

# Wyposażenie i zastosowania Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej

(Equipment and Applications of Immersive 3D Visualization Lab)

dr inż. JACEK LEBIEDŹ

Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki,  
Katedra Inteligentnych Systemów Interaktywnych

## Streszczenie

Poniższy tekst przedstawia Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej powstałe niedawno przy Wydziale Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej i możliwości jego wykorzystania w różnych dziedzinach ludzkiej aktywności.

**Słowa kluczowe:** rzeczywistość wirtualna, jaskinie rzeczywistości wirtualnej, symulatory chodu

## Abstract

The following text presents the newly created Immersive 3D Visualization Lab at the Faculty of Electronics, Telecommunications and Informatics of Gdańsk University of Technology and the possibilities of its use in various fields of human activity.

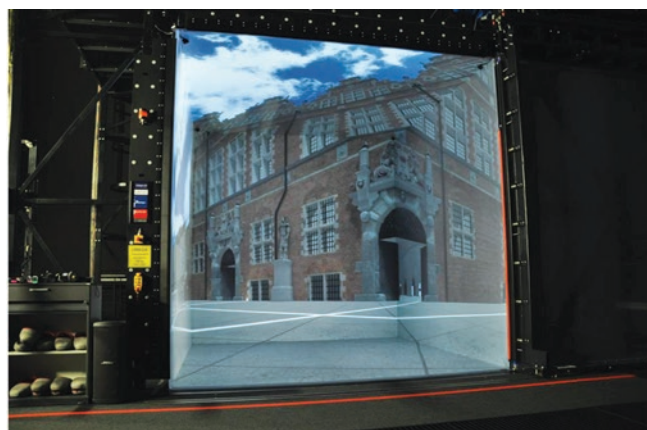
**Keywords:** virtual reality, VR caves, walk simulators

## Prezentacja LZWP

Uruchomione 5 grudnia 2014 r. Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej (LZWP) [3] sfinansowano z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko (projekt „Nowoczesne Audytorium Politechniki Gdańskiej”, 2009–2014).

Podstawowym urządzeniem Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej jest sześcienna jaskinia rzeczywistości wirtualnej, czyli instalacja typu CAVE (ang. *Cave Automatic Virtual Environment*). W ogólności mianem tym określa się prostopadłościenną pomieszczenie, którego ściany (niezwykle rzadko również podłoga i sufit) stanowią ekrany projekcyjne 3D. Działanie takiej jaskini polega na równoległej zewnętrznej projekcji obrazu trójwymiarowego na jej ściany, często połączonej z generacją dźwięku przestrzennego. W związku z tym że obraz i dźwięk otaczający uczestnika symulacji generowany jest z uwzględnieniem położenia jego głowy (oczu i uszu), człowiek przebywając w jaskini odnosi wrażenie znajdowania się w wykreowanym przez komputer świecie.

Jaskinia rzeczywistości wirtualnej znajdująca się w Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej składa się z sześciu kwadratowych ekranów akrylowych (jedynie podłoga jest szklano-akrylowa) o rozmiarach 3,4 m × 3,4 m (rys. 1). Jeden z pionowych ekranów osadzony jest na mechanizmie pozwalającym na odsuwanie i zasuwanie, umożliwiając w ten sposób wejście do jaskini. Na każdy ekran wyświetlane są obrazy z 2 projektorów Barco Galaxy NW-7 o rozdzielczości 1920 × 1200, co po zastosowaniu techniki blendingu daje łączną rozdzielczość wizualizacji na jednym ekranie 1920 × 1920. Wrażenie trójwymiarowości uzyskuje się dwiema alternatywnymi technologiami stereoskopii: aktywną Nvidia 3D Vision Pro i pasywną z selekcją widma Active Infitec+. Każdym projektorem steruje osobny komputer PC wyposażony w kartę graficzną Nvidia Quadro K5000. Dodatkowe komputery synchronizują ich działanie, a także nadzorują śledzenie uczestnika symulacji (obraz dostosowywany jest do pozycji jego głowy), odpowiadają za generację dźwięku przestrzennego i obsługują omówiony dalej sferyczny symulator chodu. Wszystkie komputery połączone są dwiema alternatywnymi sieciami: Ethernet 1 Gb/s i Infini-

