

Szymon Łagosz

<https://orcid.org/0000-0003-2006-6261>

Sebastian Iwaszenko

<https://orcid.org/0000-0003-2346-6375>

DOI: 10.34866/jdwj-3608

## Analiza możliwości zastosowania systemów obliczeniowych dużej skali (HPC) do tworzenia aplikacji VR wykorzystywanych w kształceniu ustawicznym

Analysis of the possibility of using High Performance Computing (HPC) to create VR content used in lifelong learning

**Key words:** virtual reality, VR training, High Performance Computing, HPC.

**Abstract:** The development of virtual reality (VR) technology means that there is an increasing number of applications on the market dedicated to conducting education for various professional groups. The degree of mapping the actual working conditions, including the quality of graphics, the number of interactions with the environment, or the possibility of simultaneous training for entire teams of professionals, create new challenges for the designers of VR applications. The work is an attempt to answer the question whether, in the face of growing requirements for computing power, the use of High Performance Computing (HPC) computer clusters can be used in the creation or implementation of training in VR technology. The most frequently used VR systems and the production processes of VR applications were analyzed, and based on the available literature and the authors' own experience, areas where HPC clusters are the optimal solution were identified.

**Słowa kluczowe:** wirtualna rzeczywistość, szkolenia VR, High Performance Computing, HPC.

**Streszczenie:** Rozwój technologii wirtualnej rzeczywistości (VR) sprawia, że na rynku pojawia się coraz większa liczba aplikacji dedykowanych do prowadzenia kształcenia dla różnych grup zawodowych. Stopień odwzorowania rzeczywistych warunków pracy, w tym jakość grafiki, liczba interakcji z otoczeniem, czy możliwość jednoczesnego prowadzenia szkolenia dla całych brygad, stawia przed twórcami aplikacji VR nowe wyzwania. Praca stanowi próbę odpowiedzi na pytanie, czy w obliczu rosnących wymagań na moce obliczeniowe wykorzystanie klastrów komputerowych typu High Performance Computing (HPC) może mieć zastosowanie przy

tworzeniu lub realizacji szkoleń w technologii VR. Przeanalizowano wykorzystywane obecnie najczęściej systemy VR oraz proces produkcji aplikacji VR i w oparciu o dostępną literaturę oraz doświadczenia własne autorów zidentyfikowano obszary, w których klastry HPC są rozwiązaniem optymalnym.

## Wprowadzenie

Technologia wirtualnej rzeczywistości (VR) pozwala na tworzenie cyfrowych środowisk, składających się z trójwymiarowych obiektów i scenarii, umożliwiających osobie wyposażonej w odpowiedni sprzęt na zanurzenie się w wygenerowanej cyfrowo przestrzeni. Przez zanurzenie należy rozumieć w tym przypadku uczestnictwo w wirtualnej rozgrywce. Poziom zanurzenia, a tym samym odcięcie się od bodźców zewnętrznych, dochodzących z realnego świata, zależy od wielu czynników. Należą do nich między innymi: rodzaj wykorzystywanego sprzętu, scenariusz rozgrywki, a także jakość grafiki 3D i udźwiękowanie zastosowane w aplikacji VR. Zanurzenie w VR określane jest również mianem immersji, co tłumaczyć można jako wczucie się w rozgrywkę i reagowanie na pojawiające się bodźce z aplikacji w taki sposób, jak gdyby widziane wirtualne środowisko było realnym środowiskiem, w którym uczestnik się znajduje. Poziom immersji może być na tyle wysoki, że pozwala na wywołanie u uczestników bardzo silnych reakcji. Jest to wykorzystywane przez producentów treści rozrywkowych oraz coraz częściej również edukacyjnych. Potencjał do stosowania VR w kształceniu ustawicznym jest bardzo duży. Wielokrotnie dowiedziano, że szkolenia, w których zastosowano elementy VR, mogą przynosić lepsze efekty, niż szkolenia tradycyjne. Jak dowodzi Stępnikowski (Stępnikowski, 2021) w pracy *Retencja uczenia się z zastosowaniem wirtualnej rzeczywistości w edukacji i szkoleniach*, wykorzystanie technologii VR w nauczaniu ma wiele zalet. W porównaniu do tradycyjnych metod nauczania, szkolenia VR są bardziej atrakcyjne, powodują większe zaangażowanie uczestnika w proces szkolenia, a przede wszystkim, dzięki dużej intensywności doznań, pomagają lepiej zapamiętywać treści edukacyjne.

