadów, ich odpowiednia segregacja oraz czas realizacji zadania. Uczestnik widząc kosze na śmieci o zadanym kolorze sortuje śmieci wg. odpowiednich norm (rys. 30). Po poprawnym ukończeniu wszystkich zadań użytkownik otrzymuje nagrodę. Grę opracowano z wykorzystaniem silnika Unity w wersji 5.3. Jako okulary

do wirtualnej rzeczywistości wykorzystano zestawy Samsung Gear VR i telefony Galaxy 4. Ponieważ ten zestaw nie posiada dedykowanych kontrolerów, to do poruszania się po wirtualnym świecie oraz wchodzenia w interakcję z przedmiotami wykorzystano mysz komputerową oraz touchpad w przypadku komputerów przenośnych [88].



Rys. 30. Prezentacja koszyków na śmieci dostępnych w wirtualnym środowisku, do których należy wrzucać posegregowane śmieci [88].

W przemyśle budowlanym wymogi bezpieczeństwa są bardzo ważnym czynnikiem wpływającym na samą pracę oraz bezpieczeństwo osób pracujących na terenie budowy. Ich łamanie jest bardzo niebezpieczne i w większości przypadków grozi kontuzją, wypadkiem, a nawet i śmiercią. Edukacja z zakresu bezpieczeństwa jest zatem kluczowym elementem dla każdego pracownika. Jednakże, prowadzenie zajęć w formie wykładowej nie jest efektywne z punktu widzenia pracowników. Aby poprawić świadomość pracowników z zakresu zasad bezpieczeństwa wymaganych na terenie budowy, opracowano symulator do ich nauki z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości. Bazując na informacjach dostarczonych przez Occupational Health and Safety Administration (OHSA) naukowcy Alyssa M. Peña oraz Eric D. Ragan z Texas A&M University opracowali symulator wirtualnej rzeczywistości, prezentujący zasady bezpieczeństwa obowiązujące na budowie. Do projektu wykorzystano okulary HTC Vive z kontrolerami

HTC. Użytkownik może poruszać się po wirtualnym świecie za pomocą touchpada (kontrolera) lub przy użyciu teleportacji znanej w technice VR. Przy użyciu wirtualnej mapy umieszcza się użytkownika na budowie, na której trwają prace. Przykładowy scenariusz zajęć obejmuje wydarzenie opisane w raportach OSHA, podczas którego na budowie zawaliła się ściana, zabijając dwóch pracowników oraz raniąc trzeciego. O ile samo rzeczywiste wydarzenie trwało kilka sekund to dana sytuacja odwzorowana w wirtualnej rzeczywistości trwa o wiele dłużej. Jest to związane m.in. z potrzebą pokazania jakie popełniono błędy oraz jak można było ich uniknąć. Ze względu na to, że czas dla użytkownika biegnie podobnie w wirtualnej rzeczywistości jak i w świecie rzeczywistym, scenariusz podzielono na trzy etapy: pierwszy – rozpoczęcie budowy; drugi – zakończenie budowy ściany oraz trzeci – zawalenie się ściany. W trakcie interakcji z obiektami cząstkowe wydarzenia prowadzące do zawalenia się ściany były opisywane przy wykorzystaniu okienek tekstowych (rys. 31). W scenariuszu wykorzystano rzeczywiste zdjęcia z miejsca budowy [89]. Jest to przykład projektu edukacyjnego, który ma na celu poprawić poziom bezpieczeństwa w branży budowlanej.



Rys. 31. Prezentacja obiektu dla którego wyświetla się okno z opisem co dany obiekt wykonuje [89].

W kontekście zastosowania wirtualnej rzeczywistości w edukacji należy też zwrócić uwagę na projekt VR MOOC LMS, opracowany przez zespół Koreańczyków

z Hanyang University. Jest to narzędzie, które wspomaga edukację studentów w dziedzinie chemii. Zaproponowany system LMS (ang. *Learning Management System*) podzielono na: część kliencką oraz część serwerową. System klienta jest wirtualnym laboratorium chemicznym, gdzie student ma możliwość poznawania podstaw chemii. Użytkownik może wchodzić w interakcję z różnymi elementami, w tym z próbkami oraz różnymi związkami chemicznymi. Wszystkie ruchy i zachowania użytkownika są gromadzone przez część kliencką aplikacji (status sceny, ruch, interakcja z obiektami), a następnie przesyłane są do serwera. System serwerowy informuje nauczyciela o przebiegu ćwiczenia oraz postępach użytkownika w wirtualnym świecie. W przypadku błędów (zły ruch, niepoprawne obracanie elementem) nauczyciel dobiera odpowiednio informacje zwrotne i może na bieżąco poprawiać studenta udzielając mu odpowiednich wskazówek. Podobnie, jeśli student poprosi prowadzącego o pomoc, np. poprzez podniesienie ręki, to prowadzący może przekazać studentowi wskazówki mówiąc do niego poprzez mikrofon. Student mający założony zestaw VR usłyszy komunikaty nauczyciela poprzez słuchawki. Takie działanie pozwala zdalnie monitorować działania studenta i wspierać jego postępy w nauce. System serwerowy zbiera oddzielne dane od każdego studenta co umożliwia prowadzenie zajęć z wieloma osobami jednocześnie. Serwer pozwala także przechwycić obraz danego studenta i wyświetlić go na monitorze. Taka funkcjonalność zapewnia prowadzącemu bieżący podgląd na pracę studenta (rys. 32). Dostępna jest również możliwość przechwytywania wielu obrazów jednocześnie za pomocą opcji multi-view [90]. Prowadzenie zajęć w przedstawiony sposób stymuluje rozwój studenta zapewniając mu jednocześnie wysoki poziom bezpieczeństwa. Wynika to z faktu, że działania w wirtualnym świecie eliminują występowanie wypadków tj. student nie podrażni ciała niebezpiecznymi związkami chemicznymi, a także nie uszkodzi stanowiska laboratoryjnego, gdyż wszystkie jego czynności odbywać się będą w wirtualnej rzeczywistości.



Rys. 32. Stanowisko wirtualnego laboratorium chemicznego. Widok (od lewej strony) z pozycji first person, widok sceny oraz tryb multi-view [90].

Zastosowanie wirtualnej rzeczywistości jest także możliwe w takiej dziedzinie jak architektura. Jest to bardzo dobre rozwiązanie wpierające pracę z bryłami geometrycznymi, które mogą być przekształcane w różne konstrukcje budowlane. Jednym z projektów realizujący opisane możliwości jest „CubeVR” opracowany przez naukowców z Colorado State University oraz Florida International University. Projekt został stworzony z wykorzystaniem silnika Unreal Engine oraz zestawu HTC Vive pracującego wraz z kontrolerami. Sandbox składa się z biurka oraz materiałów budowlanych – sześcianu, płyty oraz podstawy. Zadaniem studentów, tak jak na standardowych zajęciach z architektury, jest zbudowanie pewnego obiektu z wykorzystaniem podanych wcześniej materiałów o zadanych wymiarach, np. sześcianu o wymiarach 3x3 cala. Poprzez naniesienie tekstur na elementy, student ma bardziej realne wyobrażenie pracy z materiałem (rys. 33). Wykorzystując oprogramowanie CubeVR możliwe jest łączenie elementów z dokładnością od 2 do 0,25 cala z możliwością obracania obiektów pod kątem 30, 60 czy 90 stopni, w zależności od ustawień użytkownika. Jednym z kluczowych elementów jest możliwość cofnięcia zmian, co w rzeczywistej konstrukcji może być niemożliwe [91]. Dzięki wykorzystaniu wirtualnej rzeczywistości, możliwe jest prowadzenie zajęć o dużo większym zakresie tematycznym. Dodatkowo, wirtualne obiekty przeznaczone do zajęć mogą zostać dodane do projektu poprzez zaimportowanie odpowiednich plików graficznych i dołączenie ich do programu. Dzięki temu możliwe jest znaczne obniżenie kosztów prowadzenia zajęć w kontekście wykorzystania rzeczywistych materiałów. Wszystkie ćwiczenia odbywają się w wirtualnym środowisku, w którym użytkownik może wchodzić w pełną interakcję z projektowanym obiektem.



Rys. 33. Widok pola roboczego użytkownika [91].

3.2. Zastosowanie technologii VR w obszarze przemysłowym

Zastosowanie wirtualnej rzeczywistości nie ogranicza się tylko do edukacji, medycyny czy rynku gier komputerowych. Coraz popularniejsze staje się wykorzystywanie rozwiązań VR w obszarze przemysłowym. Symulacje oparte na technologii VR i AR są kluczowymi technologiami w Przemysle 4.0, które umożliwiają testowanie i badanie nowych procesów przed ich wdrożeniem. Symulator procesów przemysłowych wymaga elastycznego sposobu modelowania czynności wykonywanych przez pracownika oraz innych elementów, takich jak roboty i maszyny. Planowanie procesu przemysłowego jest zwykle procesem bardzo złożonym i czasochłonnym. Zazwyczaj jest to iteracyjny proces, w którym można zidentyfikować problemy, których nie da się przewidzieć, dopóki cały proces nie zostanie wdrożony. Przeprowadzenie wirtualnej symulacji procesu może pomóc w identyfikacji różnych problemów, a tym samym zapobiec nieoczekiwanym kosztom i utracie czasu. Jest to szczególnie ważne w przypadku symulatorów procesu, które mogą korzystać z informacji zwrotnych dostarczanych przez pracowników lub inżynierów ds. walidacji. W Przemysle 4.0 symulator musi uwzględniać nie tylko czynnik ludzki, ponieważ ma to

ogromne znaczenie w planowaniu, testowaniu i usprawnianiu procesów, ale także wszystkie systemy automatyzacji, które oddziałują na ludzi, takie jak np. roboty współpracujące. W przeciwieństwie do większości symulacji opartych na VR, symulator przemysłowy musi być wystarczająco elastyczny, aby sprostać szybko zmieniającym się potrzebom przemysłu. Z tych powodów istnieje potrzeba zapewnienia ustrukturyzowanego sposobu modelowania procesów przemysłowych w symulatorze z uwzględnieniem trzech istotnych czynników: elastyczności, dostosowania do różnych celów i dziedzin zastosowań, a także umożliwienia szybszego rozwoju; interakcji różnych podmiotów (ludzi i systemów automatyki) oraz odpowiednich informacji zwrotnych wspomagających użytkowników w całym procesie [96].

Projekty realizowane w firmach pokazują, że wykorzystanie wirtualnej rzeczywistości staje się coraz bardziej korzystne. Jednym z przykładów jest projekt opracowany przez niemiecki Social Accident Insurance Institution przy współpracy z Federal Waterways and Shipping Administration. Projekt ma na celu ułatwić planowanie i budowanie elementów zabezpieczeń rzek, w tym zapór i tam. Wykorzystując technikę VR możliwe jest opracowanie modelu zapory (rys. 34), wykonanie symulacji zachowania rzeki oraz identyfikację potencjalnych niebezpieczeństw z tym związanych. Obiekt, który zostanie fizycznie zbudowany w realnym świecie nie może zostać przeniesiony w inne miejsce w taki sposób jak to dzieje się w wirtualnej rzeczywistości. Przeniesienie budynku w rzeczywistym świecie wiąże się ze zbudowaniem nowego oraz przeniesieniem do niego całej infrastruktury z poprzedniego budynku lub jej rekonstrukcją w nowym miejscu, co generuje wysokie koszty i wymaga dodatkowych nakładów pracy. Za pomocą symulacji realizowanych w środowisku wirtualnym inżynierowie mogą określić jak będzie funkcjonować zapora w warunkach symulacyjnych lub zbliżonych do rzeczywistych. W przypadku omawianego przykładu do testów wykorzystano jedną z istniejących zapór znajdujących się na rzece Neckar w Niemczech. Model wykonano na podstawie dokumentacji obiektu, która została przeniesiona do programu 3D typu CAD. Opracowano także aplikację umożliwiającą symulowanie ruchu bram oraz zapór. Zespół ekspertów przeprowadził wiele symulacji z wykorzystaniem oprogramowania wirtualnej rzeczywistości co pozwoliło na zebranie kluczowych informacji oraz identyfikacji

możliwych problemów, które mogą wystąpić przy budowie nowych struktur [92]. Projekt dalej jest wykorzystywany do analizy i budowy potencjalnych zapór na rzece.



Rys. 34. Projekt zapory na rzece, przeniesiony do wirtualnej rzeczywistości [92].

Wirtualna rzeczywistość jest również szeroko wykorzystywana w branży naftowej. Jednym z przykładów jest Petrobras (Petroleo Brasileiro SA), brazylijski koncern naftowy z siedzibą w Rio de Janeiro, zajmujący się wydobywaniem oraz przetwórstwem ropy naftowej i gazu ziemnego. Wraz z naukowcami z Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro opracowano projekt „Environ” (ang. Environment for Virtual Objects Navigation). Environ łączy wirtualną rzeczywistość z systemem CAD. Oprogramowanie może importować projekty wykonane w programach typu CAD w odpowiednim formacie i przetwarzać te dane tworząc wirtualną symulację i wirtualizację analizowanych projektów. Petrobras wykorzystuje Environ do m.in. analizy platform wiertniczych, symulacji dynamiki płynów, dyspersji dymu czy wizualizacji ułożenia rur przesyłających wydobywaną ropę z dna morskiego. Kluczowym aspektem programu jest analiza i symulacja zastosowanego modelu, co pozwala na wykrycie potencjalnych zagrożeń związanych z infrastrukturą, przepływem ropy czy warunkami danego obszaru. Oprogramowanie pozwala na wizualizację obiektów (pobierając dane z plików CAD)

i ocenę cyklu życia poszczególnych komponentów w zróżnicowanym środowisku. Pełna wizualizacja obiektów i symulacja odbywa się w wirtualnej rzeczywistości, z którą użytkownik może wejść w interakcję (rys. 35) [93]. Projekt jest cały czas rozwijany, a jego możliwości są coraz bardziej rozbudowane.

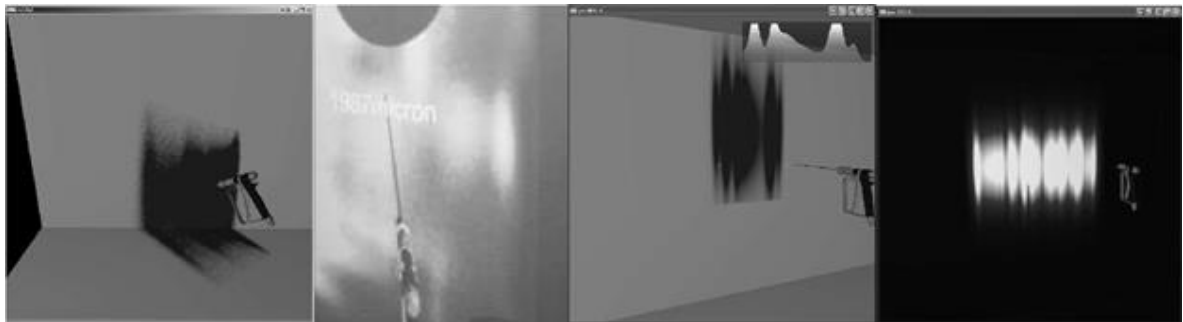


Rys. 35. Rafineria przedstawiona w wirtualnym środowisku, z którym użytkownik wchodzi w interakcję [93].

Rozwiązania przemysłowe powstają w trakcie współpracy firm z różnymi uczelniami na świecie. Jednostki badawcze prowadzą badania w zakresie produktu, usługi, które przemysł ma możliwość wdrożyć. Przykładem kolejnego projektu jest projekt opracowany przy współpracy Instytutu Elektroniki i Telekomunikacji w Korei oraz Samsung Heavy Industry. Opracowany projekt przenosi użytkownika do świata wirtualnej rzeczywistości dając mu możliwość nauki malowania budynków z użyciem pistoletu do aerozoli. Naukowcy przeprowadzili wiele badań i analiz, aby opracować system jak najbardziej zbliżony do rzeczywistych warunków. Kluczowym aspektem symulacji VR musi być spełnienie trzech podstawowych czynników – praca w czasie rzeczywistym, realistyczne pokrycie farbą wykonane przez użytkownika oraz końcowy efekt – grubość naniesionej farby w celach analizy wykonanej pracy (rys. 36). Wykonując analizy wielu otrzymanych próbek wykazano, iż najbliższym rzeczywistości modelem wykorzystywanym w symulacji jest model bazujący na rozkładzie Gaussa. W celu analizy pokrycia obiektu farbą wykorzystano kolizję promieni na wielokątach w świecie wirtualnym. Poprzez wykorzystanie rozkładu Gaussa, możliwe jest określenie

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 nr projektu 027/RID/2018/19 kwota finansowania 11 999 900 zł.

jak cząsteczki rozchodzą się na malowanym obiekcie. Gotowe rozwiązanie może pomóc w edukacji malarzy dając im możliwość nauczenia się w wirtualnym świecie praktycznych zadań. Poprzez wirtualną praktykę pracownik ma możliwość osiągnąć biegłość w technice malowania ścian w szczególności odpowiedniego zużycia materiałów malarskich, co może przyczynić się do znacznego zmniejszenia rzeczywistych kosztów szkolenia [94].



Rys. 36. Wizualizacja rozproszczenia farby na zadanej powierzchni [94].

VR jest stosowany również w przemyśle elektrycznym. „VRCEMIG” to projekt opracowany przez naukowców z Federal University of Uberlândia oraz brazylijską firmę CEMIG (ang. Electric Energy Company of Minas Gerais State) zajmującą się dostarczaniem energii elektrycznej do budynków. VRCEMIG to wirtualne środowisko, w którym użytkownik może poruszać się po podstacji napięcia. Projekt ten jest o tyle ważny, iż korzysta z rzeczywistych danych pozyskiwanych z baz danych CEMIG. Wszystkie informacje zbierane przez systemy podstacji elektrycznej przechowywane są w bazach danych firmy. VRCEMIG ma możliwość odczytu danych z bazy danych i prezentacji ich w czasie rzeczywistym w wirtualnym modelu. Dzięki VRCEMIG użytkownik siedzący w okularach wirtualnej rzeczywistości może dokonywać diagnostyki oraz analizy podstacji elektrycznej w czasie rzeczywistym (rys. 37). Dodatkową funkcją jest możliwość zmiany parametrów działania podstacji z poziomu wirtualnej rzeczywistości, wykonując operacje na wirtualnym modelu stacji. Poprzez synchronizację informacji, zmiany wprowadzone w wirtualnej rzeczywistości są automatycznie wprowadzane do podstacji elektrycznej. VRCEMIG oferuje także funkcję wirtualnego spaceru po podstacji elektrycznej. Sterowanie w wirtualnym świecie odbywa się za pomocą wybranych przez użytkownika urządzeń wejściowych – myszki, klawiatury lub joysticka. Okulary VR służą przede wszystkim do wyświetlania obrazu [95].

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 nr projektu 027/RID/2018/19 kwota finansowania 11 999 900 zł.



Rys. 37. Prezentacja projektu VRCEMIG - poruszanie się po wirtualnej podstacji elektrycznej [95].

W [96] przedstawiono założenia odnoszące się do modelowania procesów przemysłowych z wykorzystaniem symulatorów VR i AR. W tym przypadku zdefiniowano podstawowe funkcje obejmujące interakcje między pracownikami, a różnymi systemami automatyzacji, takimi jak roboty oraz wskazano konieczność uwzględnienia szerokiego zestawu realizowanych zadań (w tym montaż i demontaż komponentów), a także potrzebę zapewnienia elastyczności modelowania procesów przemysłowych dla różnych dziedzin i celów. W pracy zaprezentowano opracowany symulator linii końcowej montażu statku powietrznego. Celem tego symulatora jest ocena różnych strategii montażu i przeprowadzenie oceny ergonomii. Wdrożono łącznie 24 procesy, w tym również te całkowicie zautomatyzowane. Umożliwiło to ocenę różnych scenariuszy procesów, za pomocą których można złożyć kabinę i ładunek statku powietrznego w sposób automatyczny i półautomatyczny na jednym symulatorze. Ponadto scenariusz pozwolił na zdefiniowanie zadań, w których działania były wykonywane równolegle przez różne podmioty (pracowników i roboty). Powstały w ten sposób symulator „Perception Neuron” jest symulatorem immersyjnym VR opartym na HTC Vive. System przechwytywania ruchu Perception Neuron firmy Noitom został wykorzystany do oceny ergonomii w symulatorze montażu samolotów. Środowisko w tym symulatorze składa się z fragmentu samolotu umieszczonego wewnątrz magazynu. Symulator koncentruje się na nowych procesach montażowych, takich jak montaż górnych kontenerów bagażowych i okładzin ściennych w kabinie i panelach bocznych oraz w obszarze cargo.



Rys. 38. Symulacja końcowej linii montażowej samolotu. a) ramiona robotów umieszczających panele ścian bocznych, b) HRC (ang. Human–Robot Collaboration) na przykładzie człowieka i ramienia robota umieszczającego panele ścian bocznych [96].