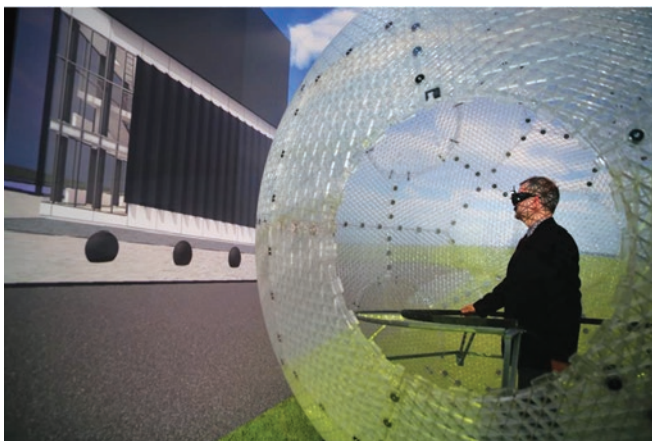


Rys. 1. Duża jaskinia rzeczywistości wirtualnej w LZWP (fot. J. Lebieź)

Fig. 1. The Big CAVE in I3DVLab

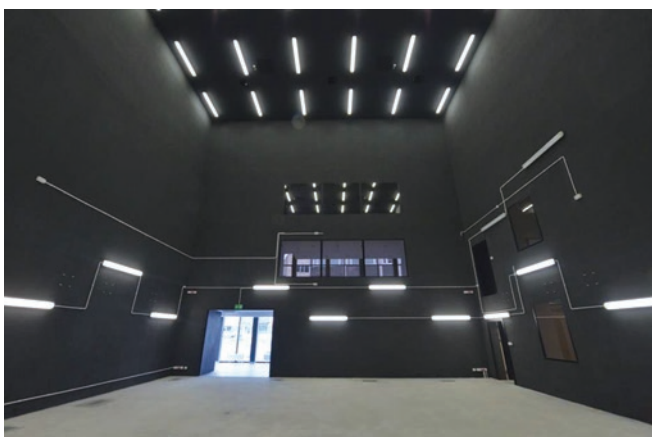
Band 40 Gb/s. Dźwięk generowany jest przez 8 głośników Bose umieszczonych w górnych narożnikach jaskini i jeden głośnik superniskotonowy (ang. *subwoofer*) na zewnątrz. Użytkownika w jaskini śledzą cztery kamery Art na podczerwień umieszczone w jej górnych narożnikach.

Uczestnik symulacji w jaskini rzeczywistości wirtualnej może chodzić po jej wnętrzu, a więc i w kreowanym w niej świecie, ale jedynie w obrębie jej ścian. Może też przemierzać świat wirtualny w sposób mniej naturalny, choć nieograniczony, sterując trzymany w dłoni kontrolerem ruchu (ang. *flystick*, *wand*). Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej dysponuje jednak unikatowym w skali światowej rozwiązaniem pozwalającym na naturalny i jednocześnie nieograniczony marsz przez świat wirtualny. Możliwość tej dostarcza sferyczny symulator chodu (ang. *Spherical Walk Simulator*) i specjalnie opracowany na potrzeby laboratorium mechanizm wprowadzania go do wnętrza jaskini. Sferyczny symulator chodu ma postać przezroczystej sfery obracanej krokami człowieka znajdującego się w jej wnętrzu. Po wstawieniu go do wnętrza jaskini użytkownik obracający sferę własnymi krokami może wędrować przez świat wirtualny obser-



**Rys. 2. Sferyczny symulator chodu wewnątrz dużej jaskini w LZWP (fot. D. Patschull)**

**Fig. 2. The spherical walk simulator inside the Big CAVE in I3DVLab**



**Rys. 3. Hala LZWP przed montażem dużej jaskini rzeczywistości wirtualnej (fot. K. Krzempek)**

**Fig. 3. Hall of I3DVLab prior to assembly of the Big CAVE**

wowany na ścianach jaskini (rys. 2). W ten sposób sferyczny symulator chodu zaprojektowany do korzystania z kasku rzeczywistości wirtualnej HMD (ang. *Head Mounted Display*) stanowi także kontroler ruchu w jaskini rzeczywistości wirtualnej, pozwalając na uzyskanie głębszego zanurzenia w środowisku wirtualnym.