Rynek aplikacji szkoleniowych powiększa się systematycznie, a co za tym idzie pojawia się coraz więcej aplikacji wykorzystywanych w kształceniu zawodowym osób dorosłych. Przykładami mogą być szkolenia dla strażaków (Grabowski, 2021), mechaników samochodowych (Borsci i in., 2015), obsługi pokładowej samolotów pasażerskich (Chittaro i in., 2018), czy załóg górniczych (Łagosz i in., 2021).

Zastosowanie wirtualnej rzeczywistości, pomimo niewątpliwych zalet, niesie ze sobą również określone wymagania techniczne. Jednym z aspektów, który można tu przytoczyć, jest konieczność odpowiedniego przygotowania pomieszczeń oraz znajdującej się w nich infrastruktury, tak aby osoby zanurzone w wirtualnym świecie nie były narażone na potencjalne zagrożenie (uderzenie w znajdujące się w pomieszczeniu sprzęty lub ściany), a z drugiej, by zapewnić możliwie najwyższy poziom odczuwania realności wytworzonego sztucznie świata. Drugim, bardziej istotnym, jest zapewnienie mocy obliczeniowych niezbędnych do wytworzenia

adekwatnych bodźców, których powinna doświadczać osoba zanurzona w wirtualnej rzeczywistości. Bodźce te oddziałują na narząd wzroku (obrazy stereoskopowe oglądane za pomocą gogli VR), dotyk (wrażenia wytwarzane za pomocą odpowiednich kontrolerów, np. w formie rękawiczki) czy też bodźce fizyczne (drgania, zmiana orientacji przestrzennej, itp.). Wszystkie dostarczane przez system VR bodźce muszą być spójne ze sobą oraz pojawiać się w czasie wystarczająco krótkim, by człowiek odbierał je jako naturalną konsekwencję poruszania się w generowanej komputerowo rzeczywistości. Komputerowe wytwarzanie grafiki pociąga za sobą konieczność przeprowadzenia złożonych obliczeń, pozwalających na określenie kolorów oraz stopnia jasności wszystkich wyświetlanych w goglach VR punktów. Tworzenie takiego obrazu składa się z kilku etapów. Jednym z pierwszych jest zdefiniowanie i umieszczenie w właściwych miejscach sceny trójwymiarowych modeli wszystkich przedmiotów, które będą widoczne dla poruszającego się w wirtualnej rzeczywistości człowieka. Kolejnym jest określenie położenia i charakteru dostępnych źródeł światła oraz charakteru i rodzaju powierzchni poszczególnych przedmiotów. Znaczenie ma tu faktura, sposób odbijania światła, ew. przeźroczystość itp. Dodatkowo uwzględnione muszą być takie efekty, jak zamglenie, zmiana barwy i rozmycie konturów w przypadku daleko położonych obiektów oraz własności obiektów nie będących ciałami stałymi. Obraz musi być generowany z szybkością nie powodującą wrażenia opóźnień nawet przy szybkich ruchach głową osoby ubranej w gogle VR. Samo generowanie bodźców nie wyczerpuje jeszcze w pełni zapotrzebowania na moc obliczeniową. Tworzenie wirtualnej rzeczywistości niesie za sobą konieczność modelowania, i to w czasie rzeczywistym, zachodzących w niej zjawisk fizycznych. Należą do nich interakcje pomiędzy obiektami, ich ruch, destrukcja, ale także np. modelowanie zachowania się płynów czy też futra. W praktyce mocy obliczeniowej na poziomie umożliwiającym sprostanie wspomnianym wymaganiom mogą dostarczyć przede wszystkim centra obliczeniowe wysokiej wydajności (HPC). Występujące w ich przypadku znaczne zrównoleglenie obliczeń oraz możliwość łatwego ich skalowania pozwala na osiągnięcie realizmu generowanych światów na poziomie łudząco zbliżonym do rzeczywistości.