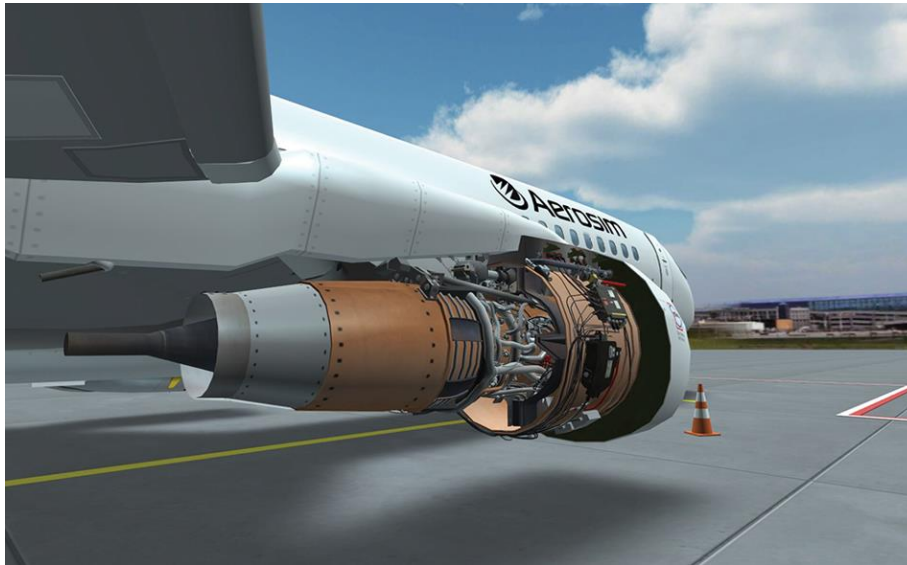
W ostatnich latach przemysł lotniczy śledził, w jaki sposób nowe technologie, takie jak rzeczywistość wirtualna i rzeczywistość rozszerzona, mogą pomóc w dokładniejszym i szybszym szkoleniu mechaników i załogi naziemnej, bez ponoszenia kosztów i niebezpieczeństwa związanego z praktykowaniem na rzeczywistych samolotach. VR zapewnia personelowi bezpieczne środowisko, w którym pracownicy mogą doskonalić swoje umiejętności, pozwalając np. wielokrotnie przechodzić przez scenariusz obsługi technicznej, aż do momentu, gdy proces ten pracownik całkowicie opanuje. Szkolenie w zakresie obsługi technicznej statków powietrznych jest również ważnym zagadnieniem. Jednym z wyzwań związanych ze szkoleniem personelu technicznego jest konieczność wykorzystania w procesie kształcenia i certyfikacji rzeczywistych samolotów i ich części. Kursant wykonuje naprawy i konserwacje pod czujnym okiem doświadczonego instruktora. Ta część szkolenia, choć skuteczna, może być kosztowna ze względu na koszty dostępu do samolotów i materiałów oraz niebezpieczna ze względu na brak doświadczenia uczestnika szkolenia. Uczeń, stażysta, który szkoli się wyłącznie na zajęciach teoretycznych w klasie, nie znając fizycznych aspektów pracy, może w przyszłości nieefektywnie wykorzystywać materiały, uszkodzić, a nawet całkowicie zniszczyć samolot. W tym wypadku rozwiązanie oparte o technologię VR może efektywnie wspomóc proces nauczania i przyczynić się do wyeliminowania tych zagrożeń

[97]. W pracy [97] pokazano wiele przykładów zastosowań VR i AR w branży lotniczej, np. system szkoleniowy VR dla Boeinga 737, w którym mechanicy ćwiczą odwracanie siły ciągu z wykorzystaniem procedur zawartych w instrukcji obsługi statku powietrznego (rys. 39).



Rys. 39. Wirtualny system instrukcji obsługi statku powietrznego [97].

Innym przykładem może być system stworzony przez Aerosim, który oferuje produkty szkoleniowe oparte na symulacjach, wykorzystywane przez komercyjnych przewoźników lotniczych i organizacje szkoleniowe o charakterze ogólnym. Dotyczy to również narzędzi dla pilotów i techników wykorzystujących nauczanie na odległość w obrębie szkolenia lotniczego (np. wirtualny system wsparcia dla Embry-Riddle, rys. 40). Ponadto, ośrodek Aerosim wspólnie z LATAM Airlines pracował w 2012 roku nad wdrożeniem platformy „Aerosim Virtual Maintenance Trainer” do szkolenia techników lotniczych w zakresie lokalizacji wybranych komponentów samolotów Airbus A320 i A330 oraz testowania procedur usuwania usterek tych elementów [98].



Rys. 40. Wirtualny system wsparcia dla Embry-Riddle [98].

3.3. Zastosowanie technologii VR w rozwoju „smart city”

Postęp technologiczny wywiera olbrzymi wpływ na społeczeństwo, na sposób jego życia, pracy, edukacji, czy też spędzania wolnego czasu. Taka sytuacja ma miejsce od początków rozwoju cywilizacji, a w XXI wieku szczególne znaczenie w tym zakresie odegrało rozpowszechnienie technologii informacyjno-komunikacyjnych (ang. *Information and Communication Technologies, ICT*). Podstawą funkcjonowania rozwiniętych społeczeństw są struktury miejskie. W związku z rozwojem technologicznym wkroczone w erę tzw. inteligentnych miast (ang. *smart city*), czyli miast, które wykorzystują ICT dla efektywnego zwiększenia wydajności i interaktywności infrastruktury miejskiej oraz jej składowych komponentów. Dzięki takim działaniom dąży się do upowszechniania wysokiej jakości życia, zrównoważonego rozwoju gospodarczego, a także inteligentnego gospodarowania zasobami naturalnymi. Koncepcja inteligentnych miast opiera się m.in. o rozbudowaną strukturę czujników i systemów informatycznych gromadzących, przesyłających i przetwarzających ogromną ilość danych. Docelowo dąży się do sytuacji, w której dane te będą wymieniane w ramach struktury Internetu Wszechrzeczy (ang. *Internet of Everything, IoE*). Tak rozbudowany system wymiany danych otwiera kolejne możliwości ich wykorzystania. Jednym z takich obszarów jest właśnie wirtualna lub rozszerzona rzeczywistość. Może stanowić ona element systemu obsługi turystycznej. Dzięki wykorzystaniu nowoczesnej technologii, każdy będzie mógł zwiedzać całe miasta

w wirtualnym świecie, a dzięki sprzężeniu z bazami danych podczas takiej wirtualnej wycieczki możliwe będzie aktywne przekazywanie bieżących informacji dotyczących np. aktualnej pogody, szczegółowych informacji dotyczących poszczególnych obiektów i miejsc w danym mieście, natężenia ruchu samochodowego, rozkładów jazdy, a nawet stopnia zanieczyszczenia powietrza (rys. 41). Podejście takie pozwoli przenieść turystykę na zupełnie inny poziom m.in. z punktu widzenia wizualizacji atrakcji historycznych, a także kulturalnych np. poprzez wirtualny udział w koncertach, spektaklach, czy też wydarzeniach sportowych. Wykorzystanie technologii wirtualnej rzeczywistości może przyczynić się do lepszego zrozumienia procesów zachodzących we współczesnych oraz przyszłych aglomeracjach miejskich, a także współzależności pomiędzy różnymi podmiotami życia miejskiego w kontekście czasoprzestrzennym. Takie podejście wiąże się również z uwzględnieniem tzw. cyfrowych bliźniaków (ang. digital twins) dla inteligentnych miast [99], które pozwolą nie tylko na wirtualne odwzorowanie miasta, ale stanowiąc będą nierozdzielny element struktury miejskiej. Realizacja takiego podejścia może przyczynić się do zwiększenia efektywności w procesach alokacji zasobów, planowania i rozbudowy infrastruktury, zapewnienia bezpieczeństwa, maksymalizacji usług, ułatwienia działalności gospodarczej i ludzkiej przy ciągłym uwzględnianiu zmieniających się warunków społecznych oraz ekonomicznych. Dzięki temu możliwe będzie osiągnięcie systemu o charakterze adaptacyjnym właściwym dla systemów złożonych.



Rys. 41. Przykładowy fragment wirtualnego miasta, w którym mieszkańcy informowani są o jakości powietrza.

4. Analiza możliwości wdrożenia technik VR w procesie nauczania dla wybranych modułów na kierunkach prowadzonych na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej

4.1. Wprowadzenie

Jak to zostało pokazane w poprzednich rozdziałach, wirtualna rzeczywistość ma bardzo szerokie zastosowanie, również w aspekcie edukacyjnym. Wdrożenie na uczelniach nowej, innowacyjnej formy zajęć może stanowić w przyszłości kluczowy aspekt procesu dydaktycznego, nie tylko w zakresie nowoczesnych technik edukacyjnych, ale także jako jeden z elementów promujących uczelnie w skali kraju. Dodatkowo, może się to przełożyć również na zwiększenie liczby potencjalnych studentów.

Nowoczesna edukacja wymaga budowy aktywnego, wielopoziomowego systemu kształcenia ustawicznego. Szczególnie istotne jest to w przypadku nowych trendów technologicznych oraz nowej klasy usług. W ostatnim czasie w tym obszarze szczególnego znaczenia nabrała grupa technologii skupiona w ramach koncepcji Przemysłu 4.0. Koncepcja ta wiąże się z rozwojem globalnych sieci przemysłowych, do których będą podłączone procesy projektowe, produkcyjne oraz zarządcze różnych przedsiębiorstw. Integracja produkcji powinna osiągnąć poziom, który pozwoli wytwarzanemu produktowi na interakcję z dowolnym powiązaniem obiektem w globalnej sieci. Środowisko przemysłowe, promuje ścieżkę rozwoju edukacji opartą o idee integracji i globalizacji oraz zasady kształcenia ustawicznego, w tym rozwój mobilności i wzajemnego uznawania dokumentów edukacyjnych na całym świecie. Obecnie idee te są wdrażane tylko częściowo, a nowe trendy są stopniowo implementowane w procesy edukacji formalnej i pozaformalnej. Jedną z kluczowych zmian jest pojawienie się na rynku edukacyjnym, firm zorientowanych na technologie informacyjne i komunikacyjne, które aktywnie promują ideę „szybkiego uczenia się technologii”. Szkolnictwo wyższe musi się zmierzyć z nową konkurencją tj. z międzynarodowymi uniwersytetami internetowymi, które oferują kursy online oraz mogą zdalnie szkolić wielu studentów, którzy mają utrudniony dostęp do szkół klasycznych. Wśród nowych form nauczania możemy wyróżnić: szkolenia

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 nr projektu 027/RID/2018/19 kwota finansowania 11 999 900 zł.

masowe, spersonalizowane, specjalistyczne szkolenia w niezamieszkałych obszarach (ang. *uninhabited training*) wykorzystujące nowe rozwiązania technologiczne, w tym również sztuczną inteligencję, która przejmuje rolę nauczyciela. Zatem, kosztowna, intensywna edukacja z nauczycielem będzie oparta na osobistej interakcji z wysoko wykwalifikowanymi fachowcami, zbiorowej pracy twórczej oraz tworzeniu i rozwijaniu zespołów. Postępująca informatyzacja wyznaczyła nowe kierunki rozwoju edukacji, które koncentrują się wokół tworzenia nowych kompetencji z wykorzystaniem nowoczesnych metod nauczania. Nastąpiło przesunięcie paradygmatu z nauczania opartego na wiedzy i treści, na nauczanie oparte na kompetencjach praktycznych. W tym ostatnim przypadku podręcznik i nauczyciel tracą swoją pozycję jako główne źródło wiedzy i informacji. Treści są aktualizowane i prezentowane w interaktywnych formach multimedialnych, a rozległe zbiory wiedzy udostępniane w formatach medialnych zastępują klasyczne biblioteki [100].

Różne formy VR mogą być stosowane zależnie od obszarów kształcenia. Docelowa forma jest uzależniona od celów rynkowych i od tego, które technologie VR mogą być rozwijane, ulepszone lub przenoszone z innych dziedzin nauki i techniki. W odniesieniu do koncepcji Przemysłu 4.0, uczelnie wyższe starają się skupić na kompetencjach, które są pożądane przez przemysł, dlatego też korzystają one jedynie ze specyficznych aplikacji VR, które pomagają im dopasować wymagane kompetencje do wymagań rynku pracy. Takie podejście wprowadza dużą konkurencję między uczelniami i podmiotami o podobnych kompetencjach i używającymi podobnych metod i środków edukacyjnych. W koncepcji Internetu rzeczy i Internetu wszechrzeczy, każdej maszynie i każdemu obiektowi materialnemu zapewnia się własną pozycję w globalnej przestrzeni cyfrowej, tworzy się zatem hybrydowe środowisko nauczania, które otworzy duże możliwości dla nowych interaktywnych metod kształcenia. W książce [101] autorka zauważyła, że rozwój interfejsów mózg-komputer i stworzenie odpowiednich protokołów sieciowych może być podstawą rewolucji poznawczej w uczeniu się i nowej generacji Internetu – NeuroNet lub Internet 4.0, które połączą ludzkie ciała i umysły. W najbliższej przyszłości urządzenia biometryczne mogą zostać włączone do praktyk edukacyjnych w celu śledzenia aktywności uczniów, i bieżącego dostosowywania metod i szybkości szkolenia oraz zaplanowania indywidualnego programu edukacyjnego [100].

Celem nauczania akademickiego o profilu technicznym jest usystematyzowanie wiedzy, znajomości technologii i przekazanie kompetencji wymaganych od przyszłych pracowników wykonujących swoje obowiązki w warunkach przemysłowych. Oznacza to standaryzację kompetencji (wiedzy, technologii, postaw) niezbędnych dla zapewnienia wysokiej efektywności pracy w środowisku przemysłowym. Aby pomyślnie wdrożyć najwyższy poziom kompetencji wśród przyszłych absolwentów Wydziału, konieczna jest [100]:

- Poprawa poziomu przydatności kształcenia, szkolenia i kwalifikacji do pracy;
- Zwiększenie szans na zatrudnienie osób uczących się (kształcenie, szkolenie);
- Tworzenie powiązań między kształceniem, szkoleniem i kwalifikacjami;
- Promowanie uczenia się przez całe życie w miejscu pracy;
- Promowanie umiędzynarodowienia kwalifikacji.

Wdrożenie VR w systemie edukacyjnym zapewnia bardziej interaktywną wizualizację i doświadczenie interakcji. W tym procesie ważne jest, aby uczniowie przeprowadzali eksperymenty i angażowali się w praktyczną pracę. Czasami nie jest to możliwe ze względu na wysokie koszty sprzętu i odczynników lub niebezpieczeństwo związane z niektórymi eksperymentami. W rzeczywistości wirtualnej eksperymenty takie mogą być przeprowadzane tak długo, jak długo użytkownik sobie tego życzy. Wszyscy uczniowie mogą wówczas przeprowadzać własne eksperymenty i lepiej przyswajając określony materiał. Obok tradycyjnych scenariuszy zajęć z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości, atrakcyjnym rozwiązaniem wspomagającym proces szkoleniowy w wielu wypadkach mogą się okazać innowacyjne narzędzia edukacyjne w postaci gier i symulacji komputerowych. Pozwalają one na wyeliminowanie wad tradycyjnych zajęć. Odpowiednio zaprojektowana gra szkoleniowa może zwiększyć zaangażowanie i motywację uczestników szkolenia, a zarazem pozwoli zaobserwować ich rzeczywiste i prawdziwe kompetencje. Celem takich szkoleń i wykładów jest zapewnienie możliwości przeniesienia nabytych w grze umiejętności do codziennej pracy. Wymaga to od trenerów prowadzących grę nie tylko dużych umiejętności merytorycznych i warsztatowych, lecz również trenerskich. Uczestnicy wykonując zadania związane z celem gry, pozornie niemające związku z wykonywaną na co dzień przez nich pracą, nabywają umiejętność twórczego zastosowania umiejętności wykształconych dzięki grze.

Z punktu widzenia procesu kształcenia, gry szkoleniowe można podzielić według kryteriów: czasowych, merytorycznych lub celu gry (dydaktycznego bądź integracyjno-rozrywkowego). Gry szkoleniowe mogą stanowić główny punkt szkolenia, element szkolenia, fundament merytoryczno-organizacyjny szkolenia, fundament wyłącznie organizacyjny, na podstawie którego toczy się całe szkolenie, czy ostatecznie być tylko atrakcją angażującą uczestników szkolenia w czasie wolnym. Zastosowanie gier VR podczas szkoleń znacznie zwiększa efektywność procesu nauczania, a szkolenie przybiera atrakcyjną, motywującą i angażującą wszystkich uczestników formę zajęć. Dodatkowo szkolenie staje się oryginalne, bardziej interesujące i skuteczne, co bezpośrednio przekłada się na efektywność procesu nauczania.

Wykorzystanie tego rodzaju technik podczas szkoleń jest rozwiązaniem innowacyjnym i niestandardowym. VR/AR znajduje zastosowanie w wielu zagadnieniach szkoleniowych, zarówno tzw. twardych, jak i miękkich. Pozwala na m.in.:

- Objąśnianie trudnych zjawisk, czy prowadzenie szkoleń w miejscach, w których w świecie rzeczywistym nie mogłyby się odbyć;
- Doświadczenia „bez brudzenia rąk” – np. eksperymenty chemiczne i fizyczne, poznawanie konstrukcji urządzeń i budynków dostępnych w wersji cyfrowej;
- Eksperymentowanie bez dostępu do fizycznych urządzeń;
- Spersonalizowaną praktykę – aplikacje i platformy udostępniające ćwiczenia w formie cyfrowej oferujące dodatkowo pomoc w przyswojeniu zagadnień teoretycznych i mechanizm śledzenia postępów nauczania.

4.2. Potencjał technologiczny Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej

W listopadzie 2017 roku na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej zostało powołane do życia Laboratorium Wirtualnej Rzeczywistości G2A. Nazwa laboratorium wiąże się z głównym partnerem biznesowym projektu jakim jest firma G2A, która 20.01.2017 r. podpisała z Wydziałem i Politechniką stosowne porozumienie o współpracy. G2A to firma FinTech znana z szybko rozwijającej się platformy aukcyjnej online, na której użytkownicy mogą sprzedawać kody do gier i inne produkty cyfrowe. Na mocy porozumienia firma przekazała uczelni sprzęt oraz

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 nr projektu 027/RID/2018/19 kwota finansowania 11 999 900 zł.

aktywnie dzieli się wiedzą na temat najnowszych technologii. Spółka w ramach współpracy organizuje także praktyki i staże dla studentów Politechniki. Ponadto współpraca między G2A, a Politechniką sprawia, że studenci będą lepiej przygotowani do podjęcia pracy między innymi związanej z produkcją gier i aplikacjami wykorzystującymi środowisko VR/AR.

Aktualności



Laboratorium VR G2A na Politechnice Rzeszowskiej już otwarte

17-11-2017 r.

kategoria: [Z życia studentów](#), [Wydarzenia](#)



Na Politechnice Rzeszowskiej otwarto Laboratorium Virtual Reality G2A. To efekt podpisanej 20 stycznia 2017 r. umowy pomiędzy Politechniką Rzeszowską a firmą [G2A.com](#).

Rys. 42. Otwarcie laboratorium wirtualnej rzeczywistości na Politechnice Rzeszowskiej [102].

Jak pokazuje dotychczasowe, 2-letnie doświadczenie, laboratorium to posiada bardzo duży potencjał dydaktyczny. Świadczą o tym cykliczne zajęcia i odbywające się tam wydarzenia. Koła Naukowe Wydziału, prowadzą w nim cotygodniowe spotkania, podczas których tworzą wirtualne aplikacje oraz testują je w grupach liczących do 12 osób. Ponadto liczne wydarzenia promocyjne Uczelni, które tam się odbywają pokazują, iż laboratorium jednorazowo jest w stanie pomieścić kilkunastoosobową grupę uczniów i studentów. Grupy większe, niestety muszą być dzielone na podgrupy, tak aby prowadzone w sali aktywności np. pokazy i warsztaty były realizowane w optymalnych warunkach. Ważnym wydarzeniem, które odbywa się cyklicznie w tej sali są comiesięczne spotkania/warsztaty z uczniami podkarpackich szkół, którzy w grupach

6 osobowych uczą się poprzez zabawę oraz tworzenie prostych symulacji podstaw wykorzystania technologii VR.



Rys. 43. Zajęcia VR w sali laboratoryjnej [103].

Laboratorium VR G2A jest pomieszczeniem o powierzchni ok. 30 m² i ulokowane jest w budynku A na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej, przy ul. Wincentego Pola 2 w Rzeszowie. Przestrzeń laboratorium została podzielona na dwie strefy (patrz rys. 44). Pierwsza strefa o wymiarach ok. 2,5 x 3,5 metra przygotowana jest do pracy z okularami wirtualnej rzeczywistości (2 stanowiska), zarówno w pozycji siedzącej, jak i w formie obsługującej tzw. tryb pokoju – jednej z funkcjonalności gogli HTC Vive. Druga strefa, to część wydzielona do realizacji klasycznej formy zajęć tzn. pracy studenta na stanowisku komputerowym. W tej części znajdują się 4 stanowiska komputerowe, gdzie studenci mogą przygotowywać i testować aplikacje VR/AR.