Jako sferyczny symulator chodu używane jest urządzenie Virtusphere [7]. Mechanizm wprowadzania do jaskini i wyprowadzania z niej sferycznego symulatora chodu został specjalnie opracowany na potrzeby LZWP. Chroni on ściany jaskini o boku 3,4 m przed uderzeniem sferycznego symulatora chodu o średnicy 3,05 m.

Dzięki wyśrubowanym parametrom Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej nie ma sobie równych w Polsce, a i niewiele instalacji na świecie może się z nim równać. LZWP zawiera jedyną w Polsce pełną jaskinię rzeczywistości wirtualnej, dzięki sześciu ścianom-ekranom zapewniającym obraz ze wszystkich stron. Jest to również jedyna w Polsce jaskinia wykonana ze sztywnych (nieelastycznych) ekranów. Co więcej, pozwala na zastosowanie dwóch alternatywnych metod stereoskopii [6]. Wyjątkowość LZWP wzmaga dodatkowo unikatowa w skali światowej (nie ma na świecie takiego drugiego rozwiązania) dostępność nawigacji w jaskini rzeczywistości wirtualnej za pomocą sferycznego symulatora chodu. Nie wyklucza to jednak możliwości używania jaskini rzeczywistości wirtualnej również bez sferycznego symulatora

chodu, czyli w sposób typowy (chodzenie między ścianami, sterowanie nawigacją za pomocą kontrolerów ruchu trzymany w dłoni). Pozwala na to specjalnie zaprojektowany i opracowany mechanizm wprowadzania i wyprowadzania sferycznego symulatora chodu do i z jaskini rzeczywistości wirtualnej [2].

Dla LZWP zaprojektowano i wykonano specjalny budynek z sześciennym pomieszczeniem o boku 12,5 m (rys. 3), w którym zamontowano jaskinię wraz z projektorami z wszystkich jej stron. Do jaskini prowadzi z wysokości pierwszego piętra podest, na którym można przechowywać i niezależnie użytkować sferyczny symulator chodu (z kaskiem rzeczywistości wirtualnej).

W Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej znajduje się ponadto mniejsza jaskinia rzeczywistości wirtualnej o trzech ścianach i podłodze (rys. 4), wyposażona w systemy śledzenia ciała. Dodatkowo LZWP dysponuje minijaskinią zbudowaną z czterech monitorów (rys. 5) oraz pojedynczymi stanowiskami do celów deweloperskich. Wykorzystanie analogicznych rozwiązań konstrukcyjnych umożliwia stosowanie zasady skalowalności i pozwala na łatwą migrację aplikacji od prostych stanowisk do złożonych systemów rzeczywistości wirtualnej. Usprawnia to znacznie proces przygotowywania symulacji dla potrzeb LZWP.



**Rys. 4. Średnia jaskinia rzeczywistości wirtualnej w LZWP (fot. J. Lebieź)**

**Fig. 4. The Midi CAVE in I3DVLab**



**Rys. 5. Mała jaskinia rzeczywistości wirtualnej w LZWP (fot. J. Lebieź)**

**Fig. 5. The Mini CAVE in I3DVLab**

## Możliwości LZWP

Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przemysłowej dostarcza mechanizmów pozwalających na głębokie zanurzenie człowieka w dowolnie wykreowanym świecie wirtualnym. W związku z tym możliwe jest wykorzystanie LZWP w różnych dziedzinach ludzkiej działalności, zwłaszcza tam gdzie korzystanie ze środowiska rzeczywistego jest kosztowne lub niebezpieczne, czy też wiąże się z jakimiś innymi istotnymi trudnościami. Potencjał LZWP pozwala zatem na efektywne szkolenie inspektora okrętowego bez nadmiernej wizytowania rzeczywistych kadłubów okrętowych, wydajny trening żołnierza piechoty bez częstego organizowania dla niego wyjazdów na poligon, wreszcie skuteczną terapię fobii bez wystawiania pacjenta na oddziaływanie realnego, często niesterowalnego bodźca.