Obecnie najczęściej wykorzystywanymi systemami, służącymi do obsługi aplikacji VR, są systemy określane jako CAVE i HMD. System CAVE (Cave Automated Virtual Environment) został pierwszy raz opisany w 1992 roku (Cruz-Neira i in., 1992) i obejmuje zestaw zewnętrznych projektorów wyświetlających obraz wewnątrz pomieszczenia, sprzężonych z czujnikami pozwalającymi na śledzenie ruchu osoby zanurzonej w VR. System CAVE pozwala osobom go wykorzystującym na fizyczne wejście do pomieszczenia, zwanego często wirtualną jaskinią, wewnątrz którego wyświetlany jest obraz wirtualnego świata. Jak piszą Gzik i in. (Gzik i in., 2013), dzięki zastosowaniu wielościanowej projekcji obrazu stereoskopowego oraz specjalnych okularów osoby znajdujące się wewnątrz takiego pomieszczenia mają możliwość zobaczenia trójwymiarowych, wirtualnych obiektów. Odczucie realizmu w trakcie sesji VR jest bardzo duże, a poruszanie się i korzystanie z pracowni intuicyjne.

Ostateczny odbiór zależy jednak od wielu czynników, w tym przede wszystkim od jakości wygenerowanego obrazu 3D. Jak wynika z pracy *CAVE applications: from craft manufacturing to product line engineering* (Lebiedz & Wiszniewski, 2021), jednym z ograniczeń tego rozwiązania jest potrzeba wykorzystania systemów obliczeniowych wielkiej mocy (HPC) do renderowania obrazu w czasie rzeczywistym. Ponadto analizując możliwości wykorzystania systemów typu CAVE, należy mieć na uwadze, iż ze względu na gabaryty i mnogość elementów składających się na pracownię przemieszczanie jej może się okazać w wielu sytuacjach niemożliwe lub nieopłacalne.

Systemem zdecydowanie bardziej kompaktowym i obecnie coraz bardziej popularnym jest HMD (Head-mounted display), działający w oparciu o zakładany na głowę hełm zawierający dwa wyświetlacze, prezentujące obraz osobno dla każdego oka. Rozwiązanie to pozwala na stworzenie wrażenia trójwymiarowości wyświetlanych treści, a do generowania obrazu w hełmie wystarczy komputer przenośny lub nawet zminiaturyzowana jednostka obliczeniowa zintegrowana z hełmem. Stosunkowo niewielka waga oraz koszt zakupu urządzenia sprawia, iż zdecydowana większość aplikacji VR jest obecnie produkowana właśnie pod ten system. Systemy HMD, poza hełmem oraz komputerem sterującym, mogą wykorzystywać również markery do śledzenia ruchu poszczególnych części ciała oraz zestaw kontrolerów pozwalających na interakcję z wirtualnym światem. Żadne z tych dodatkowych elementów nie są niezbędne, ale ich zastosowanie zwiększa zaangażowanie uczestnika w sesję szkoleniową oraz pozwala na lepsze pozycjonowanie jego postaci w VR. Na szczególną uwagę zasługują kontrolery, które mogą występować w trzech podstawowych formach: trzymane w dłoni manipulatory, rękawice VR oraz kontrolery niestandardowe, zintegrowane z przedmiotem wykorzystywanym w pracach, których dotyczy szkolenie. Manipulatory to najczęściej bezprzewodowe, lekkie i wygodnie leżące w dłoni urządzenia posiadające kilka przycisków, za pomocą których możliwa jest interakcja z wirtualnym otoczeniem. Rękawice VR mogą posiadać wiele funkcji, w tym m.in. sterować oporem stawianym zaciskanym palcom lub generować wibracje poprawiające odczucie dotyku wirtualnego przedmiotu. Kontrolerem niestandardowym może być na przykład drążek sterowania maszyną albo wydruk 3D narzędzia ręcznego lub broni, który dzięki naniesionym markerom jest automatycznie odwzorowywany w czasie rzeczywistym w wirtualnym środowisku.

Poza systemami CAVE i HMD pojawiają się jeszcze w literaturze odniesienia do systemów wykorzystujących standardowe monitory do wyświetlania dwuwymiarowych obrazów. Są one często określane mianem nieimmersyjnych, ponieważ osoba korzystająca z aplikacji w tym systemie ma ciągle kontakt z bodźcami zewnętrznymi (obraz, dźwięk), a co za tym idzie poziom immersji jest zdecydowanie niższy, niż w przypadku dwóch wcześniej opisywanych systemów. Jak wykazali Buttussi i Chittaro (Buttussi & Chittaro, 2018) w pracy *Effects of different types of virtual reality display on presence and learning in a safety training scenario*, zastosowany typ urządzenia wyświetlającego obraz ma istotny wpływ na efekty szkolenia. W więk-

szości przypadków systemy CAVE wywołują największe zaangażowanie uczestników szkoleń i najwyższy poziom immersji. System HMD jest jednak nadal lepszy pod tym kątem od nieimmersyjnych systemów VR.