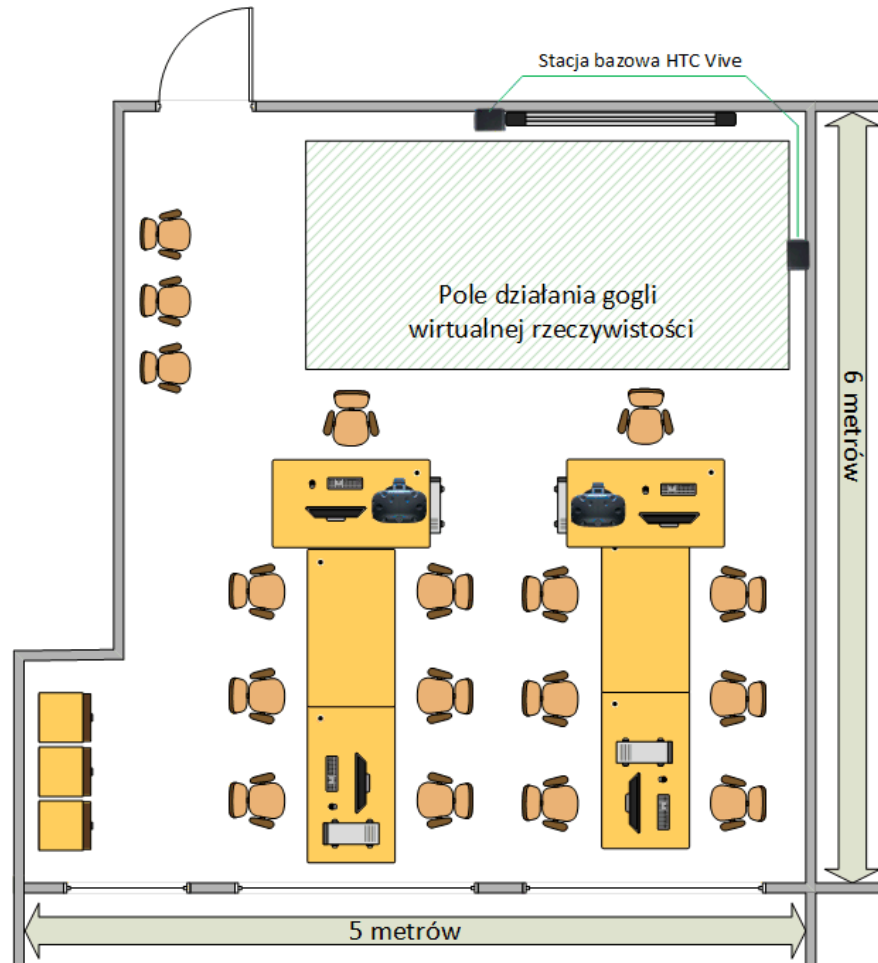
W chwili obecnej, do dyspozycji użytkowników są 4 komputery stacjonarne w tym dwie jednostki obliczeniowe o konfiguracji:

- Procesor Intel i5 6600K z oddzielnym chłodzeniem Silentium;
- 32GB RAM HyperX DDR4;
- Dysk SSD Crucial 512GB;
- Płyta główna MSI B150M Mortar;
- Zasilacz Chieftec GPS 700A8;
- Karta graficzna MSI Aero GeForce 1070 8GB OC;

oraz dwie nowsze jednostki o konfiguracji:

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 nr projektu 027/RID/2018/19 kwota finansowania 11 999 900 zł.

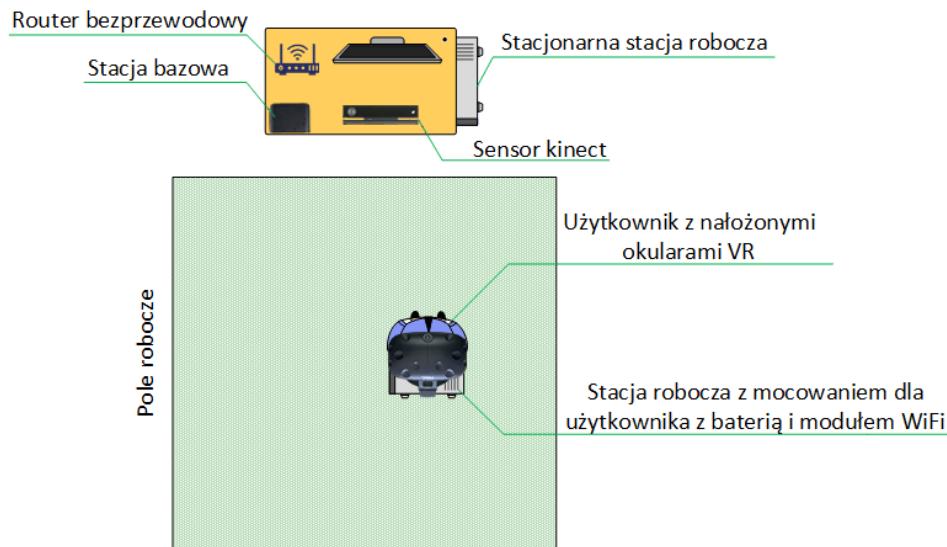
- Płyta główna MSI Z370 Gaming Plus;
- Zasilacz 1000W;
- Corsair Vengeance DDR4 16GB RAM o częstotliwości taktowania 3000MHz;
- Procesor Intel i7 8700, 3.2GHz z dodatkowym chłodzeniem SilentiumPC Fortis 3;
- Karta graficzna MSI GeForce 2070 Gaming 8GB TwinRazor;
- Dysk SSD ADATA 512GB.



Rys. 44. Schemat Laboratorium VR G2A na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej.

Studenci mogą korzystać z trzech dostępnych par gogli HTC Vive oraz dwóch zestawów Oculus Rift. Pokój posiada podwieszany projektor z rozwijanym ekranem. W sali zamontowane są również trzy tablice suchościeralne. W laboratorium funkcjonuje sieć komputerowa, obsługiwana przez 24 portowy switch D-Link. Użytkownik ma

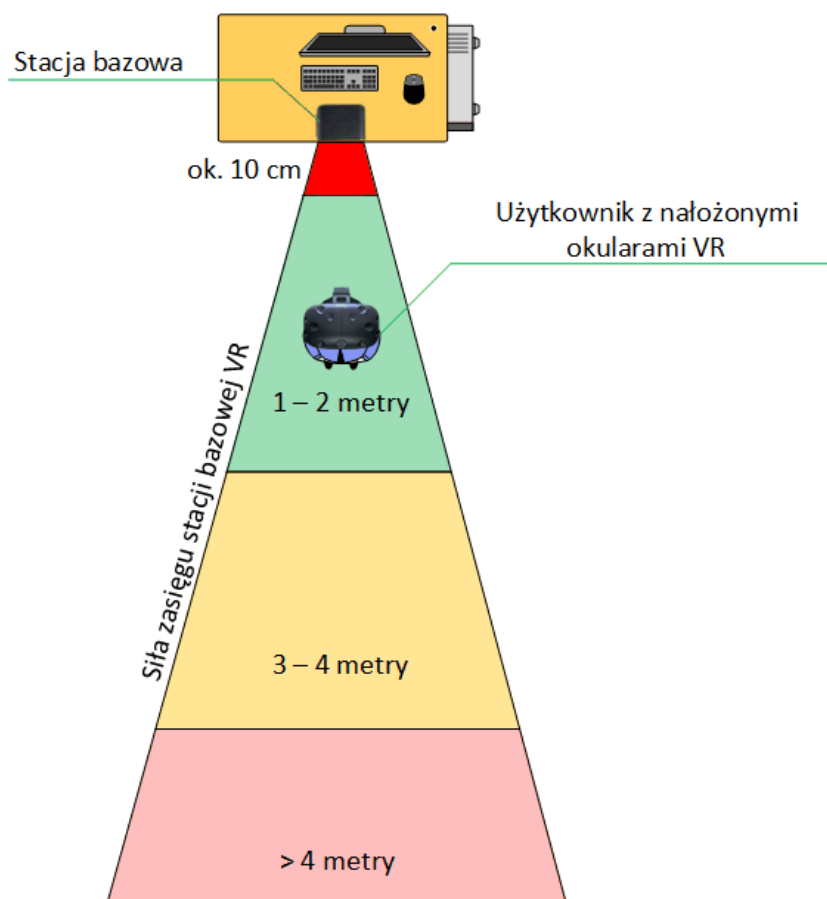
do dyspozycji szeroki zakres oprogramowania oraz możliwość zainstalowania nowych programów. Bazowym oprogramowaniem instalowanym w laboratorium są dwa silniki graficzne: Unreal Engine oraz Unity 3D. Do modelowania obiektów 3D wykorzystywany jest program Blender 3D. Na wyposażeniu laboratorium znajdują się dodatkowo soczewki aGlass, które dedykowane są okularom HTC Vive. Soczewki te umożliwiają analizę położenia siatkówki oka oraz jej śledzenia w czasie rzeczywistym.



Rys. 45. Przykład pełnego zestawu VR.

Zanurzenie przestrzenne jest tworzone poprzez otoczenie obrazami. Wówczas użytkownik może poczuć, że świat wirtualny jest „autentyczny” i „prawdziwy”, gdyż wirtualne środowisko kreowane jest wokół niego. W miarę jak zmienia się rzeczywista pozycja użytkownika, również i jego pozycja w wirtualnym środowisku się zmienia. Różne czujniki mogą być wbudowane w akcesoria używane przez uczestników, np. rękawiczki i kombinezony w celu zapewnienia informacji zwrotnej o położeniu w czasie rzeczywistym lub wykonywanych gestach (rys. 45). W sali znajdują się dwa w pełni funkcjonalne stanowiska VR. Każdy zestaw wraz z zainstalowanymi czujnikami ruchu wymaga min 4,5 m² powierzchni, co pokazuje, że wykorzystanie sali w większych grupach jest utrudnione. Ponadto, w przypadku połączenia kablowego gogli VR z jednostką centralną najdłuższa odległość od bazy nie powinna przekraczać 4 metrów, tak aby użytkownik mógł swobodnie poruszać się w wirtualnym świecie (rys. 46). W sali o tych rozmiarach możliwe jest równoczesne uruchomienie i wykorzystanie tylko

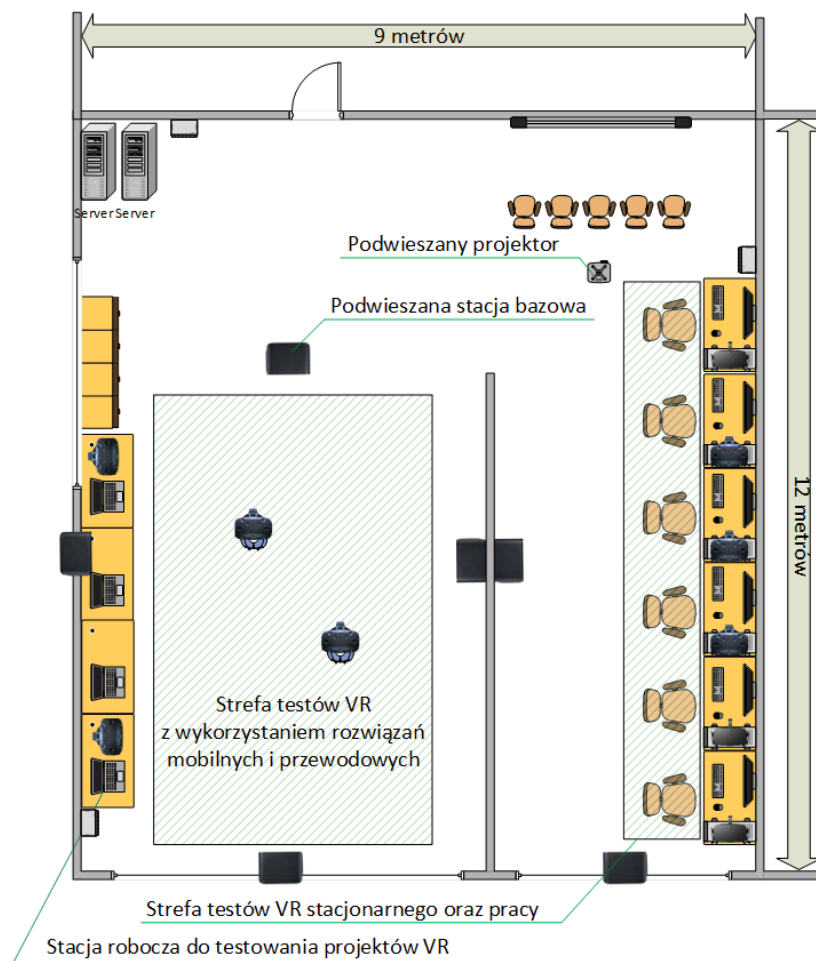
2 zestawów VR, gdyż znajdują się tam również biurka z fotelami oraz trakty komunikacyjne. Przy rotacyjnym korzystaniu z zestawów VR oraz pracy pozostałej części grupy nad przygotowanymi zadaniami na standardowych komputerach klasy PC, z sali równocześnie może komfortowo korzystać grupa 8 uczniów/studentów.



Rys. 46. Teoretyczny zasięg stacji bazowej z okularami wymagany do stabilnego połączenia.

Systemowe wdrożenie części modułów zajęć w formie VR dla wielu grup, w tym bardziej licznych grup, dość szybko wyczerpie możliwości istniejącego laboratorium WEiI. Do płynnego prowadzenia zajęć dla wielu kierunków i specjalności, z uwzględnieniem różnych modułów kształcenia w oparciu o technologię VR, wymagane będzie zapewnienie co najmniej kilku pomieszczeń tego typu na Wydziale. W takich pomieszczeniach konieczne będzie przygotowanie powierzchni gwarantującej instalację min. 3-4 urządzeń VR z czujnikami (stanowiska stacjonarne i mobilne) oraz miejsca pracy (biurko + fotel) dla min. 12-14 osób. Ponadto proponuje się oddzielić (np. lekką ścianką

gips-kartonową) strefę mobilną VR od strefy stanowisk do ćwiczeń laboratoryjnych ze komputerami PC. Proponowany układ sali zaprezentowano na rys. 47.



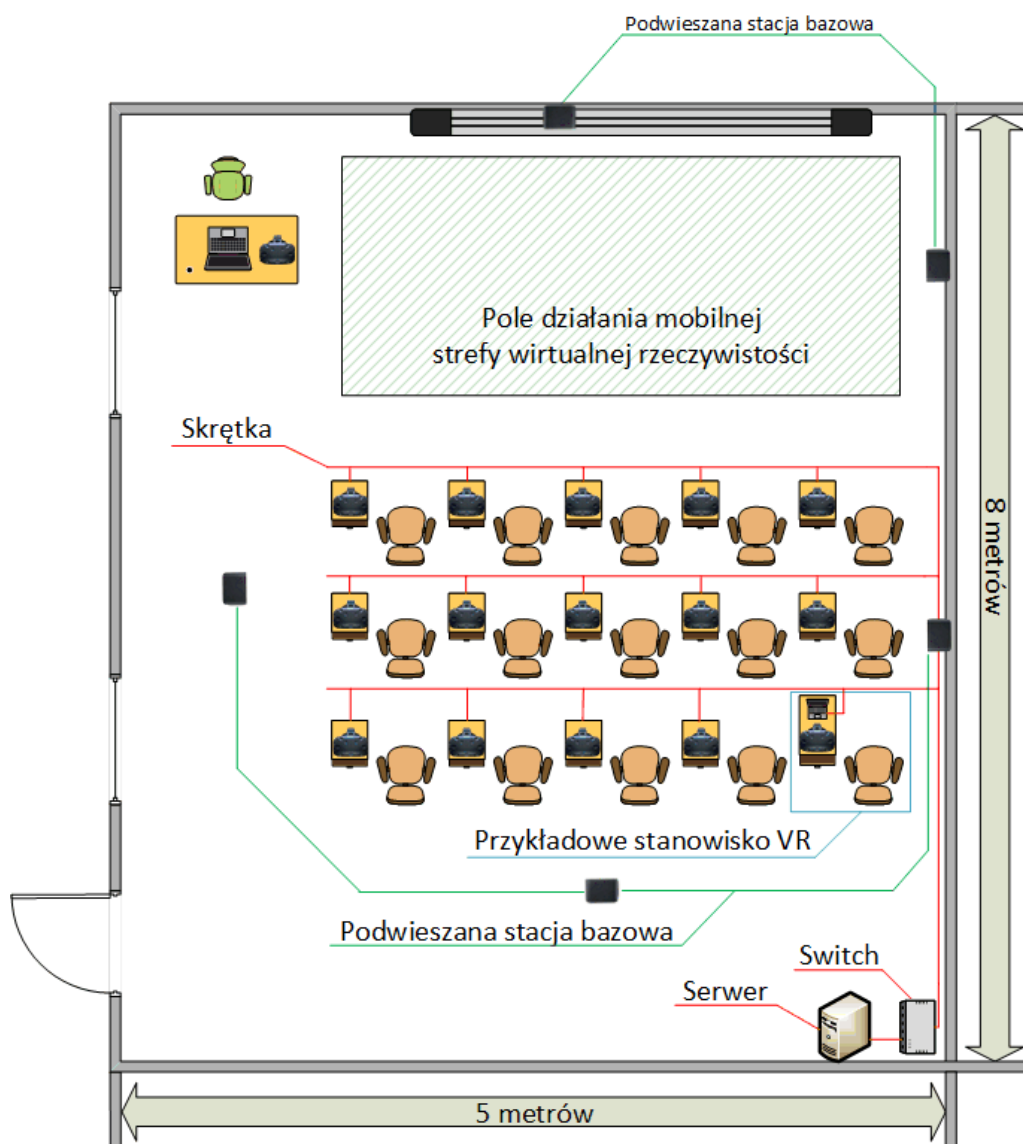
Rys. 47. Proponowany schemat sali do prowadzenia zajęć laboratoryjnych z zakresu wirtualnej rzeczywistości.

Propozycja reorganizacji sali laboratoryjnej (rys. 47) pozwoli na większą swobodę pracy z pełną (12 osobową) grupą laboratoryjną. Na wydzielonym mobilnym polu roboczym możliwe będzie wówczas testowanie rozwiązań VR przez wielu użytkowników jednocześnie, wykorzystując cztery stacje bazowe dedykowane danemu rozwiązaniu VR. Każdy student będzie miał do dyspozycji własne okulary wykorzystujące pełne mapowanie powierzchni. Pozwoli to na stały kontakt ze stacją bazową, co przełoży się na stabilność połączenia. Proponowane pole robocze dla strefy testowej VR wynosi 4 x 6 metrów. Na obszarze testowym można korzystać z różnych dostępnych rozwiązań, zarówno

okularów VR połączonych przewodowo ze stacjami roboczymi, bezprzewodowo poprzez dedykowany adapter oraz okulary wykorzystujące telefony komórkowe do wyświetlania wirtualnego obrazu. Poprzez przygotowanie odpowiedniej infrastruktury sieciowej student pracujący nad swoim projektem, bądź wykonujący ćwiczenia laboratoryjno-projektowe będzie miał możliwość testowania swojego rozwiązania zarówno w wydzielonej strefie mobilnej, jak i stacjonarnie przy swoim stanowisku roboczym. Wykorzystując rozwiązania typu Git (system kontroli wersji i repozytorium plików), możliwe będzie natychmiastowe przesyłanie projektów ze stacjonarnych stacji roboczych do mobilnych stacji roboczych. Swobodne i nieograniczone zapewnienie dostępności do projektów i zasobów wykorzystywanych podczas zajęć możliwe będzie również m.in. poprzez stworzenie infrastruktury teleinformatycznej bazującej na przełącznikach sieciowych i dedykowanych serwerach do przechowywania projektów oraz uruchamiania aplikacji wymagających dużo większej mocy obliczeniowej, niż ta dostępna w ramach stacji roboczych znajdujących się w laboratorium.

Opisane powyżej laboratorium wiąże się z propozycją koncepcji rozwoju infrastruktury WEiI w zakresie dostępności technologii VR w procesie dydaktycznym wspierającym realizację prac projektowych, dyplomowych, jak również i grupowych zadań o charakterze typowych zajęć laboratoryjnych. W celu realizacji zajęć ćwiczeniowo-wykładowych sugerowana jest inna struktura pomieszczenia lepiej dopasowana do tych form zajęć. Tak więc, proponuje się budowę audytoryjnej sali VR (konceptyjny schemat sali audytoryjnej VR zaprezentowano na rys. 48). Podczas zajęć prowadzonych w formie wykładowej, student może wykorzystać gogle VR w celu przeniesienia się do wirtualnej rzeczywistości na określony czas. Prowadzący zajęcia może poprosić uczestników o przeniesienie się w świat wirtualny w celu zaprezentowania im wydzielonej części materiału przy wykorzystaniu technologii VR. Aby móc zaimplementować taką funkcjonalność wymagana byłaby większa powierzchnia pomieszczenia oraz wydzielona strefa, w której uczestnicy mogliby siedzieć i brać udział w zajęciach. Sala audytoryjna VR posiadałaby min. 15 miejsc przeznaczonych dla studentów (uniwersalne stanowisko z rozkładanym blatem roboczym) i jedno wydzielone miejsce dla prowadzącego zajęcia. Każdy student miałby do dyspozycji stanowisko siedzące przy biurku, miejsce do pisania oraz dostęp do okularów VR. Cała infrastruktura zintegrowana byłaby za pomocą

dedykowanego serwera i przełącznika sieciowego. W sali w zależności od wybranego rodzaju zestawu VR konieczne należy zastosować dedykowane stacje bazowe, które mogą być podwieszane przy suficie lub przymocowane do stanowiska. Sala audytoryjna powinna mieć minimum 40-45 m², aby umożliwić prowadzenie zajęć wykładowo-ćwiczeniowych. W przypadku zastosowania mobilnych zestawów VR do dyspozycji studentów powinno być wyznaczone pole robocze o minimalnych wymiarach min. 3,5 x 4 metra, aby umożliwić użytkownikom bezpieczne poruszanie się podczas korzystania z technologii VR.



Rys. 48. Proponowany schemat sali audytornej przeznaczonej do zajęć wykładowo-ćwiczeniowych.

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 nr projektu 027/RID/2018/19 kwota finansowania 11 999 900 zł.