Najbardziej oczywistym zastosowaniem jaskiń rzeczywistości wirtualnej wydaje się wizualizacja jakiegoś obiektu lub zespołu obiektów z możliwością nawigacji i obserwacji z różnych stron. Dotyczy to zarówno obiektów planowanych (wirtualne prototypowanie), jak i odległych w czasie lub przestrzeni (wirtualna turystyka), czy też będących w jakiejś mierze abstrakcją (wizualizacja naukowa). W ten sposób można więc wizytować projektowany budynek (rys. 6), a nawet badać, jak się wkomponowuje w otoczenie (rys. 7) [5]. Można też analizować wygląd nowo opracowywanego pojazdu, zarówno z zewnątrz, jak i wnikając do jego wnętrza, by



Rys. 6. Zwiedzanie wnętrza budynku w dużej jaskini w LZWP (fot. J. Lebieź)  
Fig. 6. Exploration of the interior of the building in the Big CAVE in I3DVLab



Rys. 7. Spacer wśród planowanych budynków w dużej jaskini w LZWP (fot. J. Lebieź)  
Fig. 7. Walk among the planned buildings in the Big CAVE in I3DVLab



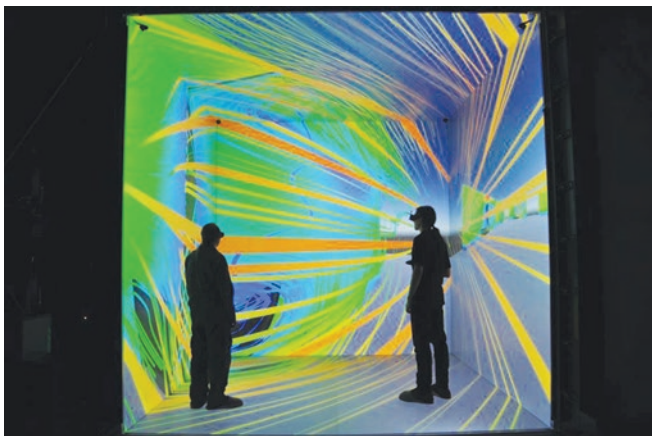
Rys. 8. Bursztynowa Komnata z pajakiem (u góry z lewej) w dużej jaskini w LZWP (fot. J. Lebieź)  
Fig. 8. The Amber Room with the spider (in the top left corner) in the Big CAVE in I3DVLab



Rys. 9. Eksperymenty z białkiem w dużej jaskini w LZWP (fot. J. Lebieź)  
Fig. 9. Experiments with the protein in the Big CAVE in I3DVLab

ocenić przyjazność jego deski rozdzielczej. Można ponadto zwiedzić zabytki starożytnej Palmyry zarówno w pełnej krasie w stanie pierwotnym, jak i tym zachowanym jeszcze do niedawna jako pozostałości minionej świetności. Można także podziwiać piękno zaginionej podczas II Wojny Światowej Komnaty Bursztynowej bez konieczności pieczołowitego jej odtwarzania w bursztynie (rys. 8). Można również spojrzeć na Układ Słoneczny z perspektywy dowolnej jego planety lub na cząsteczkę chemiczną z pozycji jej elektronu (rys. 9). Można w końcu podejrzeć przedstawione za pomocą kolorowych wstęg zachowanie strumienia powietrza opływającego pojazd podczas jego ruchu i w ten sposób ocenić jego opływowość (rys. 10).

Poza wymienionymi zastosowaniami wizualizacja w jaskini rzeczywistości wirtualnej pozwala też na analizę wpływu wyglądu otoczenia na zachowania i emocje ludzi. Można więc na przykład zaprosić grupę potencjalnych nabywców jakiegoś dobra do wizyty w wirtualnym sklepie, gdzie prezentuje się im na półkach różne postaci opakowań produktu. Ankieta wykonana po takiej wizycie pozwala ustalić ich atrakcyjność. Wizualizację można ponadto wykorzystać do zmniejszania wrażliwości człowieka na otaczający go świat, zwłaszcza w przypadkach patologicznych lęków. Można zatem oswajać z pajakami (rys. 7) pacjentów cierpiących na arachnofobię, czy z wysokością (rys. 11) – osoby skarżące się na akrofobię [1]. Udział w wizualizacjach przygotowanych zgodnie z zale-



**Rys. 10. Wizualizacja przepływu powietrza wokół żagłówki w dużej jaskini w LZWP (fot. J. Lebiedź)**  
**Fig. 10. Visualization of airflow streamlines around the sailboat in the Big CAVE in I3DVLab**