## Metody i materiały

Jednym z obszarów intensywnego wykorzystania obliczeń o wysokiej wydajności jest tworzenie rozwiązań VR. Zastosowanie tej technologii było rozważane już na początku XXI wieku, choć przez wzgląd na dostępne technologie wiele z proponowanych obszarów miało szansę zaistnieć dopiero po skonstruowaniu odpowiednio wydajnych superkomputerów oraz procesorów graficznych (Leng, 2001). Obszary zastosowań generowanych przy użyciu wysokowydajnego sprzętu modeli VR to między innymi medycyna (diagnostyka, planowanie zabiegów chirurgicznych), wizualizacja danych i rezultatów prac naukowo badawczych (wizualizacja rezultatów obliczeń numerycznej mechaniki płynów, modelowanie i wizualizacja molekuł i reakcji chemicznych, obliczenia i wizualizacje z dziedziny geofizyki, itp.). Nie sposób nie wspomnieć tu również o zastosowaniach przemysłowych, takich jak np. wydobycie paliw kopalnych czy też energetyka (Bernal i in., 2022). Istotnymi obszarami są też architektura, inżynieria czy też budownictwo (Delgado i in., 2020). W dalszej części rozważone zostaną wybrane aspekty modelowania VR wraz z wspierającym obliczenia sprzętem klasy HPC.

Wirtualna rzeczywistość stwarza możliwość zanurzenia się użytkownika w świecie wygenerowanym cyfrowo. O jakości rozwiązania świadczy przede wszystkim odczucie, jakiego doznaje użytkownik. Im bardziej jest on w stanie zagłębić się i postrzegać generowany przez superkomputery świat jako swoje rzeczywiste otoczenie, tym większe spodziewane efekty zastosowania VR. Stwarza to duże i dostrzegane możliwości zastosowania VR w różnych obszarach edukacji. Jednym z obszarów jest np. wsparcie w naukach medycznych (Kasurinen, 2017) czy pielęgniarstwo (Davis, 2009). Innym przykładem może być tutaj obszar działalności inżynierii, a w szczególności te jego dziedziny, gdzie trudno bez ponoszenia wysokich kosztów osiągnąć poziom intuicyjnego rozumienia zachodzących procesów. Czasem w ogóle może nie być to możliwe ze względu na panujące warunki fizyczne, wykluczające interakcję, a przez to naukę na zasadzie eksperymentowania. Taką dziedziną jest np. inżynieria chemiczna, gdzie zastosowanie VR połączonego z HPC daje unikatową możliwość „wejrzenia” w naturę zachodzących procesów niejako we wnętrzu reaktora (Solmaz & Van Gerven, 2022). Ciekawym przykładem zastosowania może być symulacja warunków oświetleniowych w pomieszczeniach i dzięki oparciu interakcji z użytkownikiem o rozwiązania VR umożliwienie mu bezpośredniego odczucia komfortu przy każdym z rozważanych wariantów (Moscoso i in., 2022). Możliwość oddziaływania wirtualnej rzeczywistości na emocje oraz na subiektywne odczucia otworzyła możliwość zastosowania tej technologii podczas rehabilitacji. Jest to szczególnie istotne w przypadku osób poddawanych uciążliwemu leczeniu, takiemu jak np. chemioterapia (Chirico i in., 2020).

Zastosowanie wirtualnej rzeczywistości, a także rozszerzonej rzeczywistości jest obiecującym kierunkiem badań dotyczących kształtowania interakcji człowiek – komputer. Szczególnego znaczenia nabierają tu możliwości oferowane przez rozwiązania VR w kontekście wszechobecnego Internetu rzeczy (IoT) (Lv, 2020). Dane dostarczane przez rozproszone i praktycznie wszechobecne detektory i urządzenia muszą być gromadzone w oparciu o centra danych, a następnie przetwarzane przez węzły HPC. Aby jednak możliwe było ich wykorzystanie przez użytkownika, muszą być przetransformowane do komunikatywnej i prostej w interpretacji formy. Tę rolę pełnią właśnie systemy VR wspierane przez zaplecze serwerowe HPC.