4.3. Przygotowanie kadry do wdrożeń technologii VR w edukacji

VR/AR to dynamiczna strategia poprawy e-learningu, która może prowadzić do znaczącego rozwoju procesu nauczania i osiągnięcia ważnych celów edukacyjnych. Głównym celem tej strategii jest budowanie środowiska interaktywnego, w którym kursanci angażują się w proces dydaktyczny. Jest to narzędzie, które przenosi uczniów do najbardziej praktycznych sytuacji, w których mogą zdobywać wiedzę i umiejętności bez żadnych ograniczeń. Pomaga powielać możliwe scenariusze i nauczyć uczniów konkretnych technik. Rola wykładowcy jest nadal bardzo istotna i powinna sprowadzać się nie tylko do pozycji mentora, profesjonalnego doradcy, ale również do organizatora pracy, eksperta od wiedzy i skutecznego uczenia się. Wykładowca/trener powinien posiadać znaczącą wiedzę w danym temacie oraz doświadczenie w zakresie prowadzonego kursu.

Do oceny zastosowania nowych technologii edukacyjnych w dydaktyce wykorzystuje się zazwyczaj model SAMR. SAMR to skrót od pierwszych liter wyrazów w języku angielskim: Substitution (podstawienie); Augmentation (powiększenie, rozszerzenie); Modification (modyfikowanie); Redefinition (redefinicja). Model SAMR opisuje cztery poziomy wprowadzania nowych technologii edukacyjnych w dydaktyce. Proponowane kursy/szkolenia powinny spełniać kryteria zawarte w tym modelu.

SAMR to model zaprojektowany, aby pomóc nauczycielom/trenerom wcielić technologię w proces nauczania i uczenia się. Model ten został spopularyzowany przez dra Rubena Puentura. Celem modelu jest wsparcie działań nauczycieli i umożliwienie projektowania, rozwijania i wprowadzania cyfrowych doświadczeń edukacyjnych, wykorzystujących technologię i przekształcenie doświadczeń związanych z uczeniem się, aby uzyskać wyższy poziom osiągnięć uczniów. Model ten opisuje różne sposoby wykorzystania technologii w nauczaniu. Pokazuje konstruktywną zmianę w procesie szkoleniowym. Prowadzenie zajęć z zastosowaniem nowych technologii podnosi efektywność nauki, ponieważ aktywizuje w równym stopniu obie półkule mózgowe: lewą, która przyswaja to, co werbalne, a także jest odpowiedzialna za myślenie analityczne i liczenie oraz prawą, która odbiera emocje, obrazy, odpowiada za kreatywność, wyobraźnię przestrzenną i myślenie abstrakcyjne [104].

Dzięki zastosowaniu urządzeń VR/AR dochodzi do pobudzenia wyobraźni odbiorcy, poprzez przeniesienie go w wirtualną rzeczywistość, co ułatwia wejście w nowe środowisko. Student na podstawie samych obrazów nie zawsze jest w stanie wyobrazić sobie jak będzie mógł zachować się w danym miejscu pracy. Kluczem do optymalnego wykorzystania do celów edukacyjnych jakichkolwiek dostępnych technologii jest wiedza wykładowcy/trenera oraz jego doświadczenie w zakresie narzędzi, którymi może się on posłużyć w procesie nauczania. Wykładowca/instruktor powinien zaproponować studentom odpowiednie zadanie z wykorzystaniem danego narzędzia. Z uwagi na ciągły rozwój technik informacyjnych oraz bogactwo i dostępność narzędzi edukacyjnych wykładowca musi w trybie ciągłym rozwijać swoją wiedzę, aby być na bieżąco z aktualnymi technologiami. Wdrażana technologia VR/AR pozwala budować swój własny zestaw narzędzi, które posłużą studentom do realizacji określonych czynności, obejmujących główne funkcje edukacji: zapamiętywanie – rozumienie; zastosowanie; analizowanie; ewaluację; tworzenie. Propozycje wdrożenia VR na wybranych kierunkach studiów są kluczowe dla poprawy mechanizmów uczenia się i ich związku z rozwojem kompetencji. Obecnie obserwuje się wzrost zapotrzebowania na pracowników w sektorze STEM (nauka, technologia, inżynieria, matematyka). Kluczowymi mechanizmami uczenia się w STEM są procesy skupiające się na percepcji, uwadze i procesach pamięciowych, rozumowaniu i myśleniu, tworzeniu modeli i analogii, konstrukcji i transferze znaczeń w procesach poznawania i uczenia się oraz kompetencjach cyfrowych i nowych technologiach (AR, VR, IoT), np. wykorzystanie potencjału społecznego IoT w przestrzeni miasta. Niemniej jednak, najnowsze trendy w edukacji pokazują odejście od STEM do STEAM poprzez dodanie słowa „Arts” czyli sztuki – mającej na celu zmianę klasycznych modeli szkoleniowych w kierunku tworzenia twórczych środowisk uczenia się i zdobywania umiejętności. Szczególnie w tym przypadku charakter twórczy zapewnić może wykorzystanie technologii VR. Edukacja XXI wieku łączy dążenie do nabywania przez studentów umiejętności wyszukiwania, weryfikowania, a następnie wykorzystania zastanej i szeroko dostępnej wiedzy, która jest bazą kreatywności. Nowoczesne edukowanie prowadzi zatem do wykształcenia świadomości, twórczej postawy i dokonywania wyborów przybliżających do celów,

zgodnych z celem i potrzebami każdego przedmiotu, a to wymaga od wykładowcy czy trenera odpowiednich predyspozycji i zmysłu artystycznego.

4.4. Kryteria oceny możliwości wdrożenia elementów VR w procesie edukacyjnym na WEiI PRz

Wstępny etap analizy możliwości wykorzystania elementów VR w procesie kształcenia powinien zostać oparty na dokładnym przeglądzie programów nauczania aktualnie dostępnych na stronie Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej, które są formalnie zatwierdzone przez odpowiednie organy uczelni. Już pobieżny przegląd planów studiów oraz kart modułów kształcenia związanych z kierunkiem *informatyka* oraz *automatyka i robotyka*, wyraźnie pokazuje odmiennosc tych dwóch kierunków oraz ich zdecydowanie różny potencjał w zakresie wdrożenia technologii VR w proces nauczania. Bardziej naturalnym środowiskiem dla systemów klasy VR wydaje się być jednak kierunek *automatyka i robotyka*, w którym metodycznie łatwiejsze jest wdrożenie do procesu nauczania np. symulacji robotów, elementów automatyki lub też systemów sterowania urządzeniami i maszynami. W przypadku kierunku *informatyka* właściwsze wydaje się wdrożenie technik związanych z symulacją oraz wirtualizacją systemów dydaktycznych oraz konkretnych stanowisk projektowo-laboratoryjnych. Z przytoczonych powyżej powodów postanowiono przeprowadzić oddzielną analizę dla dwóch kierunków studiów. W pierwszej kolejności dla każdego z kierunków dokonano ewaluacji potencjału wdrożeniowego dla modułów kształcenia ujętych w planie studiów, a w drugim kroku zaprezentowano potencjalne, przykładowe scenariusze wykorzystania VR do przekazania wybranych treści nauczania.

W celu przeprowadzenia ewaluacji, należy opracować spójny zestaw uniwersalnych kryteriów oceny. Poniżej zaprezentowano te kryteria wraz z krótką ich charakterystyką:

- 1. Możliwe techniki wsparcia procesu nauczania:** Virtual Reality (VR), E-learning (EL), Wirtualizacja zasobów (V). Każdy z modułów kształcenia charakteryzuje się odmiennym poziomem podatności na zastosowanie technik wspierających proces edukacji. Wywiady

przeprowadzone z doświadczonymi pracownikami dydaktyczno-naukowymi WEiI pokazały, że najczęściej wykorzystywaną formą wsparcia tradycyjnych zajęć jest E-learning oraz wirtualizacja zasobów laboratoryjnych. Dlatego właśnie z tymi formami zestawiona została technologia VR. Każda technologia została oceniona w kontekście danego modułu kształcenia w skali od 0 do 5 (0 – brak podatności, 5 – duża podatność). Rozważmy dla przykładu hipotetyczny moduł *Administracja systemem operacyjnym Linux*. W ramach tego modułu studenci przyswajają wiedzę i umiejętności z zakresu eksploatacji systemu operacyjnego przy użyciu konsoli CLI (Command Line Interface). Moduł ten można ocenić w następujący sposób (oceny podano w nawiasach przy każdym skrócie): VR(0), EL(4), V(5).

2. **Czas potrzebny na wdrożenie technologii VR w ramach danego modułu kształcenia.** Możliwe jest dokładne oszacowanie czasu potrzebnego na wdrożenie danego scenariusza dydaktycznego dla określonych technik w tzw. roboczogodzinach. Na tym etapie to działanie jest nazbyt czasochłonne i niecelowe. Dlatego w celu określenia czasochłonności przyjęto bezwymiarową skalę od 1 do 5, gdzie 5 oznacza bardzo długi czas wdrożenia, a 1 stosunkowo krótki czas potrzebny na wdrożenie technik VR dla danego modułu. Dla przykładu wdrożenie scenariusza, w którym obserwować będziemy zaprogramowane ramię robota da się zrealizować stosunkowo szybko, ale interaktywne zwiedzanie pomieszczeń serwerowni z uwzględnieniem systemów zasilania oraz systemów gaśniczych wymaga o wiele większych nakładów pracy.
3. **Średni czas życia scenariuszy VR przygotowanych w ramach danego modułu kształcenia.** To kryterium opisuje przewidywany czas w jakim dany scenariusz VR może być eksploatowany bez zmian. Oceniany będzie przy użyciu skali: krótki(k), średni(s), długi(d). Dla przykładu czas eksploatacji scenariusza, w którym nauczać będziemy podstawowych technik manipulacji ramieniem robota możemy oceniać jako długi. W przypadku scenariusza, którego elementami są rzeczywiste urządzenia



sieciowe, czas eksploatacji jest stosunkowo krótki, ponieważ na rynek przynajmniej raz na rok są wprowadzane nowe typszeregi urządzeń oraz modyfikacje w już istniejących rozwiązaniach.

Wstępna analiza oraz wywiady przeprowadzone z koordynatorami modułów kształcenia pokazały, że zastosowanie technologii VR jest szczególnie pożądane w przypadku studiów pierwszego stopnia. Technologie VR pozwalają na wzbogacenie procesu nauczania w elementy praktyczne, obrazują i wizualizują rzeczywiste środowisko pracy. Natomiast studia drugiego stopnia mają na celu przygotowanie studentów do realizacji samodzielnych prac badawczych. Studenci na tym etapie kształcenia (7 i częściowo 8 stopień PRK oraz 5 poziom ECF) posiadają już rozbudowaną wiedzę i umiejętności praktyczne, a przez to w mniejszym stopniu potrzebują wsparcia w zakresie wizualizacji rzeczywistych systemów. Ponadto przedmioty prowadzone na tych kierunkach pozwalają studentom na znaczącą indywidualizację procesu kształcenia. Studenci określone dla danego modułu kształcenia cele mogą osiągać poprzez realizację indywidualnych projektów badawczych, które są nadzorowane przez prowadzącego. Wdrożenie w takim środowisku jednolitego systemu wsparcia procesu nauczania przy użyciu VR nie jest możliwe ze względu na koszty oraz czas realizacji prac. Dlatego w dalszej części raportu rozważane będą tylko przedmioty ujęte w siatkach godzin właściwych dla studiów inżynierskich.

4.5. Badanie możliwości wdrożenia elementów VR na kierunku *Informatyka*

W pierwszej kolejności przeanalizowane zostały plany studiów dla kierunku *informatyka* dla I stopnia studiów stacjonarnych. Plany studiów pobrano ze strony [105] dla cyklu kształcenia 2019/2020. W obszarach treści kształcenia oraz przedmiotów (modułów kształcenia), studia stacjonarne i niestacjonarne na danym kierunku są ze sobą spójne, dlatego dalszej analizie poddane zostaną wyłącznie studia stacjonarne na danym kierunku, traktowane jako reprezentatywne. W tabelach 8-10 przedstawiono ewaluację modułów kształcenia według kryteriów przedstawionych na początku tego rozdziału z uwzględnieniem poszczególnych specjalności. W tabeli 8 zaprezentowany został pełny

cykl kształcenia dla specjalności *inżynieria systemów informatycznych*, w tabeli 9 przedstawiono specjalność *systemy i sieci komputerowe*, natomiast w tabeli 10 przedstawiono specjalność *informatyka w przedsiębiorstwie*. Należy jednak zauważyć, że pierwsze cztery semestry studiów są identyczne dla wszystkich specjalności, dlatego zostaną one pominięte w kolejnych tabelach.

Tabela 8: Ewaluacja w obszarze zastosowania technik VR na kierunku: *Informatyka*, specjalność: *inżynieria systemów informatycznych(A)*.

Semestr	Jedn.	Moduł kształcenia	Wykład	Ćwiczenia/ Lektorat	Laboratorium	Projekt/ Seminarium	Numer kryterium oceny		
							1	2	3
1	FM	Analiza matematyczna i algebra liniowa	30	45	0	0	VR(0), EL(0), V(0)	-	-
1	ZH	Bezpieczeństwo pracy i ergonomia	15	0	0	0	VR(5), EL(2), V(0)	3	d
1	ZE	Ekonomia	15	0	0	0	VR(0), EL(2), V(0)	-	-
1	ZH	Etyka	15	0	0	0	VR(0), EL(0), V(0)	-	-
1	FF	Fizyka	30	15	30	0	VR(5), EL(3), V(1)	1	d
1	EX	Moduł humanistyczny	15	15	0	0	VR(0), EL(1), V(0)	-	-
1	EA	Programowanie w języku C	30	0	15	0	VR(0), EL(2), V(4)	-	-
1	ET	Sygnaly i systemy	30	15	15	0	VR(3), EL(3), V(1)	5	d
1	ET	Wstęp do programowania	30	0	15	0	VR(0), EL(2), V(5)	-	-
1	WF	Wychowanie fizyczne	0	30	0	0	VR(0), EL(0), V(0)	-	-
Sumy za semestr: 1			210	120	75	0			
2	EA	Algorytmy i struktury danych	30	15	15	0	VR(0), EL(2), V(5)	-	-
2	EU	Architektura systemów komputerowych	30	0	30	0	VR(5), EL(3), V(1)	4	s
2	ES	Elementy logiki i arytmetyki komputerów	30	15	15	0	VR(5), EL(1), V(2)	5	d
2	EA	Logika i teoria mnogości	15	0	15	0	VR(0), EL(1), V(0)	-	-
2	ET	Matematyka dyskretna 1	30	15	15	0	VR(0), EL(2), V(2)	-	-
2	ET	Metody numeryczne	30	15	15	15	VR(0), EL(2), V(3)	-	-
2	EM	Technika informacyjno-pomiarowa	30	0	30	0	VR(4), EL(2), V(0)	4	k/s
2	WF	Wychowanie fizyczne	0	30	0	0	VR(0), EL(0),	-	-

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 nr projektu 027/RID/2018/19 kwota finansowania 11 999 900 zł.



							V(0)		
Sumy za semestr: 2			195	90	135	15			
3	DJ	Język obcy	0	30	0	0	VR(0), EL(4), V(0)	-	-
3	EA	Języki, automaty i obliczenia	30	0	15	15	VR(0), EL(1), V(0)	-	-
3	EE	Metody probabilistyczne i statystyka	30	15	30	0	VR(0), EL(1), V(0)	-	-
3	EP	Podstawy elektroniki	30	15	15	0	VR(5), EL(2), V(0)	3	d
3	EP	Programowanie w języku C++	30	15	15	15	VR(0), EL(2), V(4)	-	-
3	EA	Systemy operacyjne	30	15	30	0	VR(2), EL(2), V(5)	2	s
3	EE	Układy zasilające w systemach komputerowych	15	0	15	0	VR(4), EL(2),V(0)	2	s
Sumy za semestr: 3			165	90	120	30			
4	EA	Bazy danych	30	0	15	15	VR(0), EL(2), V(5)	-	-
4	EA	Grafika komputerowa	30	0	15	0	VR(5), EL(1), V(1)	1	d
4	EA	Inżynieria oprogramowania	30	0	15	15	VR(0), EL(3), V(5)	-	-
4	DJ	Język obcy	0	30	0	0	VR(0), EL(4), V(0)	-	-
4	ED	Mikronapędy w systemach komputerowych	15	0	15	0	VR(5), EL(2), V(1)	4	k
4	EU	Podstawy telekomunikacji	15	15	15	0	VR(3), EL(1), V(0)	3	d
4	ES	Sieci komputerowe I	30	0	25	0	VR(3), EL(2), V(3)	3	k
4	EA	Sztuczna inteligencja	30	0	15	15	VR(0), EL(1), V(5)	-	-
Sumy za semestr: 4			180	45	115	45			
5	EA	Interakcja człowiek-komputer	30	0	15	0	VR(5), EL(1), V(0)	1	d
5	DJ	Język obcy	0	30	0	0	VR(0), EL(4), V(0)	-	-
5	EA	Moduł 1 wybierany (spec. A)	25	0	15	0	-	-	-
5	EX	Praktyka	0	0	0	0	-	-	-
5	EA	Programowanie niskopoziomowe	25	0	15	0	VR(1), EL(1), V(2)	5	d
5	EA	Sieci komputerowe II (A)	25	0	20	0	VR(3), EL(1), V(3)	3	k
5	EA	Systemy operacyjne LINUX i QNX	25	0	15	0	VR(0), EL(1), V(5)	-	-
5	ED	Technologie sieci WEB	30	0	25	0	VR(0), EL(2), V(5)	-	-
5	EA	Wizja komputerowa	25	0	15	15	VR(3), EL(1), V(3)	3	s
5	EA	Zarządzanie projektami	15	0	15	0	VR(0), EL(3), V(1)	-	-
Sumy za semestr: 5			200	30	135	15			
6	DJ	Język obcy	0	30	0	0	VR(0),	-	-

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 nr projektu 027/RID/2018/19 kwota finansowania 11 999 900 zł.

							EL(4), V(0)		
6	EA	Komunikacja w sieciach mikrokomputerowych	30	0	15	0	VR(3), EL(2), V(0)	5	k
6	EA	Moduł 2 wybierany (spec. A)	25	0	15	0	-	-	-
6	ED	Programowanie w języku Java	25	0	15	0	VR(0), EL(2), V(4)	-	-
6	EX	Projekt inżynierski	0	0	0	30	-	-	-
6	EA	Systemy wbudowane	30	0	15		VR(3), EL(1), V(3)	4	k/s
6	EU	Układy mikroprocesorowe	25	0	20		VR(5), EL(1), V(0)	5	k/s
Sumy za semestr: 6			135	30	80				
7	EA	Analiza danych w językach R i Python	20	0	15	15	VR(0), EL(1), V(5)	-	-
7	EA	Bezpieczeństwo systemów informatycznych	25	0	15	15	VR(4), EL(2), V(5)	2	k
7	EX	Egzamin dyplomowy	0	0	0	0	-	-	-
7	ED	Problemy społeczne i zawodowe informatyki	20	0	0	0	VR(0), EL(2), V(0)	-	-
7	EX	Projekt inżynierski	0	0	0	45	-	-	-
7	ET	Systemy integracyjne	25	0	15	15	-	-	-
7	EA	Techniki multimedialne	25	0	15	0	VR(5), EL(2), V(2)	1	k
7	EX	Wykład monograficzny	30	0	0	0	-	-	-
Sumy za semestr: 7			145	0	60	90			
SUMY ZA WSZYSTKIE SEMESTRY:			1230	405	720	240			

Tabela 9: Ewaluacja w obszarze zastosowania technik VR na kierunku *Informatyka*, specjalność: *Systemy i sieci komputerowe(S)*.

Semestr	Jedn.	Moduł kształcenia	Wykład	Ćwiczenia/ Lektorat	Laboratorium	Projekt/ Seminarium	Numer kryterium oceny		
							1	2	3
5	ES	Bezpieczeństwo systemów i sieci komputerowych (S)	30	0	30	0	VR(1), EL(2), V(4)	5	s
5	ES	Eksploatacja systemów bazodanowych	25	0	20	0	VR(1), EL(2), V(4)	5	s
5	EA	Interakcja człowiek-komputer	30	0	15	0	VR(5), EL(1), V(0)	1	d
5	DJ	Język obcy	0	30	0	0	-	-	-
5	ES	Moduł 1 wybierany (spec. S)	25	0	15	0	-	-	-
5	EX	Praktyka	0	0	0	0	-	-	-
5	ES	Sieci komputerowe II (S)	25	0	30	0	VR(3), EL(1), V(3)	3	k
5	ES	Systemy teleinformatyczne (S)	25	0	20	10	VR(2), EL(1), V(2)	4	k
5	ED	Technologie WEB i JAVA (S)	30	0	30	0	VR(0), EL(2), V(4)	-	-
Sumy za semestr: 5			190	30	160	10			
6	ES	Aplikacje bazodanowe	25	0	30	0	VR(1), EL(2), V(4)	5	s
6	DJ	Język obcy	0	30	0	0	-	-	-
6	ES	Moduł 2 wybierany (spec. S)	25	0	15	0	-	-	-

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 nr projektu 027/RID/2018/19 kwota finansowania 11 999 900 zł.