**Rys. 11. Terapia akrofobii (lęku wysokości) w dużej jaskini w LZWP (fot. J. Lebiedź)**  
**Fig. 11. Treatment of acrophobia (fear of heights) in the Big CAVE in I3DVLab**

ceniami terapeuty pozwala w wielu przypadkach na znaczne wygaszenie lęku. Dotyczy to również syndromu stresu pourazowego PTSD (ang. *Posttraumatic Stress Disorder*), bardzo częstego u weteranów wojennych. Doświadczenie pokazuje, że odtworzenie w środowisku wirtualnym traumatycznych dla weterana wydarzeń przynosi mu ukojenie i ułatwia radzenie sobie z przeżyciami, będącymi źródłem urazu psychicznego.

Przedstawione powyżej przykłady wykorzystania rzeczywistości wirtualnej oferowanej przez LZWP zakładają niewielką aktywność uczestnika symulacji sprowadzającą się głównie do nawigacji przez wizualizowany świat wirtualny, postrzegany w dużej mierze jako statyczny, a przynajmniej jako niezależny od użytkownika. Możliwe są jednak symulacje, podczas których użytkownik będzie aktywnie wpływać na ich przebieg. Odwołując się do przykładu ukazującego wspomaganie terapii fobii, można tak oprogramować wirtualny bodziec lękowy (dajmy na to pająka), by reagował odpowiednio na stany emocjonalne człowieka – wycofywał się, gdy pacjent sygnalizuje strach, i zbliżał się, gdy okazuje on akceptację [8]. Interakcja wychodząca poza nawigację daje więc nowe możliwości.

Jaskinie rzeczywistości wirtualnej służą często jako poligony wirtualne. Żołnierz wyposażony w sprzęt imitujący broń ręczną uczestniczy wówczas w odbywającej się w przestrzeni wirtualnej walce z wirtualnym wrogiem. Wspomagać go mogą inni żołnierze obecni w jaskini, a także wirtualni sojusz-

nicy. Co więcej, wspomagać (ewentualnie zwalczać) go mogą uczestnicy symulacji korzystający z innych, połączonych siecią urządzeń rzeczywistości wirtualnej – jaskiń, kasków HMD, symulatorów pojazdów (samolotów, czołgów), symulatorów stanowisk ogniowych, uczestnicząc w ten sposób we wspólnej symulacji rozproszonej na wszystkie te urządzenia. Obecny w jaskini żołnierz postrzega więc awatary swoich kolegów ćwiczących w innych jaskiniach, czy też z użyciem kasków HMD, oprócz tego wirtualne pojazdy i stanowiska ogniowe sterowane (ruch i ogień) przez ich załogi znajdujące się w odpowiednich symulatorach. Oczywiście reszta uczestników symulacji również obserwuje na wyświetlaczach swoich stanowisk ćwiczebnych wirtualne odpowiedniki pozostałych ćwiczących.

Przemieszczanie się jest nieodzownym elementem walki zwłaszcza piechura. Chodzenie w jaskini rzeczywistości wirtualnej jest jednak ograniczone jej ścianami, natomiast nawigacja z użyciem kontrolera trzymanego w dłoni wydaje się nieakceptowalna z powodu jej nienaturalności. Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej dysponuje jednak rozwiązaniem, którego pozbawione są inne jaskinie, pozwalającym na nieograniczony marsz, a nawet bieg w świecie wirtualnym. Jest to opisany wyżej sferyczny symulator chodu, który może zostać wstawiony do wnętrza jaskini. Ćwiczący w jaskini ze sferycznym symulatorem chodu żołnierz może więc przemieszczać się przez wirtualny poligon swoimi nogami w różnym tempie zależnie od sytuacji bojowej. Pozwala to na prowadzenie naturalnego szkolenia bojowego (również kondycyjnego) z wykorzystaniem jedynie rzeczywistości wirtualnej.

Warto zaznaczyć, że wirtualny poligon realizowany na bazie Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej może łatwo być dostosowywany (przynajmniej wizualnie) do różnych warunków geograficznych, klimatycznych i kulturowych. Można więc w ramach tego samego urządzenia, zmieniając jedynie oprogramowanie, zaplanować działania w dowolnej przestrzeni, czy to w obszarze wiecznego śniegu, czy to na terenie syryjskiego miasta, czy to w afrykańskiej dżungli, czy też w krajobrazie górskim przypominającym Hindukusz (rys. 12) z typową dla Afganistanu roślinnością i zabudową.