Jednym z istotnych, choć często niezauważanych obszarów związanych z tworzeniem rozwiązań VR, jest otoczenie akustyczne (Serafin i in., 2015). Interakcja ze światem wirtualnym i reprezentowanym przez niego środowiskiem nie może być w pełni realizowana, jeśli użytkownik nie jest zanurzony również w odpowiednio obsługiwanej atmosferze akustycznej. Percepcja soniczna odgrywa istotną rolę w postrzeganiu otaczającego świata, choć w przeciwieństwie do wzroku słuch nie jest aż tak dominującym zmysłem. Warto jednak zwrócić uwagę na duże możliwości ludzkiego organizmu związane z przestrzennością słyszenia. Scena akustyczna musi być spójna z sceną wizyjną zarówno w aspekcie lokalizacji źródeł dźwięku, ich potencjalnego rozproszenia oraz tłumienia. Ponieważ aspekty te związane są z fizycznymi (akustycznymi) parametrami środowiska, konieczne jest najczęściej dostarczenie fali akustycznej wprost do kanału słuchowego. Takie rozwiązanie pozwala na uniknięcie zaburzeń wprowadzanych przez pomieszczenie, w którym znajduje się użytkownik. Niesie to jednak konieczność modelowania interakcji otoczenia z falą dźwiękową emitowaną przez źródła, a to z kolei praktycznie wymusza zastosowanie wysokowydajnego sprzętu obliczeniowego (w szczególności HPC).

Wykorzystywanie technologii VR w edukacji wymaga odpowiedniego podejścia do opracowania aplikacji szkoleniowych. Ważnym elementem takiej produkcji jest stworzenie scenariusza szkolenia, który opisywał będzie zarówno kwestie merytoryczne, sposób poprowadzenia fabuły szkolenia, a także różne warianty interakcji pomiędzy uczestnikami szkolenia a wirtualnym otoczeniem. Ponadto, jak zaproponowano w pracy *Metoda tworzenia scenariuszy szkoleń górniczych w wirtualnej rzeczywistości*, w oparciu o faktycznie zaistniałe zdarzenia wypadkowe (Łagosz i in., 2022) scenariusz szkolenia powinien również wykorzystywać odpowiednio dobrane metody aktywizujące, które mają potencjał, aby aplikować je do środowiska VR. W pracy wskazano zarówno na zasadność budowania aplikacji na podstawie modelu Cyklu Kolba, jak i na elementach neurodydaktyki oraz pedagogiki przeżyć. Jak zaproponowano w pracy *Creation of Interactive Virtual Reality Scenarios as a Training and Education Tool* (Nasyrov & Excell, 2020), scenariusze szkoleń mogą zawierać dwa warianty rozwoju wydarzeń dla każdego zdarzenia – jeden obejmujący normalne funkcjonowanie stanowiska pracy, a drugi obejmujący awarię systemu. Uczestnik przystępując do szkolenia, może każdorazowo wybierać, którą z wersji scenariusza chciałby przetrenować. Przykładem tworzenia szkoleń zawo-

dowych w oparciu o rozbudowane scenariusze jest opisana przez Bernal i in. w pracy *An Immersive Virtual Reality Training Game for Power Substations Evaluated in Terms of Usability and Engagement* (Bernal i in., 2022) aplikacja służąca do szkolenia użytkowników stacji elektroenergetycznych. Scenariusz, na którym oparte zostało szkolenie, wykorzystuje realistyczne modele 3D zainstalowane w stacji 115 kV, a zaplanowane dla uczestników zadania szkoleniowe pozwalają na trenowanie wielu niezbędnych na tym stanowisku umiejętności.