6	EX	Projekt inżynierski	0	0	0	30	-	-	-
6	ES	Projektowanie systemów i sieci komputerowych (S)	15	0	15	15	VR(1), EL(2), V(5)	5	k
6	EA	Systemy wbudowane	30	0	15	15	VR(3), EL(1), V(3)	4	k / s
6	ET	Usługi sieciowe w biznesie	25	0	15	15	VR(0), EL(3), V(2)	-	-
Sumy za semestr: 6			120	30	90	75			
7	EX	Egzamin dyplomowy	0	0	0	0	-		
7	ED	Problemy społeczne i zawodowe informatyki	20	0	0	0	VR(0), EL(2), V(0)	-	-
7	ES	Programowanie w języku Python (S)	25	0	15	15	VR(0), EL(1), V(5)	-	-
7	EX	Projekt inżynierski	0	0	0	45	-	-	-
7	ES	Systemy wirtualnej rzeczywistości	25	0	15	15	VR(5), EL(1), V(5)	1	s / d
7	EX	Wykład monograficzny	30	0	0	0	-		
7	ES	Zarządzanie systemami i sieciami komputerowymi	25	0	15	15	VR(1), EL(2), V(5)	5	k
Sumy za semestr: 7			125	0	45	90			
SUMY ZA WSZYSTKIE SEMESTRY:			1185	405	740	265			

Tabela 10: Ewaluacja w obszarze zastosowania technik VR na kierunku: *Informatyka*, specjalność: *Informatyka w przedsiębiorstwie (T)*.

Semestr	Jedn.	Moduł kształcenia	Wykład	Ćwiczenia/ Lektorat	Laboratorium	Projekt/ Seminarium	Numer kryterium oceny		
							1	2	3
5	ES	Bezpieczeństwo systemów i sieci komputerowych (T)	30	0	30	0	VR(1), EL(2), V(4)	5	s
5	EA	Interakcja człowiek-komputer	30	0	15	0	VR(5), EL(1), V(0)	1	d
5	DJ	Język obcy	0	30	0	0	-	-	-
5	ET	Moduł 1 wybierany (spec. T)	25	0	15	0	-	-	-
5	EX	Praktyka	0	0	0	0	-	-	-
5	ES	Sieci komputerowe II (T)	25	0	30	0	VR(3), EL(1), V(3)	3	k
5	EU	Systemy mobilne i satelitarne	30	0	30	0	VR(3), EL(2), V(2)	5	s
5	ES	Systemy teleinformatyczne (T)	25	0	15	10	VR(2), EL(1), V(2)	4	k
5	ED	Technologie WEB i JAVA (T)	30	0	30	0	VR(0), EL(2), V(4)	-	-
Sumy za semestr: 5			195	30	165	10			
6	ET	Informatyka w medycynie	30	0	15	0	VR(5), EL(2), V(1)	4	d
6	DJ	Język obcy	0	30	0	0	-	-	-
6	EX	Moduł 2 wybierany (spec. T)	25	0	15	0	-	-	-
6	EX	Projekt inżynierski	0	0	0	30	-	-	-
6	ES	Projektowanie systemów i sieci	15	0	15	15	VR(1), EL(2)	5	s

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 nr projektu 027/RID/2018/19 kwota finansowania 11 999 900 zł.

		komputerowych (T)					V(5)		
6	EA	Systemy wbudowane	30	0	15	15	VR(3), EL(1), V(3)	4	k/ s
6	ET	Usługi sieciowe w przedsiębiorstwach	25	0	15	15	VR(0), EL(3), V(2)	-	-
Sumy za semestr: 6			125	30	75	75			
7	ET	Badania operacyjne i optymalizacja dyskretna	25	0	15	15	VR(0), EL(3), V(2)	-	-
7	EX	Egzamin dyplomowy	0	0	0	0	-	-	-
7	ET	Open source w przedsiębiorstwach	25	0	15	15	VR(0), EL(2), V(4)	-	-
7	ED	Problemy społeczne i zawodowe informatyki	20	0	0	0	VR(0), EL(2), V(0)	-	-
7	EX	Projekt inżynierski	0	0	0	45	-	-	-
7	ET	Projektowanie systemów informacyjnych	25	0	15	15	VR(1), EL(2), V(4)	5	k
7	EX	Wykład monograficzny	30	0	0	0	-	-	-
Sumy za semestr: 7			125	0	45	90			
SUMY ZA WSZYSTKIE SEMESTRY:			1195	405	730	265			

W kolejnych tabelach nr 11-16 zaprezentowana zostanie ewaluacja w obszarze zastosowania technik VR dla *modułów obieralnych* dla specjalności A, S i T.

Tabela 11: Ewaluacja w obszarze zastosowania technik VR na kierunku: *Informatyka: Moduły wybierane dla specjalności A I.*

Semestr	Jedn.	Moduł kształcenia	Wykład	Ćwiczenia/ Lektorat	Laboratorium	Projekt/ Seminarium	Numer kryterium oceny		
							1	2	3
5	EA	Rozproszone systemy sterowania	25	0	15	0	VR(2) EL(2), V(3)	3	d
5	EA	Systemy teletransmisyjne	25	0	15	0	VR(2) EL(1), V(2)	4	k
Sumy za semestr: 5			50	0	30	0			
SUMY ZA WSZYSTKIE SEMESTRY:			50	0	30	0			

Tabela 12: Ewaluacja w obszarze zastosowania technik VR na kierunku: *Informatyka: Moduły wybierane dla specjalności A II.*

Semestr	Jedn.	Moduł kształcenia	Wykład	Ćwiczenia/ Lektorat	Laboratorium	Projekt/ Seminarium	Numer kryterium oceny		
							1	2	3
6	EA	Nowoczesne technologie programistyczne	25	0	15	0	VR(0), EL(2), V(4)	-	-
6	EA	Systemy wspomaganie decyzji	25	0	15	0	VR(2), EL(2), V(3)	4	d
Sumy za semestr: 6			50	0	30	0			
SUMY ZA WSZYSTKIE SEMESTRY:			50	0	30	0			

Tabela 13: Ewaluacja w obszarze zastosowania technik VR na kierunku: *Informatyka: Moduły wybierane dla specjalności S I.*

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 nr projektu 027/RID/2018/19 kwota finansowania 11 999 900 zł.

Semestr	Jedn.	Moduł kształcenia	Wykład	Ćwiczenia/ Lektorat	Laboratorium	Projekt/ Seminarium	Numer kryterium oceny		
							1	2	3
5	ES	Informatyka w kontekście systemów złożonych	25	0	15	0	VR(0), EL(2), V(0)	-	-
5	ES	Modelowanie systemów i sieci komputerowych	25	0	15	0	VR(1), EL(3), V(2)	5	d
Sumy za semestr: 5			50	0	30	0			
SUMY ZA WSZYSTKIE SEMESTRY:			50	0	30	0			

Tabela 14: Ewaluacja w obszarze zastosowania technik VR na kierunku: *Informatyka: Moduły wybierane dla specjalności S II.*

Semestr	Jedn.	Moduł kształcenia	Wykład	Ćwiczenia/ Lektorat	Laboratorium	Projekt/ Seminarium	Numer kryterium oceny		
							1	2	3
6	ES	Bezpieczeństwo informacji w sieciach komputerowych	25	0	15	0	VR(1), EL(2), V(4)	5	s
6	ES	Technologie sieciowe (S)	25	0	15	0	VR(3), EL(2), V(3)	3	k
Sumy za semestr: 6			50	0	30	0			
SUMY ZA WSZYSTKIE SEMESTRY:			50	0	30	0			

Tabela 15: Ewaluacja w obszarze zastosowania technik VR na kierunku: *Informatyka: Moduły wybierane dla specjalności T I.*

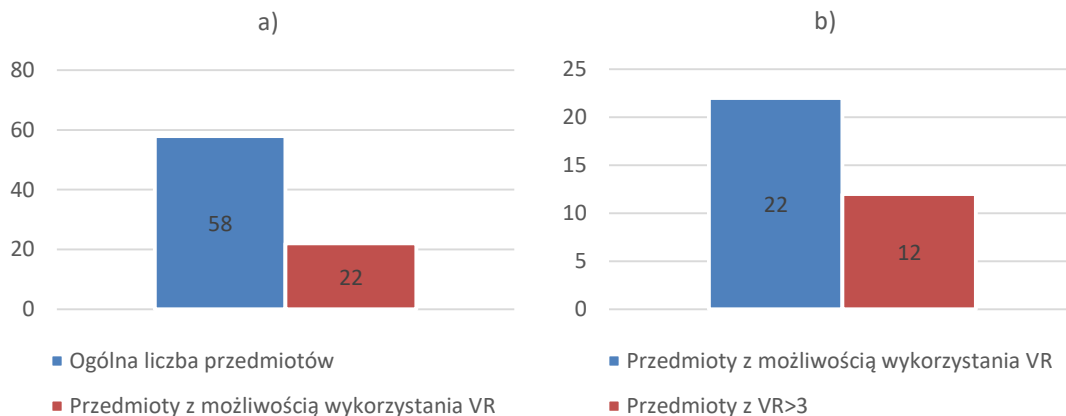
Semestr	Jedn.	Moduł kształcenia	Wykład	Ćwiczenia/ Lektorat	Laboratorium	Projekt/ Seminarium	Numer kryterium oceny		
							1	2	3
5	ET	Systemy sztucznej inteligencji	25	0	15	0	VR(0), EL(1), V(5)	-	-
Sumy za semestr: 5			25	0	15	0			
6	ET	Programowanie w języku R i Ruby	25	0	15	0	VR(0), EL(2), V(4)	-	-
6	ET	Utrzymanie i rozwój systemów informacyjnych	25	0	15	0	VR(2), EL(2), V(0)	3	s
Sumy za semestr: 6			50	0	30	0			
SUMY ZA WSZYSTKIE SEMESTRY:			75	0	45	0			

Tabela 16: Ewaluacja w obszarze zastosowania technik VR na kierunku *Informatyka: Moduły wybierane dla specjalności T II.*

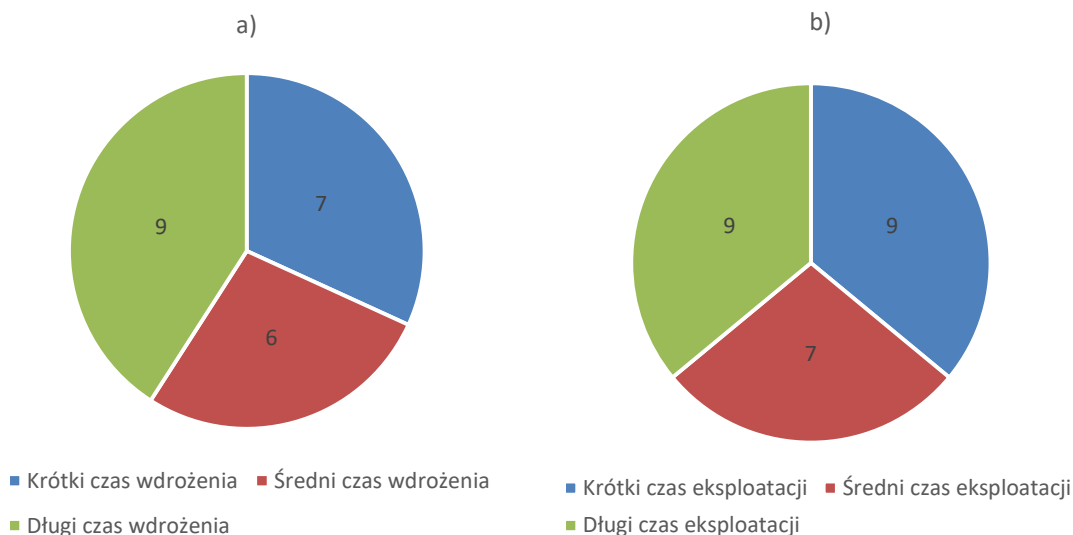
Semestr	Jedn.	Moduł kształcenia	Wykład	Ćwiczenia/ Lektorat	Laboratorium	Projekt/ Seminarium	Numer kryterium oceny		
							1	2	3
6	ET	Bezpieczeństwo elektromagnetyczne systemów teleinformatycznych	20	0	15	15	VR(4), EL(2), V(0)	4	d
6	ET	Metody prognozowania	25	0	0	15	VR(0), EL(2), V(0)	-	-
6	ET	Programowanie w języku Python (T)	25	0	15	0	VR(0), EL(1), V(5)	-	-
6	ES	Technologie sieciowe (T)	25	0	15	0	VR(3), EL(2), V(3)	3	k
Sumy za semestr: 6			95	0	45	30			
SUMY ZA WSZYSTKIE SEMESTRY:			95	0	45	30			

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 nr projektu 027/RID/2018/19 kwota finansowania 11 999 900 zł.

Poniżej zaprezentowane zostały wykresy graficznie podsumowujące dane tabelaryczne przedstawione powyżej. W pierwszej części analizie poddano cały cykl kształcenia dla studentów, którzy docelowo ukończą kierunek *informatyka* na specjalności *inżynieria systemów informatycznych (A)*. Zestawienie zostało zaprezentowane na rys. 49 i 50. Należy zauważyć, że moduły obieralne zostały uwzględnione w poniższej analizie jako moduły nie podatne na wdrożenie technik VR do procesu nauczania. Moduły te zostaną przeanalizowane odrębnie w dalszej części tego raportu.

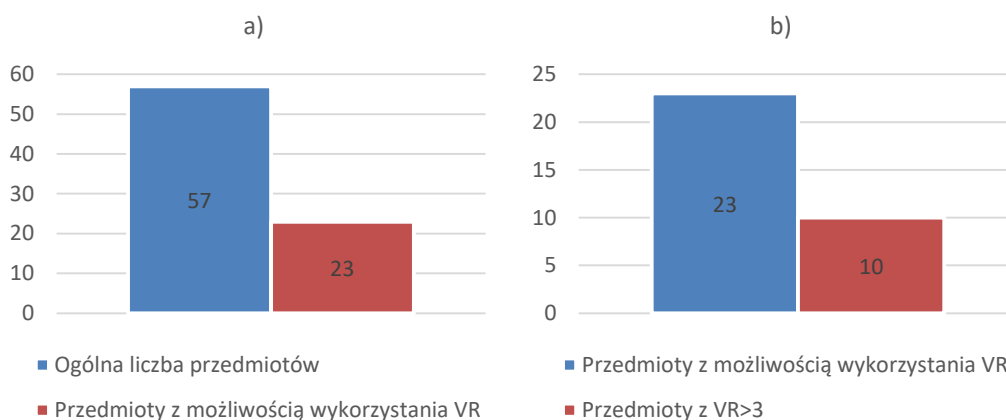


Rys. 49. Zestawienie graficzne dla specjalności (A): a) Liczba modułów kształcenia wykazująca potencjał do wykorzystania techniki VR w procesie nauczania; b) Liczba modułów kształcenia wykazująca dużą podatność na wdrożenie VR.

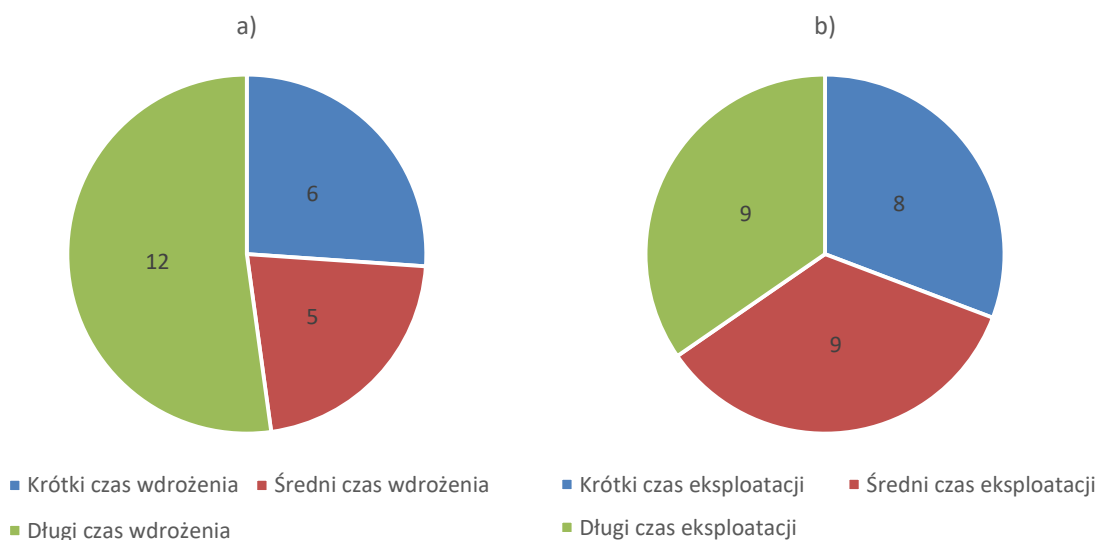


Rys. 50: Zestawienie graficzne dla specjalności (A): a) Rozkład czasu wdrożenia dla modułów kształcenia na specjalności; b) Zakładany czas eksploatacji scenariuszy VR dla specjalności.

Kolejne zestawienie zostało przygotowane dla specjalności *systemy i sieci komputerowe (S)*. Przedstawiono je na rys. 51 i 52.

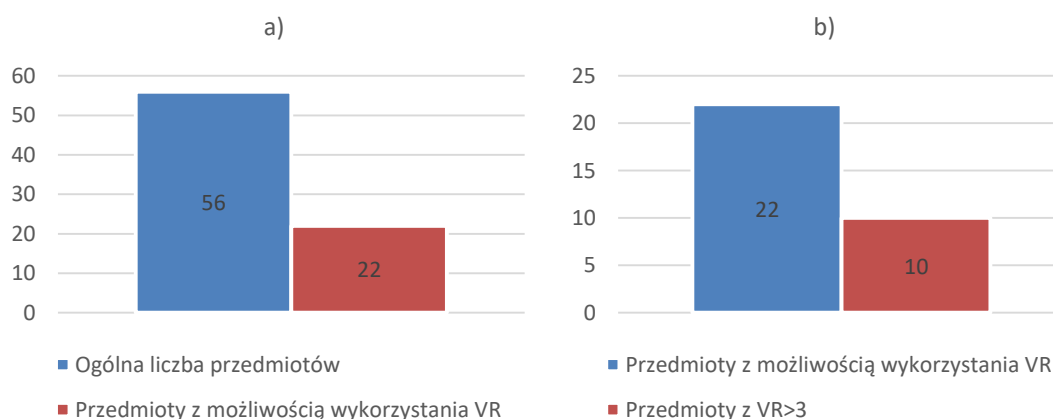


Rys. 51. Zestawienie graficzne dla specjalności (S): a) Liczba modułów kształcenia wykazująca potencjał do wykorzystania techniki VR w procesie nauczania; b) Liczba modułów kształcenia wykazująca dużą podatność na wdrożenie VR.

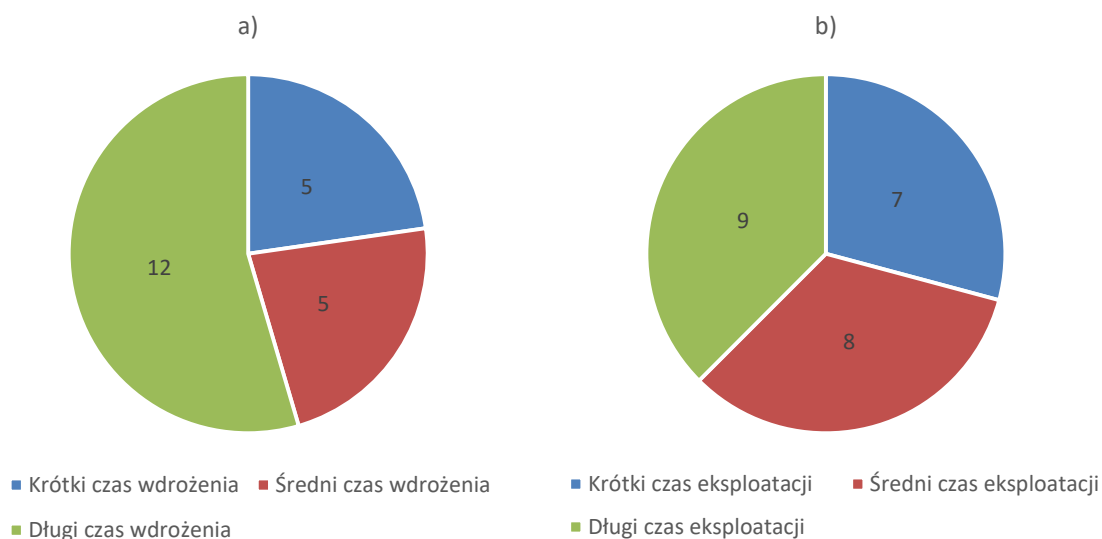


Rys. 52. Zestawienie graficzne dla specjalności (S): a) Rozkład czasu wdrożenia dla modułów kształcenia na specjalności; b) Zakładany czas eksploatacji scenariuszy VR dla specjalności.

Kolejne zestawienie zostało przygotowane dla specjalności *informatyka w przedsiębiorstwie(T)* i zostało przedstawione na rys. 53 i 54.

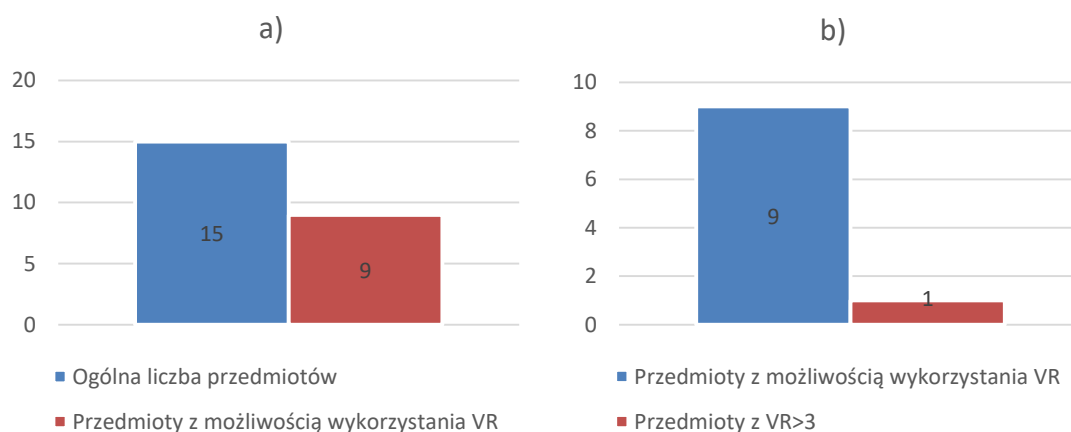


Rys. 53. Zestawienie graficzne dla specjalności (T): a) Liczba modułów kształcenia wykazująca potencjał do wykorzystania techniki VR w procesie nauczania; b) Liczba modułów kształcenia wykazująca dużą podatność na wdrożenie VR.