Zarysowane powyżej możliwości wykorzystania LZWP dla szkolenia służb publicznych do realizacji zadań bezpieczeństwa narodowego (ang. *homeland security*) wydają się więc trudne do przecenienia. Wirtualne pole walki jest przede wszystkim o wiele tańsze i bezpieczniejsze niż rzeczywisty



**Rys. 12. Wizyta w wysokich górach w dużej jaskini w LZWP (fot. J. Lebiedź)**  
**Fig. 12. Visit to the high mountains in the Big CAVE in I3DVLab**

poligon. Żołnierz piechoty może tu trenować nie tylko swoją skuteczność strzelecką, ale również współdziałanie zarówno z kolegami ze służby (kilka sferycznych symulatorów chodu w kilku jaskiniach lub z kaskami HMD), jak i również z pojazdami bojowymi i stanowiskami ogniowymi sterowanymi przez innych uczestników ćwiczeń na innego rodzaju symulatorach.

Możliwości szkoleniowe LZWP dotyczą nie tylko wojska, ale również innych służb publicznych. Używając jaskini rzeczywistości wirtualnej wyposażonej w sferyczny symulator chodu można analogicznie prowadzić szkolenia funkcjonariuszy straży pożarnej. Dysponując wirtualną formą zadane go budynku i modelując rozprzestrzeniający się w nim ogień wirtualny możemy przećwiczyć, a następnie skontrolować zachowania strażaka podczas akcji gaśniczej. Zwróćmy uwagę, że szkolenie takie może dotyczyć praktycznie dowolnego ale konkretnego budynku i dowolnych warunków zewnętrznych. Co więcej, błędy w zachowaniu trenującego strażaka nie grożą jego poparzeniem czy inną kontuzją. Warto dodać, że może on też uczestniczyć w rozproszonej symulacji z większą liczbą biorących udział w wirtualnej akcji gaśniczej (inne jaskinie, kaski HMD, symulatory pojazdów itp.). Dzięki rejestracji szkolenia można na jego zakończenie omówić i obejrzeć błędne zachowania uczestników ćwiczeń, powtarzając w skrajnych przypadkach wybrane fragmenty treningu.

Podobnego rodzaju trening można także realizować dla specjalistów przemysłowych, w których szkoleniu istotną rolę odgrywa ogólnie rozumiany poligon. Trening taki nie wymaga zwykle takiej dynamiki działania, jak w powyższych przypadkach, nie wiąże się też z takimi niebezpieczeństwami, jak powyżej, ale pozwala na redukcję kosztów i większe zróżnicowanie sytuacji napotykanych przez ćwiczącego [4]. Pozwala to na prowadzenie wirtualnych inspekcji różnych okrętów i budynków, bez czego nie można wyszkolić inspektora okrętowego lub budowlanego. Poza redukcją kosztów i wzrostem bezpieczeństwa ćwiczącego dodatkową korzyścią jest to, że rzeczywistość wirtualna pozwala na realizację większej liczby zróżnicowanych scenariuszy, a w przyszłości bardziej niezawodne orzekanie przez wyszkolonego inspektora o stanie bezpieczeństwa ocenianego rzeczywistego statku czy budynku.

Grupa naukowców z Wydziału Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej, współpracując z firmami IT, przymierza się do rozwoju możliwości oferowanych przez Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej. Nie chodzi tu tylko o nowe kontrolery symulujące różne sprzęty trzymane w rękę przez uczestnika szkolenia (karabin, wąż strażacki), ale również o sferyczny symulator chodu. Obecnie napędzany jest on jedynie siłą nóg. Dodanie napędu przyspieszającego lub spowalniającego jego obroty pozwoli symulować schodzenie z góry lub wchodzenie pod górę, co doda nowe możliwości szkoleniowe.