Poza scenariuszem szkolenia jednym z kluczowych czynników wpływających zarówno na poprawę odbioru treści szkolenia przez jego uczestników, jak i na zmniejszenie zmęczenia powodowanego przez VR jest wysokiej rozdzielczości, płynnie generowany obraz 3D. Na etapie tworzenia obrazu, szczególnie modeli i scenerii 3D, wykorzystanie centrów obliczeniowych wielkich mocy (HPC) pozwala zaoszczędzić czas produkcji i zoptymalizować wykorzystanie dostępnych zasobów ludzkich. Wykorzystanie przygotowanego materiału graficznego różni się już jednak w zależności od zastosowanego systemu VR. W przypadku HMD moc obliczeniowa oferowana przez dobre komputery osobiste jest wystarczająca. Zastosowanie systemu CAVE sprawia jednak, że wykorzystanie klastrów komputerowych znajduje już mocne uzasadnienie. Jednym z centrów, w którym zintegrowano system CAVE z HPC, jest laboratorium Politechniki Gdańskiej. Jak opisują Lebieź i Wiszniewski (Lebieź & Wiszniewski, 2021) w pracy *CAVE applications: from craft manufacturing to product line engineering*, zarówno średni, jak i pełnoskalowy system CAVE zainstalowany w tej uczelni pracuje w oparciu o moc obliczeniową HPC. CAVE zainstalowany w Politechnice Gdańskiej to pomieszczenie zbudowane z ekranów, na których wyświetlany jest zsynchronizowany trójwymiarowy obraz wirtualnego środowiska. Całość jest zaprojektowana w taki sposób, że uczestnikowi zanurzonemu w wirtualnym świecie wydaje się, że znajduje się w jego wnętrzu. Widzi obraz 3D, a dzięki zastosowaniu sferycznego symulatora chodu przemieszczanie się następuje w bardzo naturalny sposób. Zainstalowane oprogramowanie, sensory oraz moc obliczeniowa klastra HPC pozwalają na wykrywanie ruchu i bieżące tworzenie obrazu widzianego z perspektywy użytkownika. Oznacza to, że użytkownik może przemieszczać się na dowolne odległości, a nawet szybkie tempo ruchu nie wpływa negatywnie na jakość i odświeżanie generowanych obrazów.

Kolejnym przykładem wykorzystania mocy obliczeniowych centrum HPC jest Laboratorium Wizualizacji i Wirtualnej Rzeczywistości IT4Innovations (IT4I) działające w ramach struktury Uniwersytetu Technicznego w Ostrawie VSB-TUO (Technical University of Ostrava, IT4Innovations, 2022). Zainstalowana aparatura służy do wizualizacji treści 3D przy użyciu najnowszych technologii dostępnych w obszarach wielkoskalowej projekcji 3D i VR. Laboratorium współpracuje z ekspertami i naukowcami z różnych dziedzin naukowych, a efektem ich wspólnej pracy jest wizualizacja obliczeń wielkoskalowych o bardzo wysokiej jakości i rozdzielczości. Zainstalowane w IT4I maszyny to superkomputer NVIDIA DGX-2 służący głównie do działań w obszarze rozwoju sztucznej inteligencji o teoretycznej wydajności

szczytowej 130 TFlop/s, superkomputer Barbora, o teoretycznej wydajności szczytowej 849 TFlop/s oraz najnowszy superkomputer Karolina o szczytowej wydajności 15,7 PFlop/s.

Rozwój metod i narzędzi tworzenia wirtualnej rzeczywistości zaowocował w ostatnich latach opracowaniem dwóch niezależnych, ale uzupełniających się rozwiązań, stanowiących platformę do rozwoju świata wirtualnego wraz z osadzonym w nim modelem działalności biznesowej. Rozwiązaniem takim jest na pewno zaproponowane przez producenta rozwiązań sprzętowych dedykowanych do obliczeń równoległych oraz grafiki komputerowej, firmę NVIDIA, środowisko Omniverse. Ułatwia ono rozwój modeli wirtualnej rzeczywistości, co jest już obecnie wykorzystywane choćby w pracach naukowych (Hummel & Kooten, 2019). W oparciu o tę platformę można tworzyć zaawansowane rozwiązania związane z opracowaniem cyfrowego modelu obserwowanego świata rzeczywistego, by w oparciu o tak utworzony model przeprowadzać następnie badania i np. testować różne scenariusze interakcji z modelowaną rzeczywistością. Platforma Omniverse w sposób naturalny wykorzystuje zasoby sprzętowe, w tym dedykowane procesory strumieniowe firmy NVIDIA. Innym rozwiązaniem jest platforma Metaverse (Mystakidis, 2022). Rozwijana przez firmę Meta (dawniej Facebook), jest wyjściem w kierunku stworzenia unormowanej platformy VR dedykowanej do zastosowań biznesowych oraz społecznych. Wydaje się, że w sytuacji znaczącego nasycenia technologiami IT i cyfryzacją otaczającego nas świata jest to naturalny krok w rozwoju usług i biznesu. Nie sposób nie wspomnieć tutaj o socjalnym aspekcie i możliwości spotkań w świecie wirtualnej rzeczywistości. Dzięki wsparciu metod bazujących na sztucznej inteligencji możliwe jest przełożenie na awatara, reprezentującego w świecie wirtualnym użytkowników z świata rzeczywistego, szerokiego spektrum zachowań oraz ekspresji stanów emocjonalnych. Możliwe wreszcie jest zniwelowanie często występującej bariery językowej dzięki zastosowaniu metod NLP (Natural Language Processing) i NLT (Natural Language Translation). Wspomniane metody nieodłącznie związane są z dużym zapotrzebowaniem na moc obliczeniową, co czyni centra HPC naturalnymi zasobami sprzętowymi dla tych rozwiązań. Można antycypować, że rozwój rozwiązań typu Omniverse i Metaverse będzie stymulował rozwój HPC oraz że rynek wykorzystania HPC w komercyjnych zastosowaniach będzie się dynamicznie rozwijał.