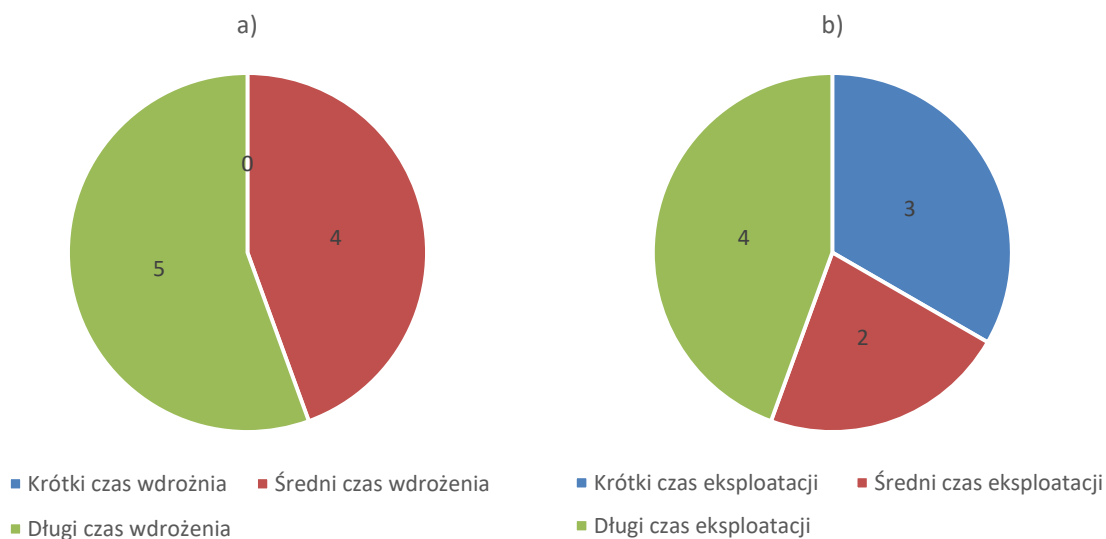


Rys. 54. Zestawienie graficzne dla specjalności (T): a) Rozkład czasu wdrożenia dla modułów kształcenia na specjalności; b) Zakładany czas eksploatacji scenariuszy VR dla specjalności.

Zestawienie zbiorcze dla *modułów obieralnych* dla *wszystkich specjalności* zostało przedstawione na rys. 55 i 56.



Rys. 55. Zbiorcze zestawienie graficzne dla modułów obieralnych dla wszystkich specjalności:
a) Liczba modułów kształcenia wykazująca potencjał do wykorzystania techniki VR w procesie nauczania; b) Liczba modułów kształcenia wykazująca dużą podatność na wdrożenie VR.



Rys. 56. Zbiorcze zestawienie graficzne dla modułów obieralnych dla wszystkich specjalności:
a) Rozkład czasu wdrożenia dla modułów kształcenia; b) Zakładany czas eksploatacji scenariuszy VR.

Informatyka jest jednym z kierunków, w ramach którego możliwa jest implementacja zajęć w wirtualnym środowisku. W trakcie studiów studenci zajmują się między innymi przetwarzaniem danych oraz technologiami przekazywania informacji, ale również mają okazję przyswoić wiedzę i umiejętności praktyczne z zakresu

projektowania i analizy systemów informatycznych, tworzenia baz danych, eksploatacji sieci komputerowych, czy też programowania. Technologie VR mogą nie tylko wspierać proces nauczania, ale same mogą również być bezpośrednim przedmiotem nauczania. Przykładowo studenci mogą uczyć się programowania poprzez tworzenie projektów VR. Możliwe jest jednak wykorzystanie technik VR do przekazania treści, z którymi student może w większości przypadków zaznajomić się tylko w programach symulacyjnych. Jednym z takich modułów kształcenia na kierunku *informatyka* jest moduł, na którym studenci poznają podstawowe operacje logiczne oraz bloki funkcjonalne np. bramki logiczne, przerzutniki, liczniki czy też układy sekwencyjne. Podczas zajęć student opanowuje matematyczne podstawy działań, które mają zastosowanie w informatyce teoretycznej i elektronice cyfrowej. W ramach zajęć laboratoryjnych i ćwiczeniowych student wykorzystuje różne systemy liczbowe, operacje na liczbach w systemie innym niż dziesiętny, poznaje metody analizy układów kombinacyjnych i sekwencyjnych. W trakcie zajęć praktycznych studenci mają za zadanie zbudować układy wykorzystując bramki i układy logiczne, aby zwizualizować wykonane przez nich działania i obliczenia. O ile program zajęć jest ciekawy, to na podstawie dotychczasowej praktyki i obserwacji wykonawstwa można stwierdzić, że materiał nie jest prosty w przyswajaniu, szczególnie jeśli student nie rozumie lub nie ma wyobrażenia, gdzie i jak w rzeczywistości zastosowany może być dany układ. Omawiany przedmiot ma wysoki potencjał do zastosowania technik VR. O ile zajęcia ćwiczeniowe i wykładowe mogłyby być realizowane w aktualnej formie, to zajęcia laboratoryjne mogłyby zostać wzbogacone przez odpowiednie scenariusze zajęć uwzględniające elementy VR. W wirtualnym laboratorium (dostępnym w wirtualnej rzeczywistości) student mając do dyspozycji specjalnie wydzielone pole robocze przygotowane w trybie antygravitacyjnym, miałby możliwość łączenia komponentów takich jak bramki logiczne, przerzutniki synchroniczne czy asynchroniczne, itp. w jeden działający układ. Celem poszczególnych zajęć mogłoby być zaprojektowanie i uruchomienie bardziej złożonego układu w oparciu o podstawowe bloki funkcjonalne lub predefiniowane wcześniej układy. Za pomocą kontrolerów student miałby możliwość dodawania, usuwania czy obracania komponentów. Zachowanie studenta w wirtualnej rzeczywistości może być analizowane i zapisywane przy użyciu dedykowanego systemu. Ograniczy to losowość działań, a także pozwoli prowadzącemu

określić poziom przygotowania studenta do zajęć w obszarze danego tematu. W systemie VR możliwe będzie zwizualizowanie przepływu sygnałów oraz implementacja wewnętrznego widoku komponentów. Takie działanie może poprawić rozumienie zasad funkcjonowania elektroniki cyfrowej. Przy okazji zminimalizowane zostanie również ryzyko uszkodzenia układów elektronicznych używanych do realizacji ćwiczenia laboratoryjnego ponieważ będą one wirtualne. W trakcie zadania student może otrzymać komunikat, że skonstruowany przez niego układ nie będzie funkcjonował poprawnie i istnieje możliwość uszkodzenia jego elementów składowych w przypadku jego rzeczywistej implementacji. W wirtualnym świecie student ma możliwość poprawienia układu. Takie podejście stwarza studentom możliwość budowania własnych układów i projektowania własnych scenariuszy testowych bez możliwości uszkodzenia komponentów składowych oraz bez ryzyka wypadku (np. porażenia).

4.6. Badanie możliwości wdrożenia elementów VR na kierunku *Automatyka i Robotyka*

W tabeli 17 zaprezentowano pełny cykl kształcenia dla studentów kierunku *automatyka i robotyka* I stopnia. Plany studiów zostały pobrane ze strony [105] dla cyklu kształcenia 2019/2020 dla studiów stacjonarnych. Przedstawiono ewaluację wszystkich modułów kształcenia według kryteriów przedstawionych na początku tego rozdziału.

Tabela 17: Ewaluacja w obszarze zastosowania technik VR na kierunku: *automatyka i robotyka*.

Semestr	Jedn.	Moduł kształcenia	Wykład	Ćwiczenia/ Lektorat	Laboratorium	Projekt/ Seminarium	Numer kryterium oceny		
							1	2	3
1	FM	Analiza matematyczna i algebra liniowa	30	30	0	0	VR(0), EL(0), V(0)	-	-
1	ZB	Bezpieczeństwo pracy i ergonomia	15	0	0	0	VR(5), EL(2), V(0)	4	d
1	FF	Fizyka	30	30	0	0	VR(5), EL(3), V(1)	2	d
1	EA	Informatyka	45	0	30	0	VR(3), EL(2), V(3)	3	d
1	EM	Metrologia	30	0	45	0	VR(4), EL(2), V(0)	4	s
1	ZH	Moduł humanistyczny I	30	0	0	0	VR(0), EL(1), V(0)	-	-
1	ZP	Ochrona własności intelektualnej	15	0	0	0	VR(0), EL(1), V(0)	-	-
1	ET	Technologie	15	0	15	0	VR(4),	2	d

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 nr projektu 027/RID/2018/19 kwota finansowania 11 999 900 zł.

		informacyjne					EL(2), V(0)		
1	WF	Wychowanie fizyczne	0	30	0	0	VR(0), EL(0), V(0)	-	-
Sumy za semestr: 1			210	90	90	0	30	3	1
2	EM	Cyfrowe przetwarzanie sygnałów	30	0	30	0	VR(3), EL(3), V(1)	3	d
2	ZE	Ekonomia	30	0	0	0	VR(0), EL(2), V(0)	-	-
2	ET	Elektrotechnika	30	15	0	0	VR(1), EL(2), V(0)	4	s
2	ET	Matematyka dyskretna i metody numeryczne	30	15	0	0	VR(0), EL(2), V(2)	-	-
2	ET	Mechanika i wytrzymałość materiałów w robotyce	30	15	0	0	VR(1), EL(2), V(0)	3	d
2	ES	Moduł humanistyczny II	30	0	0	0	VR(0), EL(1), V(0)	-	-
2	EA	Programowanie w języku C i programowanie obiektowe	30	0	30	0	VR(0), EL(2), V(4)	-	-
2	EE	Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna	30	0	15	0	VR(0), EL(1), V(0)	-	-
2	WF	Wychowanie fizyczne	0	30	0	0	VR(0), EL(0), V(0)	-	-
Sumy za semestr: 2			240	75	75	0	30	3	0
3	EA	Automatyka i sterowanie	45	30	30	0	VR(4), EL(1), V(1)	4	d
3	EP	Elementy i układy elektroniczne	30	15	15	0	VR(5), EL(2), V(0)	4	d
3	EE	Energoelektroniczne elementy automatyki i robotyki	30	0	15	0	VR(3), EL(2), V(0)	3	d
3	DJ	Język obcy	0	30	0	0	VR(0), EL(4), V(0)	-	-
3	ED	Napędy w automatyce	15	0	15	0	VR(4), EL(2), V(0)	5	s
3	EA	Podstawy robotyki	30	30	30	0	VR(5), EL(1), V(1)	4	s
3	EA	Sterowniki mikroprocesorowe	15	30	15	0	VR(4), EL(2), V(0)	2	d
Sumy za semestr: 3			165	135	120	0	30	4	0
4	ED	Automatyka napędu elektrycznego	15	15	30	0	VR(4), EL(2), V(0)	3	s
4	DJ	Język obcy	0	30	0	0	VR(0), EL(4), V(0)	-	-
4	EA	Metody obliczeniowe optymalizacji	15	15	15	0	VR(0), EL(2), V(0)	-	-
4	EA	Rozproszone systemy automatyki	30	0	30	15	VR(2), EL(2), V(0)	2	s
4	EA	Sieci przemysłowe	25	0	15	0	VR(2), EL(2), V(5)	2	s
4	EA	Sterowanie procesami ciągłymi	30	15	15	15	VR(1), EL(2), V(3)	3	d
4	EA	Sterowanie	30	0	15	0	VR(1),	2	d

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 nr projektu 027/RID/2018/19 kwota finansowania 11 999 900 zł.



		procesami dyskretnymi					EL(2), V(3)		
4	EA	Systemy wspomagania decyzji	30	0	0	15	VR(0), EL(2), V(3)	1	s
Sumy za semestr: 4			175	75	120	45	30	3	0
5	DJ	Język obcy	0	30	0	0	VR(0), EL(4), V(0)	-	-
5	EA	Metody sztucznej inteligencji w sterowaniu	30	15	15	0	VR(1), EL(1), V(5)	5	d
5	EA	Moduł wybierany w zakresie programowania sterowników przemysłowych	25	0	20	0	-	-	-
5	EA	Nowoczesne technologie programistyczne	30	0	15	15	VR(0), EL(2), V(4)	-	-
5	EX	Praktyka	0	0	0	0	-	-	-
5	EA	Programowanie i projektowanie systemów czasu rzeczywistego	30	0	0	15	VR(1), EL(1), V(2)	4	d
5	EA	Przemysłowe bazy danych	30	0	15	15	VR(0), EL(2), V(5)	-	-
5	EA	Sieci komputerowe	30	0	30	0	VR(3), EL(2), V(3)	3	k
5	EP	Technika cyfrowa	15	0	15	0	VR(5), EL(1), V(2)	5	d
Sumy za semestr: 5			190	45	110	45	30	2	0
6	DJ	Język obcy	0	30	0	0	VR(0), EL(4), V(0)	-	-
6	EA	Metody FEM w robotyce	15	0	15	15	VR(2), EL(2), V(0)	4	s
6	EA	Moduł wybierany w zakresie mechatroniki	15	0	15	15	-	-	-
6	EA	Moduł wybierany w zakresie technologii informatycznych sterowania produkcją	15	0	15	15	-	-	-
6	EA	Moduł wybierany w zakresie zaawansowanych aspektów robotyki	25	0	20	0	-	-	-
6	EX	Projekt inżynierski	0	0	0	30	-	-	-
6	EA	Projektowanie mikroprocesorowych i rekonfigurowalnych układów sterowania	25	0	30	15	VR(2), EL(2), V(0)	4	d
6	EA	Technologie bezprzewodowe w automatyce i robotyce	15	0	15	15	VR(3), EL(1), V(3)	2	k
Sumy za semestr: 6			110	30	110	105	30	2	1
7	EX	Egzamin dyplomowy	0	0	0	0	-	-	-
7	ES	Eksplotacja i bezpieczeństwo systemów	25	0	15	15	VR(4), EL(2), V(5)	4	k
7	EA	Moduł wybierany I	25	0	15	0	-	-	-
7	EA	Moduł wybierany II	25	0	15	0	-	-	-
7	EA	Moduł wybierany III	25	0	15	0	-	-	-
7	EA	Organizacja i zarządzanie małą firmą informatyczną	15	0	15	0	VR(0), EL(2), V(0)	-	-
7	EX	Projekt inżynierski	0	0	0	45	-	-	-
7	EA	Wizja i grafika	30	15	30	0	VR(5),	3	d

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 nr projektu 027/RID/2018/19 kwota finansowania 11 999 900 zł.

		komputerowa w automatyce i robotyce					EL(1), V(1)		
7	EA	Wykład monograficzny	15	0	0	0	1	N	
Sumy za semestr: 7			160	15	105	60	30	1	1
SUMY ZA WSZYSTKIE SEMESTRY:			1250	465	730	255	210	18	3

W kolejnych tabelach (nr 18-24) zaprezentowano ewaluację w obszarze zastosowania technik VR dla *modułów obieralnych I, II, III* oraz *modułów wybieralnych* w zakresie *programowania sterowników przemysłowych, technologii informatycznych sterowania produkcją, zaawansowanych aspektów robotyki i mechatroniki*.

Tabela 18: Ewaluacja w obszarze zastosowania technik VR na kierunku: *automatyka i robotyka: Moduły wybierane I*.

Semestr	Jedn.	Moduł kształcenia	Wykład	Ćwiczenia/ Lektorat	Laboratorium	Projekt/ Seminarium	Numer kryterium oceny		
							1	2	3
7	MA	Języki i programowanie robotów	25	0	15	0	VR(1), EL(2), V(3)	2	s
7	MO	Programowanie maszyn CNC	25	0	15	0	VR(2), EL(1), V(2)	4	k
Sumy za semestr: 7			50	0	30	0			
SUMY ZA WSZYSTKIE SEMESTRY:			50	0	30	0			

Tabela 19: Ewaluacja w obszarze zastosowania technik VR na kierunku: *automatyka i robotyka: Moduły wybierane II*.

Semestr	Jedn.	Moduł kształcenia	Wykład	Ćwiczenia/ Lektorat	Laboratorium	Projekt/ Seminarium	Numer kryterium oceny		
							1	2	3
7	MB	Napęd i sterowanie pneumatyczne i hydrauliczne	25	0	15	0	VR(3), EL(2), V(3)	3	d
7	MA	Projektowanie systemów wbudowanych	25	0	15	0	VR(2), EL(1), V(2)	4	k
Sumy za semestr: 7			50	0	30	0			
SUMY ZA WSZYSTKIE SEMESTRY:			50	0	30	0			

Tabela 20: Ewaluacja w obszarze zastosowania technik VR na kierunku: *automatyka i robotyka: Moduły wybierane III*.

Semestr	Jedn.	Moduł kształcenia	Wykład	Ćwiczenia/ Lektorat	Laboratorium	Projekt/ Seminarium	Numer kryterium oceny		
							1	2	3
7	EA	Projektowanie zadań i zarządzanie przedsiębiorstwami z pakietem MS Project	25	0	15	0	VR(1) EL(2), V(3)	2	d
7	EA	Systemy operacyjne w automatyce	25	0	15	0	VR(1) EL(1), V(2)	3	d
Sumy za semestr: 7			50	0	30	0			
SUMY ZA WSZYSTKIE SEMESTRY:			50	0	30	0			

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 nr projektu 027/RID/2018/19 kwota finansowania 11 999 900 zł.

Tabela 21: Ewaluacja w obszarze zastosowania technik VR na kierunku: *automatyka i robotyka: moduły wybierane w zakresie programowania sterowników przemysłowych.*

Semestr	Jedn.	Moduł kształcenia	Wykład	Ćwiczenia/ Lektorat	Laboratorium	Projekt/ Seminarium	Numer kryterium oceny		
							1	2	3
5	EA	Programowanie sterowników PLC i PAC	25	0	20	0	VR(3), EL(2), V(3)	4	d
5	EA	Projekt w kole naukowym lub opracowanie publikacji (PLC/PAC)	0	0	0	45	VR(2), EL(1), V(2)	3	k
Sumy za semestr: 5			25	0	20	45			
SUMY ZA WSZYSTKIE SEMESTRY:			25	0	20	45			

Tabela 22: Ewaluacja w obszarze zastosowania technik VR na kierunku: *automatyka i robotyka: moduły wybierane w zakresie technologii informatycznych sterowania produkcją.*

Semestr	Jedn.	Moduł kształcenia	Wykład	Ćwiczenia/ Lektorat	Laboratorium	Projekt/ Seminarium	Numer kryterium oceny		
							1	2	3
6	EA	Projekt w kole naukowym lub opracowanie publikacji (sterowanie produkcją)	0	0	0	45	VR(2), EL(1), V(2)	3	k
6	EA	Technologie informatyczne w klasycznym i inteligentnym sterowaniu produkcją	15	0	0	15	VR(2), EL(1), V(2)	2	s
Sumy za semestr: 6			15	0	20	60			
SUMY ZA WSZYSTKIE SEMESTRY:			15	0	20	60			

Tabela 23: Ewaluacja w obszarze zastosowania technik VR na kierunku: *automatyka i robotyka: moduły wybierane w zakresie zaawansowanych aspektów robotyki.*

Semestr	Jedn.	Moduł kształcenia	Wykład	Ćwiczenia/ Lektorat	Laboratorium	Projekt/ Seminarium	Numer kryterium oceny		
							1	2	3
6	EA	Projekt w kole naukowym lub opracowanie publikacji (robotyka)	0	0	0	45	VR(2), EL(2), V(3)	4	k
6	EA	Roboty mobilne	25	0	20	0	VR(4), EL(1), V(2)	4	k
Sumy za semestr: 6			25	0	20	45			
SUMY ZA WSZYSTKIE SEMESTRY:			25	0	20	45			