## Podsumowanie

Opisane powyżej możliwości LZWP ukazują jego ogromny potencjał. Rozwiązanie, które na pierwszy rzut oka może się wydawać drogim gadżetem do gier komputerowych, okazuje się bardzo praktycznym urządzeniem, nie tylko dla wirtualnego prototypowania, wirtualnej turystyki i wizualizacji naukowej. Tak jak może ono uatrakcyjnić rozgrywkę, zwłaszcza w przypadku gier polegających na wędrówce w terenie (np. strzelanina z perspektywy pierwszej osoby, ang. *first-person shooter*), tak może uczynić bardziej przekonującymi zaprezentowane tu szkolenia wirtualne. Co więcej, znany z gier wieloosobowych (ang. *multiplayer*) mechanizm synchronizacji

symulacji na wielu komputerach w jedną symulację rozproszoną pozwala poprzez sieć komputerową prowadzić szkolenia nie tylko pojedynczego człowieka, ale również współdziałania grupowego całego zespołu (drużyny wojskowej, zastępu strażackiego itd.).

Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej jako zaawansowane środowisko rzeczywistości wirtualnej dostarcza nie tylko nieosiągalnych innymi technikami możliwości wizualnych (zanurzenie w świecie wykreowanym komputerowo), ale pozwala również na szkolenia, w których jego uczestnik trenuje pożądane zachowania. Szkolenie takie realizowane jest więc w bezpiecznych warunkach, których nie gwarantuje żaden prawdziwy poligon. Pozwala też na przećwiczenie większej liczby przypadków, co zwiększa przygotowanie szkolonego specjalisty do działania w rzeczywistych warunkach. Gwarantuje to więc większe bezpieczeństwo tych działań w przyszłości. Jeśli strażak doprowadzi podczas ćwiczeń na rzeczywistym poligonie do ognistego podmuchu, czyli tzw. wstecznego ciągu (ang. *backdraft*) otwierając nierozważnie drzwi w płonącym budynku, to taki eksperyment może się skończyć tragicznie dla niego. Zapewne będzie też ostrożniejszy w przyszłości. Jednak to samo zdarzenie podczas treningu wirtualnego zakończy się dla niego bez szwanku, ale odpowiednia wizualizacja działająca na wyobraźnię i późniejsza reprimenda przełożonego zmniejszy szansę, że w przyszłości powtórzy on takie zachowanie podczas prawdziwego pożaru.

Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej dysponuje sprzętem i specjalistami gotowymi przygotować odpowiednie symulacje. Zaprasza do współpracy ekspertów różnych dziedzin gotowych współtworzyć dla LZWP scenariusze w ramach wspólnych projektów naukowych i komercyjnych.

## Literatura

- [1] Lebień Jacek. 2015. „Człowiek zanurzony w rzeczywistości wirtualnej na przykładzie Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej”. *Człowiek zalogowany 4, Człowiek społeczny w przestrzeni Internetu (mat. konf.)*, Biblioteka Jagiellońska, Kraków 2015, str. 108–115.
- [2] Lebień Jacek, Mazikowski Adam. 2014. „Innovative Solutions for Immersive 3D Visualization Laboratory”. *22nd International Conference on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision WSCG 2014 – Communication Papers Proceedings*, Plzeň 2014, p. 315–319.
- [3] Lebień Jacek, Mazikowski Adam. 2014. „Uruchomienie Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej”. *Szybkobieżne Pojazdy Gaśnicowe*, vol. 34, nr 1, 2014, str. 41–48.
- [4] Lebień Jacek, Redlarski Jerzy. 2016. „Applications of Immersive 3D Visualization Lab”. *24th International Conference on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision WSCG 2016 – Poster Papers Proceedings*, Plzeň 2016, p. 69–74.
- [5] Lebień Jacek, Szwoch Mariusz. 2016. „Virtual Sightseeing in Immersive 3D Visualization Lab”. *4th Conference on Multimedia, Interaction, Design and Innovation MIDI'16*, Gdańsk 2016 (w druku).
- [6] Mazikowski Adam, Lebień Jacek. 2014. „Image projection in Immersive 3D Visualization Laboratory”. *18th International Conference in Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems KES 2014*, Gdynia 2014, *Procedia Computer Science* 35, 2014, p. 842–850.
- [7] Medina Eliana, Fruland Ruth, Weghorst Suzanne. 2008. „Virtusphere: Walking in a Human Size VR Hamster Ball”. *Proc. of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 52, No. 27, 2008, p. 2102–2106.
- [8] Żolnowski Michał, Lebień Jacek. 2014. „Wspomaganie leczenia fobii za pomocą zanurzenia w rzeczywistość wirtualną”. *ICT Young 2014*, Wydział ETI Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2014.