## Wyniki i dyskusja

Rozwój aplikacji VR służących do szkolenia zawodowego oraz dążenie przez ich twórców do zapewnienia coraz lepszych i bardziej realistycznych wirtualnych środowisk sprawia, iż zwiększa się zapotrzebowanie na moce obliczeniowe wykorzystywanych komputerów. Zarówno jakość grafiki, jak i liczba oraz poziom skomplikowania możliwych interakcji uczestnika szkolenia w wygenerowanym wirtualnym środowisku pracy przyczyniają się do tego trendu. Tworzenie środowisk do rozwoju treści VR, takich jak Omniverse czy Metaverse, może w przyszłości być również potencjalnym obszarem wykorzystania mocy obliczeniowych centrów HPC.



Z przeprowadzonej analizy wynika, że na etapie produkcyjnym wykorzystanie HPC może przyspieszyć i zoptymalizować proces tworzenia dużych i skomplikowanych modeli 3D. Ponadto w systemach CAVE VR wykorzystanie klastrów HPC znajduje zastosowanie do jednoczesnego generowania i synchronizowania obrazów wyświetlanych na wielkoformatowych ekranach. Kolejnym przykładem wykorzystania systemów obliczeniowych dużej mocy w procesie tworzenia treści VR oraz prezentacji modeli 3D o dużej rozdzielczości są prowadzone w czasie rzeczywistym wizualizacje.

Należy jednak również zauważyć, że przeważająca liczba produkcji VR jest tworzona w oparciu o mocne komputery osobiste. Korzyści wynikające z ich dużej dostępności oraz łatwości wykorzystania powodują, że producenci aplikacji VR oraz gier video w zdecydowanej większości wykorzystują to rozwiązanie. Szczególnie, jeżeli materiał ma być docelowo wyświetlany w powszechnie stosowanych systemach HMD. Wydaje się, iż stosowanie systemów obliczeniowych dużej skali znajdować będzie niszowe zastosowania, głównie w pracowniach VR budowanych na systemach CAVE oraz do renderowania modeli 3D dużych rozdzielczości.

*Artykuł został opracowany w związku z realizacją pracy statutowej GIG o numerze 11186022-070 pt. Opracowanie modelu funkcjonowania w GIG Centrum wiedzy i kompetencji cyfrowych Silesian High Performance Computing Center, wspierającego transformację cybernetyczną województwa śląskiego.*

## Bibliografia

1. Bernal I.F.M., Lozano-Ramírez N.E., Cortés J.M.P., Valdivia S., Muñoz R., Aragón J., García R., & Hernández G. (2022), An Immersive Virtual Reality Training Game for Power Substations Evaluated in Terms of Usability and Engagement. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(2). Scopus. <https://doi.org/10.3390/app12020711>.
2. Borsci S., Lawson G., Broome S. (2015), Empirical evidence, evaluation criteria and challenges for the effectiveness of virtual and mixed reality tools for training operators of car service maintenance. *Computers in Industry*, 67, 17–26. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2014.12.002>.
3. Buttussi F., Chittaro L. (2018), Effects of Different Types of Virtual Reality Display on Presence and Learning in a Safety Training Scenario. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 24(2), 1063–1076. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2017.2653117>.
4. Chirico A., Maiorano P., Indovina P., Milanese C., Giordano G., Alivernini F., Iodice G., Gallo L., De Pietro G., Lucidi F., & others. (2020), Virtual reality and music therapy as distraction interventions to alleviate anxiety and improve mood states in breast cancer patients during chemotherapy. *Journal of cellular physiology*, 235(6), 5353–5362.
5. Chittaro L., Corbett C.L., McLean G.A., & Zangrando N. (2018), Safety knowledge transfer through mobile virtual reality: A study of aviation life preserver donning. *Safety Science*, 102, 159–168. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.10.012>.
6. Cruz-Neira C., Sandin D.J., DeFanti T.A., Kenyon R.V., & Hart J.C. (1992), The CAVE: Audio visual experience automatic virtual environment. *Communications of the ACM*, 35(6), 64–72. <https://doi.org/10.1145/129888.129892>.
7. Davis R.L. (2009), Exploring possibilities: Virtual reality in nursing research. *Research and theory for nursing practice*, 23(2), 133–147.