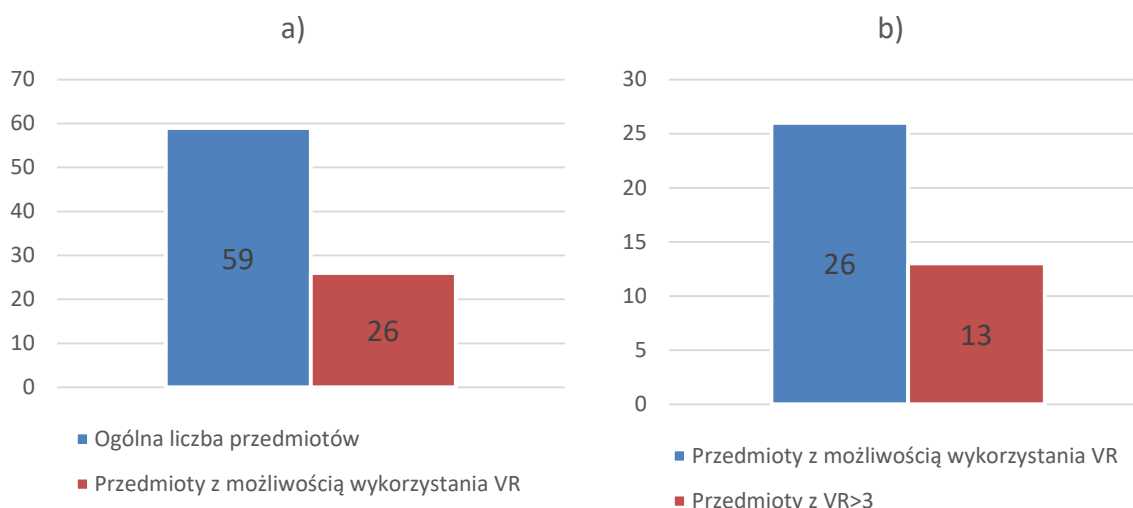
Tabela 24: Ewaluacja w obszarze zastosowania technik VR na kierunku: *automatyka i robotyka: moduły wybierane w zakresie mechatroniki.*

Semestr	Jedn.	Moduł kształcenia	Wykład	Ćwiczenia/ Lektorat	Laboratorium	Projekt/ Seminarium	Numer kryterium oceny		
							1	2	3
6	EA	Mechatronika i szybkie prototypowanie	15	0	15	15	VR(4), EL(2), V(3)	3	d

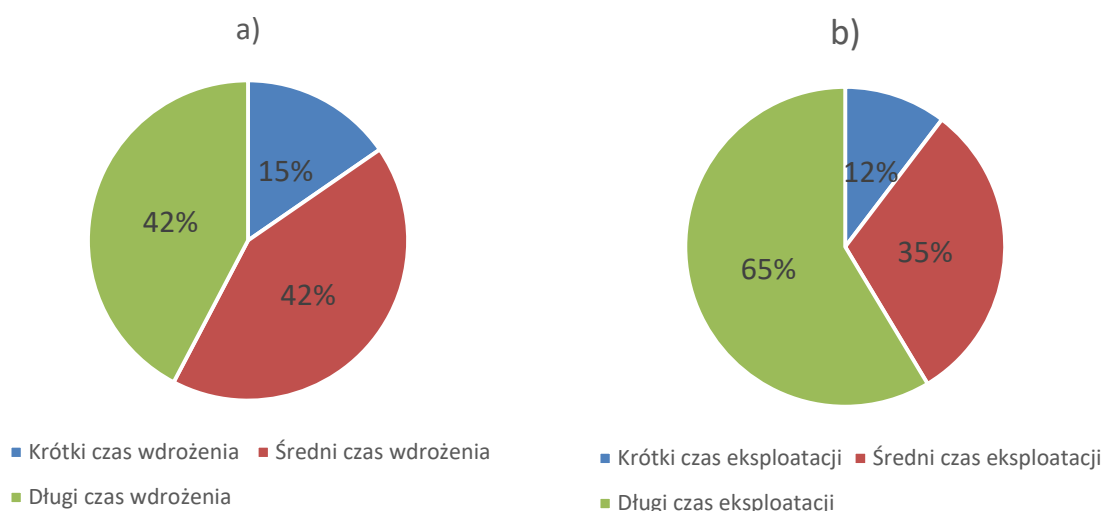
Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 nr projektu 027/RID/2018/19 kwota finansowania 11 999 900 zł.

		układów sterowania							
6	EA	Projekt w kole naukowym lub opracowanie publikacji (mechatronika)	0	0	0	45	VR(2), EL(1), V(2)	4	k
Sumy za semestr: 6			15	0	15	45			
SUMY ZA WSZYSTKIE SEMESTRY:			15	0	15	45			

Graficzne podsumowanie potencjału wykorzystania technik VR na kierunku *automatyka i robotyka* zaprezentowano na rys. 57 i 58. Moduły obieralne zostały uwzględnione w poniższej analizie jako moduły nie podatne na wdrożenie technik VR do procesu nauczania. Moduły te zostaną przeanalizowane odrębnie w dalszej części tego raportu.

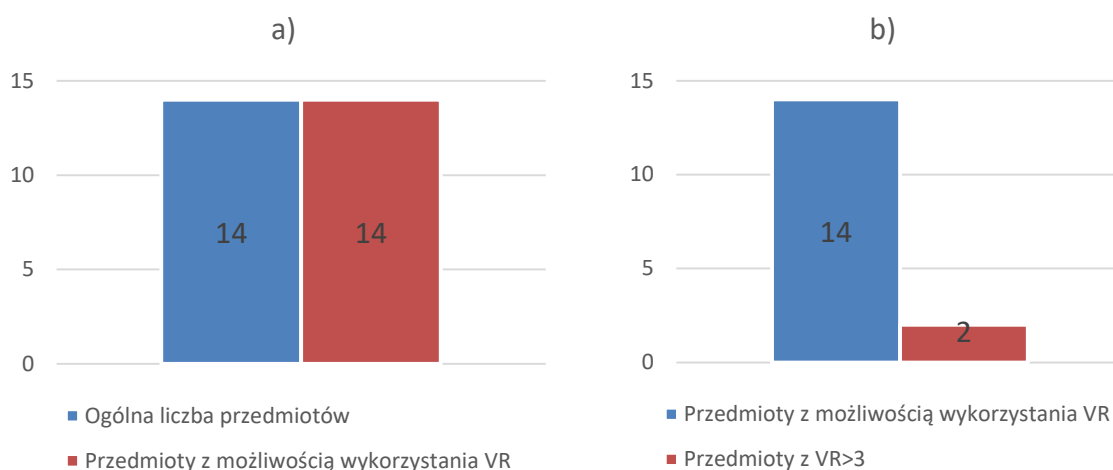


Rys. 57. Zestawienie graficzne dla kierunku AiR: a)) Liczba modułów kształcenia wykazująca potencjał do wykorzystania techniki VR w procesie nauczania; b) Liczba modułów kształcenia wykazująca podatność na wdrożenie.

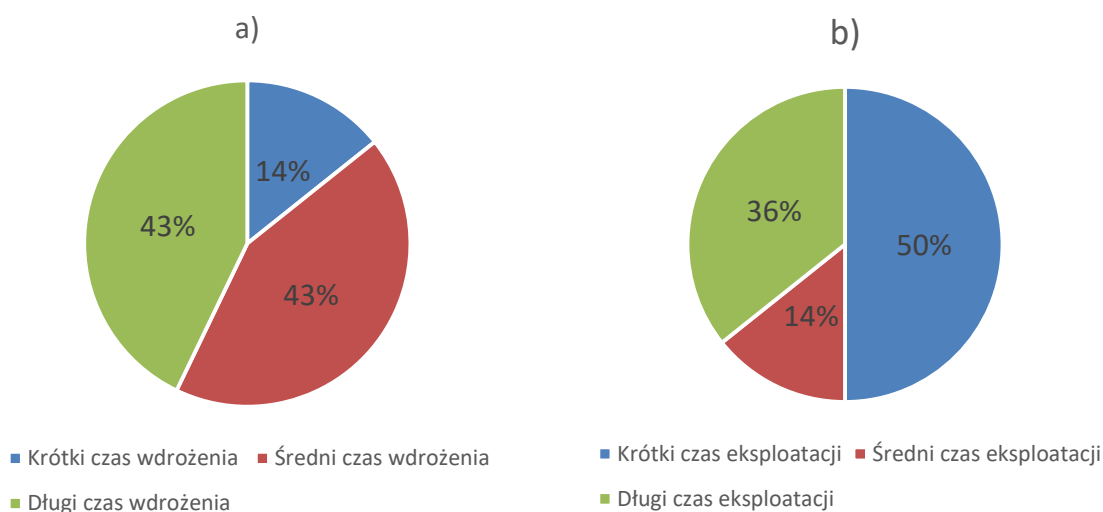


Rys. 58. Zestawienie graficzne dla kierunku AiR: a) Rozkład procentowy czasu wdrożenia; b) Czasu eksploatacji scenariuszy.

Na rys. 59-60 przedstawiono potencjał wdrożenia technologii VR dla kierunku AiR i modułów obieralnych I, II, III oraz modułów wybieranych w zakresie programowania sterowników przemysłowych, technologii informatycznych sterowania produkcją, zaawansowanych aspektów robotyki i mechatroniki.



Rys. 59. Zbiornicze zestawienie graficzne dla modułów obieralnych na kierunku AiR: a) Liczba modułów kształcenia wykazująca potencjał do wykorzystania techniki VR w procesie nauczania; b) Liczba modułów kształcenia wykazująca podatność na wdrożenie.



Rys. 60. Zbiorcze zestawienie graficzne dla modułów obieralnych na kierunku AiR: a) Procentowy rozkład czasu wdrożenia; b) Czasu eksploatacji scenariuszy VR.

Kierunek studiów *automatyka i robotyka* jest jednym z popularniejszych kierunków technicznych na uczelniach w Polsce. Na tym kierunku możliwe jest zastosowanie technik VR w przypadku wielu modułów kształcenia, ale w dalszej części rozważone zostaną dwa przykładowe przedmioty. W przypadku modułu zajęć *podstawy robotyki* wykorzystanie technik VR może wpłynąć pozytywnie na zrozumienie zagadnień z obszaru programowania robotów. W ramach zajęć studenci poznają podstawy matematyczne związane z ruchami robota oraz popularne elementy składowe rozwiązań dostępnych na rynku. W trakcie realizowanych zajęć ćwiczeniowych studenci poznają nie tylko terminologię stosowaną w robotyce, ale również rozwijają umiejętności określania pola roboczego robotów. Dotychczas do przygotowania i realizacji symulacji prowadzonych w ramach tego przedmiotu wykorzystywane było środowisko Matlab oraz symulatory robota typu SCARA. Połączenie tematyki zajęć z techniką VR umożliwia bardziej przyjazne i intuicyjne przekazanie wiedzy. Wykorzystanie dedykowanych silników graficznych np. Unreal Engine lub Unity 3D umożliwia przygotowanie konkretnego środowiska w którym może zostać zwizualizowana wirtualna hala produkcyjna. W tak przygotowanym środowisku student będzie miał możliwość programowania wirtualnych robotów tworzących linię produkcyjną wirtualnego samochodu. W wirtualnym środowisku student oprogramowywałby kolejne roboty typu SCARA

(około 7), które wykonując poprawnie swoje zadania aktywowałyby kolejne elementy linii produkcyjnej. Celem ćwiczenia może być uruchomienie całej linii produkcyjnej. Do dyspozycji studenta w wirtualnym środowisku mogłyby być dedykowane pola, w ramach których mógłby on konfigurować pracę robota (przykładowo poprzez wpisanie odpowiednich działań, formuł matematycznych, lub programów w pseudokodzie). Na początkowym etapie zajęć, student w wirtualnym środowisku mógłby realizować proste jednostkowe zadania np. związane z konfiguracją robota odpowiedzialnego za montaż i spawanie drzwi w samochodach osobowych. Początkowo robot nie posiadałby żadnych zaimplementowanych funkcji matematycznych, które definiowałyby jego ruch. Użytkownik mógłby uruchomić wcześniej przygotowany przez prowadzącego program testowy, aby zaobserwować jak robot powinien się zachowywać w hali produkcyjnej. Analizując ruchy robota oraz jego stopnie swobody, student powinien przygotować robota do wykonania następujących zadań:

- zabranie elementu (drzwi) z taśmociągu;
- dołączenie elementu (drzwi) do szkieletu pojazdu w odpowiednim miejscu;
- połączenie (za pomocą dodatkowego ramienia) drzwi ze szkieletem pojazdu poprzez wykonanie akcji spawania w odpowiednich miejscach.

Zależnie od osiągniętych efektów pracy student uzyskałby odpowiednią ocenę z danego ćwiczenia laboratoryjnego. Dzięki zastosowaniu wirtualnej rzeczywistości student może lepiej poznać temat i chętniej przystępować do zajęć. Pracując w wirtualnym świecie ma poczucie pracy z prawdziwymi urządzeniami i możliwość poznania szerokiej gamy urządzeń.

Dzięki zastosowaniu technologii VR możliwe jest także dokładniejsze i znacznie efektywniejsze opanowanie zakresu materiału prezentowanego w ramach modułu *podstawy elektroniki*. To ważny i obszerny przedmiot, który został ujęty w programie nauczania obu analizowanych kierunków studiów. Ze względu na złożoność przekazywanych treści oraz pracę z elementami elektronicznymi, które mogą pracować na niebezpiecznych poziomach napięć, zajęcia praktyczne mogą być obciążone pewnym poziomem ryzyka wystąpienia wypadku. W zajęciach biorą udział także studenci, którzy nie mieli wcześniej styczności z komponentami takimi jak dioda LED, rezystor, tranzystor, itp. W przypadku nieprawidłowego połączenia elementów ryzyko uszkodzenia

danego komponentu jest bardzo wysokie. W skrajnych przypadkach nieprawidłowe połączenie elementów układu może doprowadzić do groźnego w skutkach wypadku (np. porażenia prądem). Elementy składowe układów mogą pracować z różnym napięciem (5-12V lub nawet 230V) lub posiadać różne typy wyprowadzeń (THT lub SMD). Istnieją ważne elementy elektroniczne, których praktyczne wykorzystanie w trakcie zajęć laboratoryjnych (prowadzonych w grupach 15 osobowych) może być utrudnione ze względu na wysokie niebezpieczeństwo wypadku. Przykładem takich elementów mogą być np. przełączniki (ang. relays), które mogą pracować z napięciem 230V.

Wykorzystując wirtualną rzeczywistość student ma możliwość poznania szerokiej gamy elementów wykorzystywanych w elektronice w całkowicie bezpiecznym środowisku. Podczas zajęć student może przenieść się do wirtualnego laboratorium, gdzie ma możliwość eksperymentowania z różnymi komponentami, np. elementami biernymi (rezystory, kondensatory, itp.) czy elementami aktywnymi (źródła zasilania, tranzystory itp.). Na stanowisku laboratoryjnym, poza opisanymi wcześniej komponentami, może mieć również dostęp do zasilacza laboratoryjnego, miernika czy oscyloskopu. Ilość i rodzaj urządzeń określona jest przez twórcę aplikacji. Podczas przykładowych zajęć, student może mieć przed sobą płytkę prototypową i możliwość budowania złożonych układów. Dzięki informacjom gromadzonym przez system VR, prowadzący może mieć wgląd w działania studenta, a także pomagać mu w sytuacji, gdy nie radzi sobie z danym scenariuszem laboratoryjnym. Student wykorzystując okna z podpowiedziami może w sposób przyjazny pozyskać nową wiedzę (rys. 61). Kluczowym aspektem nauki jest tutaj możliwość eksperymentowania. Poprzez serię komunikatów student dowie się, kiedy jego układ przestanie poprawnie funkcjonować.



Rys. 61. Przykład zastosowania VR w *elektronice* [106].

5. Podsumowanie

Zastosowanie wirtualnej rzeczywistości w edukacji, w szczególności na kierunkach technicznych, wydaje się konieczne z punktu widzenia rozwoju procesu kształcenia. Jest ono postrzegane nie tylko w kategoriach rozwiązania innowacyjnego i niestandardowego, ale staje się obecnie jednym z ważnych czynników wyróżniających Uczelnie, czy ośrodki szkoleniowe. Techniki VR/AR mogą znaleźć zastosowanie w przypadku wielu zagadnień, wspierając zdobywanie kompetencji twardych i miękkich. Spersonalizowane ćwiczenia realizowane przy użyciu technik VR mogą oferować szerszy zakres możliwości niż tradycyjne podręczniki, zapewniając przy tym mechanizmy pomocne w nauczaniu treści teoretycznych oraz zaawansowane mechanizmy śledzenia postępów nauczania.

W raporcie dokonano przeglądu technologii wspierających wirtualną rzeczywistość oraz zaprezentowano poziom ich aktualnego wykorzystania na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. Ponadto, w raporcie dokonano analizy potencjału wdrożenia technik VR w ramach modułów kształcenia ujętych w planie studiów na kierunkach *informatyka* oraz *automatyka i robotyka*. Na tej podstawie sformułowano rekomendacje dotyczące wykorzystania technologii VR w procesie kształcenia studentów na WEiI.

W ramach raportu wskazano technologię *immersive learning* jako narzędzie pozwalające na stymulację aktywności studenta oraz wpływające pozytywnie na poziom jego skupienia w ramach zajęć. Narzędzia tej klasy należy jednak traktować w kategoriach środków wspierających aktualnie stosowane metody i środki nauczania, które pozwalają zwiększyć efektywność procesu dydaktycznego i wprowadzają możliwości kształcenia w obszarach do tej pory niedostępnych lub trudnodostępnych. Szczególnie istotna z punktu zastosowania technik VR jest możliwość interakcji osoby uczącej się z odwzorowanymi w wirtualnym świecie technologiami w sposób zbliżony do rzeczywistego. Wpływa to pozytywnie na poszerzenie gamy doświadczeń studenta oraz pozwala szybciej i dokładniej przyswoić wiedzę z danego tematu. Dodatkowo studenci ćwicząc w bezpiecznym środowisku wirtualnym, nie wpływają na funkcjonowanie rzeczywistych systemów, nie zużywają elementów eksploatacyjnych oraz mogą pracować z elementami

nie dostępnymi w rzeczywistym środowisku laboratoryjnym. Zastosowanie VR pozwala również na szersze zastosowanie technik związanych z bieżącą analizą procesu uczenia się, opartych zarówno na bezpośredniej interakcji z nauczycielem, ale również wykorzystujących systemy ekspertowe oraz elementy sztucznej inteligencji.

Na podstawie przeprowadzonej w raporcie analizy, sformułowano szereg uwag i rekomendacji w zakresie wykorzystania wirtualnej rzeczywistości, która może wpłynąć na poprawę efektywności, atrakcyjności oraz jakości kształcenia na WEiI. Do najważniejszych można zaliczyć:

1. Kluczowym elementem w procesie wdrożenia VR na Wydziale jest konieczność podniesienia kompetencji w zakresie technik wirtualnej rzeczywistości przez pracowników technicznych, dydaktycznych i naukowo-dydaktycznych. Dotyczy to przede wszystkim umiejętności aplikacyjnych w zakresie tworzenia scenariuszy zajęć w dostępnych narzędziach, jak również doboru treści przedmiotu, które mogą zostać odpowiednio zaimplementowane w środowisku wirtualnej rzeczywistości.
2. Wprowadzenie technik VR do procesu kształceniu może być postrzegane w kategoriach innowacji procesowej. Dzięki temu Wydział może zostać liderem innowacji edukacyjnych w regionie, a co za tym idzie może świadczyć usługi doradcze dla innych ośrodków kształcenia oraz promować dobre praktyki w zakresie kształcenia. Takie oddziaływanie Wydziału, a tym samym całej Uczelni na regionalne środowisko może znacząco wpłynąć na pozytywne postrzeganie jednostki oraz umocnienie marki Uczelni.
3. Możliwe jest rozszerzenie oraz nawiązanie współpracy przez Wydział oraz Uczelnie z podmiotami kształcenia ustawicznego i zawodowego, co może w konsekwencji wpłynąć na polepszenie relacji w obszarze dydaktyki z przedsiębiorcami i zakładami przemysłowymi. Potencjał ten jest szczególnie widoczny w przypadku rozwiązań stosowanych w Przemysle 4.0.
4. Barięą utrudniającą powszechne zastosowanie VR są wysokie koszty zakupu i oprogramowania umożliwiającego jego wykorzystanie, a także kosztowne i czasochłonne wytworzenie aplikacji i scenariuszy lekcyjnych. Problemem może się również okazać brak skutecznych rozwiązań umożliwiających efektywne integrowanie bodźców wizualnych z ciałem, co może skutkować wystąpieniem



tw. błędu poznawczego. Dlatego tak ważne jest aby każda decyzja o wprowadzeniu technik VR do procesu nauczania danego modułu poprzedzona była dokładną analizą możliwości technicznych oraz studium przypadku (ang. *Proof of Concept*).

- Przeprowadzone w laboratorium G2A badania pokazały, iż niektórzy uczniowie i studenci odczuwają efekty choroby lokomocyjnej, złe samopoczucie, mdłości oraz zawroty głowy w trakcie pracy w środowisku wirtualnej rzeczywistości. Przed zajęciami konieczne należy przeprowadzić zatem wywiad z uczestnikami szkolenia nt. ich predyspozycji, doświadczeń z technologią VR, wad wzroku, chorób itp. Przykładowo, specyficzne wady wzroku (np. dominacja jednego oka u kursanta) mogą skutkować nachodzeniem na siebie wyświetlanych obrazów, co z kolei powoduje znaczny dyskomfort u studenta w odbiorze obrazu trójwymiarowego. Celowym byłoby zatem przygotowanie we współpracy z jednostką medyczną formularza lub też testów, które określą możliwości udziału danego studenta w zajęciach prowadzonych w wirtualnej rzeczywistości.
- Koszty oraz długi okres przygotowania materiałów szkoleniowych implikuje konieczność rozłożenia procesu wdrożenia technologii VR na etapy. W pierwszej kolejności należy rozbudować bazę sprzętową, następnie przygotować kadrę i materiały szkoleniowe. Dbając o najwyższą jakość procesu kształcenia i zgodność z wymaganiami KRK, zaleca się (przed szerokim wdrożeniem technologii VR) przeprowadzenie pilotażowych kursów, które pozwolą na przygotowanie środowiska wirtualnego i studentów do ich używania oraz pozwolą na zbudowanie bazy wiedzy i doświadczeń.

Bibliografia

- [1] G. C. Nepal i S. Tang, „Markets and Future,” 2017. [Online]. Available: <http://web.tecnico.ulisboa.pt/ist188480/cmuf/markets.html#development>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [2] A. Lele, „Virtual reality and its military utility,” *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, tom 4, nr 1, pp. 17-26, 2011.
- [3] I. E. Sutherland, „The Ultimate Display,” *Proceedings of the IFIP Congress*, pp. 506--508, 1965.
- [4] R. Webster i A. Clark, „Turn-Key Solutions: Virtual Reality,” Boston, 2015.
- [5] G. Bishop i H. Fuchs, „Research directions in virtual environments: report of an NSF Invitational Workshop,” *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, tom 26, nr 3, pp. 153 - 177, 1992.
- [6] M. A. A. Gutiérrez, F. Vexo i D. Thalmann, *Stepping into Virtual Reality*, London: Springer, 2008.
- [7] F. Biocca, „The Cyborg’s dilemma: progressive embodiment in virtual,” *Journal of Computer-Mediated Communication*, tom 3, nr 2, September 1997.
- [8] D. Barnard, „History of VR - Timeline of Events and Tech Development,” 2019. [Online]. Available: <https://virtualspeech.com/blog/history-of-vr>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [9] N. J. Wade i H. Ono, „The Stereoscopic Views of Wheatstone and Brewster,” *Psychological Research*, tom 47, nr 3, February 1985.
- [10] D. Brewster, *The stereoscope; its history, theory, and construction, with its application to the fine and useful arts and to education*, London: J. Murray, 1856.
- [11] M. Heilig, „Sensorama simulator”. US Patent 3,050,870, 1962.
- [12] N. Fedorov, „The History of Virtual Reality,” 2015. [Online]. Available: <https://www.avadirect.com/blog/the-history-of-virtual-reality/>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].

- [13] A. Handy, „Is 2016 really going to be “the year” of Virtual Reality?,” 2016. [Online]. Available: <https://virtualrealitypop.com/is-2016-really-going-to-be-the-year-of-virtual-reality-5408027662ea>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [14] H. Brockwell, „Forgotten genius: the man who made a working VR machine in 1957,” 2016. [Online]. Available: <https://www.techradar.com/news/wearables/forgotten-genius-the-man-who-made-a-working-vr-machine-in-1957-1318253/2>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [15] A. Basso, „Advantages, Critics and Paradoxes of Virtual Reality Applied to Digital Systems of Architectural Prefiguration, the Phenomenon of Virtual Migration,” *Proceedings of International and Interdisciplinary Conference IMMAGINI? Image and Imagination between Representation, Communication, Education and Psychology*, tom 1, nr 9, November 2017.
- [16] M. Heilig, „Stereoscopic-television apparatus for individual use”. US Patent 2,955,156, 1960.
- [17] I. E. Sutherland, „A Head-Mounted Three-Dimensional Display,” *AFIPS Conference Proceedings*, tom 33, pp. 757--764, 1968.
- [18] H. Rheingold, *Virtual reality*, New York: Simon & Schuster, 1992.
- [19] N. Delprat, C. Leroux and S. F. Alaoui, "Experience of a cloud-avatar: scientific challenges and artistic perspectives," *International Journal of Design and Innovation Research*, vol. 6, pp. 127-143, 2011.
- [20] M. W. Krueger and S. Wilson, "VIDEOPLACE: A Report from the ARTIFICIAL REALITY Laboratory," *Leonardo*, vol. 18, no. 3, pp. 145-151, July 1985.
- [21] T. G. Zimmerman, „An optical flex sensor”. US Patent 4,545,291, 1982.
- [22] D. Sturman and D. Zeltzer, "A survey of glove-based input," *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 14, no. 1, pp. 30 - 39, 1994.
- [23] D. F. Kocian, „A visually-coupled airborne systems simulator (VCASS) – An approach to visual simulation,” *In Proceeding of the IMAGE conference sponsored by air force human resources laboratory*, 17-18 May 1997.
- [24] L. Mertz, „Virtual Reality Pioneer Tom Furness on the Past, Present, and Future of VR in Health Care,” 2019. [Online]. Available: <https://pulse.embs.org/may-2019/virtual-reality-pioneer-tom-furness-on-the-past-present-and-future-of-vr-in-health-care/>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [25] R. A. Bolt, *The human interface: Where people and computers meet*, 1st Edition red.,

Belmont: Lifetime Learning Publications, 1984.

- [26] C. Hodges, „A Look Back at the FIRST Wave of Virtual Reality in Gaming,” 2015. [Online]. Available: <https://chiscroller.wordpress.com/2015/11/19/a-look-back-at-the-first-wave-of-virtual-reality-in-gaming/>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [27] C. Cruz-Neira, D. Sandin, T. A. Defant, R. V. Kenyon and J. C. Hart, "The cave-audio visual experience virtual environment," *Communications od The ACM - CACM*, 1992.
- [28] W. Seibert, „Virtual Reality Then: A Look Back at the Nintendo Virtual Boy,” 2017. [Online]. Available: <https://www.techspot.com/article/1085-nintendo-virtual-boy/>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [29] Nintendo, „Vol. 1: And That's How the Nintendo 3DS Was Made,” 2010. [Online]. Available: <https://www.nintendo.co.uk/Iwata-Asks/Iwata-Asks-Nintendo-3DS/Vol-1-And-That-s-How-the-Nintendo-3DS-Was-Made/2-Shigeru-Miyamoto-Talks-Virtual-Boy/2-Shigeru-Miyamoto-Talks-Virtual-Boy-229419.html>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [30] C. Vandeviver, „Applying Google Maps and Google Street View in criminological research,” *Crime Science*, tom 3, nr 1, December 2014.
- [31] Google, „Cardboard,” 2014. [Online]. Available: <https://arvr.google.com/cardboard/manufacturers/>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [32] R. Trenholm, „The history of Samsung's Gear VR virtual reality headset,” 2015. [Online]. Available: <https://www.cnet.com/news/the-history-of-samsungs-gear-vr-virtual-reality-headset/>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [33] B. Solomon, „Facebook Buys Oculus, Virtual Reality Gaming Startup, For \$2 Billion,” 2014. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/briansolomon/2014/03/25/facebook-buys-oculus-virtual-reality-gaming-startup-for-2-billion/#588517dc2498>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [34] HTC Corporation, „VIVE VR SYSTEM,” 2016. [Online]. Available: <https://www.vive.com/us/product/vive-virtual-reality-system/>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [35] W. Greenwald, „The Best VR Headsets for 2019,” 2019. [Online]. Available: <https://www.pcmag.com/article/342537/the-best-virtual-reality-vr-headsets>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [36] C. McFadden, „What's In a Name? The Long and Short History of Virtual Reality,” 2018. [Online]. Available: <https://interestingengineering.com/whats-in-a-name-the-long-and->

short-history-of-virtual-reality. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].

- [37] A. Alraizzah, F. Lamy i L. Fattouh, „Environments and System Types of Virtual Reality Technology in STEM: A Survey,” *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, tom 8, nr 9, 2017.
- [38] P. J. Costello, „Health and Safety Issues Associated with Virtual Reality: A Review of Current Literature,” *Advisory Group on Computer Graphics*, nr 37, 1997.
- [39] 5DT, „5DT Data Glove Ultra Series,” 2019. [Online]. Available: <http://www.5dt.com/downloads/dataglove/ultra/5DTDataGloveUltraDatasheet.pdf>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [40] L. Brown, „The perfect resolution for immersive VR,” 2017. [Online]. Available: <https://filmora.wondershare.com/virtual-reality/perfect-resolution-for-vr.html>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [41] P. L. Myers, A. W. Starr i K. Mullins, „Flight Simulator Fidelity, Training Transfer, and the Role of Instructors in Optimizing Learning,” *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, tom 5, nr 1, 2018.
- [42] C.-M. An i Y.-H. Park, „The effects of semi-immersive virtual reality therapy on standing balance and upright mobility function in individuals with chronic incomplete spinal cord injury: A preliminary study,” *The Journal of Spinal Cord Medicine*, tom 41, nr 2, 2018.
- [43] cmlabs, „Luffing Tower Crane Simulator,” 2019. [Online]. Available: <https://www.cm-labs.com/immersive-simulation-products/construction-equipment-training-simulators/luffing-tower-crane-simulator-training-pack/>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [44] Z. Bhanji, „A New Reality: How VR Actually Works,” 2018. [Online]. Available: <https://medium.com/predict/a-new-reality-how-vr-actually-works-663210bdf72>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [45] M. Muhanna, „Virtual reality and the CAVE: Taxonomy, interaction challenges and research directions,” *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, tom 27, nr 3, pp. 344-361, July 2015.
- [46] M. Czernuszenko, D. Pape, D. Sandin, T. DeFanti, G. L. Dawe i M. D. Brown, „The ImmersaDesk and Infinity Wall Projection-Based Virtual Reality Displays,” *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, tom 31, nr 2, pp. 46-59, 1997.
- [47] M. Butt, „Full Dive virtual Reality – Straight Outta Science Fiction,” 2018. [Online]. Available: <https://blog.bigimmersive.com/full-dive-virtual-reality-straight-outta-science-fiction/>. [Data

uzyskania dostępu: 10 2019].

- [48] L. Cherdo, „TYPES OF VR HEADSETS: PC VR, STANDALONE VR, SMARTPHONE VR,” 2018. [Online]. Available: <https://www.aniwaa.com/guide/vr-ar/types-of-vr-headsets/>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [49] SOPROFIT, „3 Degrees of Freedom VS 6 Degrees of Freedom,” 2019. [Online]. Available: <https://www.soprofit.com/updates/3-degrees-of-freedom-vs-6-degrees-of-freedom>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [50] Sony Interactive Entertainment Europe, „PS VR IN DETAIL,” 2016. [Online]. Available: <https://www.playstation.com/en-ie/explore/playstation-vr/tech-specs/>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [51] S. Rogers, „Oculus Quest: The Best Standalone VR Headset,” 2019. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/solrogers/2019/05/03/oculus-quest-the-best-standalone-vr-headset/#271c11148ed8>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [52] Oculus, „Oculus Quest,” 2019. [Online]. Available: https://www.oculus.com/quest/features/?locale=pl_PL. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [53] J. Horwitz, „Oculus Rift S versus Oculus Rift: the spec comparison chart,” March 2019. [Online]. Available: <https://venturebeat.com/2019/03/20/oculus-rift-s-versus-oculus-rift-the-spec-comparison-chart/>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [54] OSVR, „Open Source Head-mounted Display for OSVR,” 2016. [Online]. Available: <http://www.osvr.org/hdk2.html>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [55] Pimax, „Pimax 4K VR Headset,” 2019. [Online]. Available: <https://www.pimax.com/products/pimax-4k>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [56] DPVR, „DPVR E3c,” 2019. [Online]. Available: <http://dpvr.net/e3c.html>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [57] Lenovo, „Lenovo Explorer,” 2019. [Online]. Available: <https://www.lenovo.com/pl/pl/smart-devices/virtual-reality/lenovo-explorer/Lenovo-Explorer/p/G10NREAG0A2>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [58] Acer, „Windows Mixed Reality Headset,” 2019. [Online]. Available: <https://www.acer.com/ac/en/US/content/model/VD.R05AP.002>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [59] Samsung, „HMD Odyssey+,” 2019. [Online]. Available:

- <https://www.samsung.com/us/computing/hmd/windows-mixed-reality/hmd-odyssey-windows-mixed-reality-headset-xe800zba-hc1us/#specs>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [60] HTC Corporation, „VIVE Pro,” 2018. [Online]. Available: <https://www.vive.com/us/product/vive-pro/>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [61] Pimax, „5K PLUS VR Headset,” 2019. [Online]. Available: <https://store.pimaxvr.com/shop/product/xpp2-100-0038-5k-plus-vr-headset-19>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [62] HP Development Company, „HP REVERB VIRTUAL REALITY HEADSET – PRO EDITION,” 2019. [Online]. Available: <https://www8.hp.com/us/en/vr/reverb-vr-headset.html>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [63] Valve, „Valve Index,” 2019. [Online]. Available: <https://www.valvesoftware.com/pl/index/headset>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [64] HTC Corporation, „VIVE Cosmos,” 2019. [Online]. Available: <https://www.vive.com/us/product/cosmos/>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [65] HTC Corporation, „VIVE Wireless Adapter,” 2019. [Online]. Available: <https://www.vive.com/us/wireless-adapter/>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [66] TPCAST, „TPCAST Air for Oculus Quest,” 2019. [Online]. Available: https://www.tpcast.cn/index.php?s=/Front/Public/tpcastair_quest. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [67] Cyberith GmbH, „The essential VR Treadmill,” 2019. [Online]. Available: <https://www.cyberith.com/virtualizer-rd-kit/>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [68] Virtuix Omni, „Virtuix Omni,” 2019. [Online]. Available: <http://virtuixomni.pl/sprzet/>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [69] Virtuix, „Omni standee,” 2019. [Online]. Available: <https://www.virtuix.com/product/omni-standee/>. [Data uzyskania dostępu: 10 2019].
- [70] GSMA, „Cloud AR/VR,” 2019.
- [71] GSMA, „Cloud AR/VR Whitepaper,” 26 April 2019. [Online]. Available: <https://www.gsma.com/futurenetworks/wiki/cloud-ar-vr-whitepaper/>. [Data uzyskania dostępu: Listopad 2019].
- [72] Huawei, „Cloud VR Bearer Networks,” 2017. [Online]. Available: <https://www->

file.huawei.com/-
/media/corporate/pdf/ilab/cloud_vr_oriented_bearer_network_white_paper_en_v2.pdf.
[Data uzyskania dostępu: Listopad 2019].

- [73] D. Grajewski, F. Górski, P. Zawadzki i A. Hamrol, „Integracja technik wirtualnej rzeczywistości i wytwarzania przyrostowego – hybrydowe podejście do rozwoju wyrobu. Cz. 1,” *Engineering*, nr 1,2, pp. 173-176, 266-270, 2013.
- [74] P. Dymora, M. Mazurek i B. Kowal, „Dydaktyczne aspekty projektowania aplikacji w środowisku Unity 3D,” *EDUKACJA - TECHNIKA - INFORMATYKA*, pp. 185-193, 2019.
- [75] J. Gregory, *Game Engine Architecture 2nd Edition*, A K Peters/CRC Press, 2014.
- [76] Unity Technologies, „Unity for all,” November 2019. [Online]. Available: <https://unity.com/>. [Data uzyskania dostępu: Listopad 2019].
- [77] Epic Games, Inc. , „Unreal Engine,” 2019. [Online]. Available: <https://www.unrealengine.com/en-US/feed>. [Data uzyskania dostępu: Listopad 2019].
- [78] V. Petrock, „Virtual and Augmented Reality Users 2019,” 27 Marzec 2019. [Online]. Available: <https://www.emarketer.com/content/virtual-and-augmented-reality-users-2019#page-report>. [Data uzyskania dostępu: Listopad 2019].
- [79] eMarketer, „US Virtual Reality and Augmented Reality Users, 2017-2021 (millions),” 1 Marzec 2019. [Online]. Available: <https://www.emarketer.com/chart/226913/us-virtual-reality-augmented-reality-users-2017-2021-millions>. [Data uzyskania dostępu: Listopad 2019].
- [80] N. Gilbert, „62 Virtual Reality Statistics You Must Know in 2019 & 2020: Adoption, Usage & Market Share,” [Online]. Available: <https://financesonline.com/virtual-reality-statistics/>. [Data uzyskania dostępu: Listopad 2019].
- [81] Y. Slavova i M. Mu, „A Comparative Study of the Learning Outcomes and Experience of VR in Education,” w *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, Reutlingen, 2018.
- [82] I. Horváth, „The IT device demand of the edu-coaching method in the higher education of engineering,” w *2017 8th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*, Debrecen, 2017.
- [83] Széchenyi István University, „Széchenyi István University Research Projects,” Listopad 2018. [Online]. Available: <http://www.coginfocom.hu/vr/>. [Data uzyskania dostępu: Listopad 2019].



- [84] I. Horváth, B. Lampert, A. Pongracz, J. Sipos i A. Vehrér, „MaxWhere VR-learning improves effectiveness over classical tools of e-learning,” *Acta Polytechnica Hungarica*, Lipiec 2018.
- [85] L. Ying, Z. Jiong, S. Wei, W. Jingchun i G. Xiaopeng, „VREX: Virtual reality education expansion could help to improve the class experience (VREX platform and community for VR based education),” w *2017 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, Indianapolis, 2017.
- [86] B. Smith, M. Cook, M. Pine, E. Malone, S. Leal, J. Suh i J. H. Seo, „Anatomy builder VR: Applying a constructive learning method in the virtual reality canine skeletal system,” w *2017 IEEE Virtual Reality (VR)*, Los Angeles, 2017.
- [87] C. W. Borst, K. A. Ritter i T. L. Chambers, „Virtual Energy Center for Teaching Alternative Energy Technologies,” w *2016 IEEE Virtual Reality (VR)*, Greenville, 2016.
- [88] X. Hu, R. Su i L. He, „The Design and Implementation of the 3D Educational Game Based on VR Headsets,” w *2016 International Symposium on Educational Technology (ISET)*, Beijing, 2016.
- [89] A. M. Peña i E. D. Ragan, „Contextualizing construction accident reports in virtual environments for safety education,” w *2017 IEEE Virtual Reality (VR)*, Los Angeles, 2017.
- [90] H. Ryu, J. Oh, S. Nah i H. Kim, „VR-MOOCs: A Learning Management System for VR Education,” w *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, Osaka, 2019.
- [91] A. Raikwar, N. D'Souza, C. Rogers, M. Kress, A. Williams, N. D. Rische i F. R. Ortega, „CubeVR: Digital Affordances for Architecture Undergraduate Education using Virtual Reality,” w *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, Osaka, 2019.
- [92] K. Ottogalli, D. Rosquete, A. Amundarain, I. Aguinaga i D. Borro, „Flexible Framework to Model Industry 4.0 Processes for Virtual Simulators,” *Applied Sciences*, tom 9, nr 23, November 2019.
- [93] R. Kergel, A. Lungfiel, E. Pröger i P. Nickel, „Flexible, dynamic VR simulation of a future river lock facilitates prevention through design in occupational safety and health,” w *2015 IEEE Virtual Reality (VR)*, Arles, 2015.
- [94] A. Raposo, I. Santos, L. Soares, G. Wagner, E. Corseuil i M. Gattass, „Environ: Integrating VR and CAD in Engineering Projects,” *IEEE Computer Graphics and Applications*, pp. 91 - 95, 3 Listopad 2009.
- [95] D. Kim, Y. Yoon, S. Hwang, G. Lee i J. Park, „Visualizing Spray Paint Deposition in VR Training,” w *2007 IEEE Virtual Reality Conference*, Charlotte, 2007.

- [96] A. Cardoso, E. Lamounier, G. Lima, L. Oliveira, L. Mattioli, G. Júnior, A. Silva, K. Nogueira, P. d. Prado i J. Newton, „VRCEMIG: A virtual reality system for real time control of electric substations,” w *2013 IEEE Virtual Reality (VR)*, Lake Buena Vista, 2013.
- [97] Epic Games, Inc, „Beyond the manual: VR training on aircraft maintenance,” October 2019. [Online]. Available: <https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/beyond-the-manual-vr-training-on-aircraft-maintenance>. [Data uzyskania dostępu: Listopad 2019].
- [98] Aerosim, „mro-network.com,” November 2019. [Online]. Available: <https://www.mro-network.com/node/9324/gallery?slide=1>. [Data uzyskania dostępu: November 2019].
- [99] M. N. i T. J.E, „Smart city digital twins,” *IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*, 2017.
- [100] J. H. Lee i O. A. Shvetsova, „The Impact of VR Application on Student’s Competency Development: A Comparative Study of Regular and VR Engineering Classes with Similar Competency Scopes,” *Sustainability*, pp. 1-26, April 2019.
- [101] B. Anya, *The Future of Immortality: Remaking Life and Death in Contemporary Russia*, New Jersey: Princeton University Press, 2019.
- [102] Politechnika Rzeszowska, „Laboratorium VR G2A na Politechnice Rzeszowskiej już otwarte,” Listopad 2017. [Online]. Available: <https://w.prz.edu.pl/uczelnia/aktualnosci/laboratorium-vr-g2a-na-politechnice-rzeszowskiej-juz-otwarte-577.html>. [Data uzyskania dostępu: Listopad 2019].
- [103] Politechnika Rzeszowska, „Wystartowała Szkoła Młodych Informatyków 2019/20,” Grudzień 2019. [Online]. Available: <https://zsz.prz.edu.pl/aktualnosci/wystartowala-szkola-mlodych-informatykov-2019-20-80.html>. [Data uzyskania dostępu: Grudzień 2019].
- [104] R. Puentedura, „SAMR Model,” 2014. [Online]. Available: <https://sites.google.com/a/msad60.org/technology-is-learning/samr-model>. [Data uzyskania dostępu: Listopad 2019].
- [105] Politechnika Rzeszowska, „Plany studiów,” Listopad 2019. [Online]. Available: <https://weii.prz.edu.pl/studenci/plany-studiow>. [Data uzyskania dostępu: Listopad 2019].
- [106] ShortCircuit, „ShortCircuit,” November 2019. [Online]. Available: <https://shortcircuitvr.com/>. [Data uzyskania dostępu: November 2019].
- [107] GregorDS, „Wikimedia Commons,” 16 February 2015. [Online]. Available: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=38429678>. [Data uzyskania dostępu:

10 2019].

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 nr projektu 027/RID/2018/19 kwota finansowania 11 999 900 zł.