8. Delgado J.M.D., Oyedele L., Demian P., & Beach T. (2020), A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction. *Advanced Engineering Informatics*, 45, 101122.
9. Grabowski A. (2021), Practical skills training in enclosure fires: An experimental study with cadets and firefighters using CAVE and HMD-based virtual training simulators. *Fire Safety Journal*, 125, 103440. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2021.103440>.
10. Gzik M., Wodarski P., Jozsko K., Stachowiak E., Bieniek A. (2013), Przykład implementacji systemów trackingowych oraz sytemu Cave w procesach rehabilitacyjnych dzieci. *Aktualne Problemy Biomechaniki Zeszyty naukowe Katedry Biomechatroniki*.
11. Hummel M., & Kooten K. van. (2019), Leveraging nvidia omniverse for in situ visualization. *International Conference on High Performance Computing*, 634–642.
12. Kasurinen J. (2017), Usability issues of virtual reality learning simulator in healthcare and cybersecurity. *Procedia computer science*, 119, 341–349.
13. Lebiecz J., Wiszniewski B. (2021), CAVE applications: From craft manufacturing to product line engineering. *Proceedings of the 27<sup>th</sup> ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, 1–2. <https://doi.org/10.1145/3489849.3489948>.
14. Leng J. (2001), Scientific examples of Virtual Reality and visualization applications. *UK High Performance Computing*, 1–13.
15. Lv Z. (2020), Virtual reality in the context of Internet of Things. *Neural Computing and applications*, 32(13), 9593–9602.
16. Łagosz S., Kaźmierczak K., Sobczak D., & Urbanek A. (2022), Metoda tworzenia scenariuszy szkoleń górniczych w wirtualnej rzeczywistości, w oparciu o faktycznie zaistniałe zdarzenia wypadkowe. *Edukacja ustawiczna dorosłych*, 2/2022.
17. Łagosz S., Litwa P., Kaźmierczak K. (2021), *SENSE VR – creating complex training scenarios for virtual reality*. The Fifth International Symposium on Mine Safety Science and Engineering (ISMSSE2021).
18. Moscoso C., Nazari M., & Matusiak B.S. (2022), Stereoscopic Images and Virtual Reality techniques in daylighting research: A method-comparison study. *Building and Environment*, 214, 108962.
19. Mystakidis S. (2022), Metaverse. *Encyclopedia*, 2(1), 486–497.
20. Nasyrov R., Excell P. (2020), *Creation of Interactive Virtual Reality Scenarios as a Training and Education Tool* (s. 353–369). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-42097-0\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-030-42097-0_19).
21. Serafin S., Nordahl R., Erkut C., Geronazzo M., Avanzini F., & de Götzen, A. (2015), Sonic interaction in virtual environments. *2015 IEEE 2nd VR Workshop on Sonic Interactions for Virtual Environments (SIVE)*, 1–2.
22. Solmaz S., Van Gerven T. (2022), Interactive CFD simulations with virtual reality to support learning in mixing. *Computers & Chemical Engineering*, 156, 107570.
23. Stępnikowski A.W. (2021), Virtual Reality learning retention in education and trainings. *Edukacja Ustawiczna Dorosłych*, 115(4), 55–61.
24. Technical University of Ostrava, IT4Innovations. (2022), *Visualization and Virtual Reality Labs*. IT4Innovations. <https://www.it4i.cz/en/infrastructure/visualization-and-virtual-reality-labs>

**Szymon Łagosz**

Główny Instytut Górnictwa; [slagosz@gig.eu](mailto:slagosz@gig.eu)

**dr inż. Sebastian Iwaszenko**

Główny Instytut Górnictwa