

Możliwości wykorzystania środowiska wirtualnego SEMI-CAVE w laboratorium CIOP-PIB

Zapewnienie wygody widzenia, komfortu wykonywania pracy i dobrego samopoczucia pracowników jest istotne zarówno ze względu na ograniczenie zmęczenia, dolegliwości i różnego rodzaju schorzeń, jak i utrzymanie wydajności pracy. Ergonomia widzenia jako nauka zajmująca się kształtowaniem wzrokowych warunków pracy w celu dostosowania ich do możliwości psychofizycznych człowieka, poszukuje m.in. nowych metod kształtowania przyjaznego i prozdrowotnego środowiska świetlnego i wizualnego w miejscu pracy.

Oddziaływanie na psychofizjologię człowieka poprzez otoczenie wizualne jest przedmiotem wielu badań, a rozwój techniki oświetleniowej oraz kreowania rzeczywistości wirtualnej stwarza nowe możliwości zarówno badań naukowych, jak i ich praktycznego zastosowania. Zmiana rzeczywistego środowiska wizualnego w celu prowadzenia prób oddziaływania tego środowiska na człowieka nie jest możliwa albo zbyt kosztowna, a nawet w warunkach laboratoryjnych bywa ograniczo-

na. Rozwiązaniem jest tworzenie pozornych (wirtualnych) środowisk pracy, np. typu SEMI-CAVE, pozwalających na odwzorowanie rzeczywistego środowiska otoczenia zarówno zewnętrznego, jak i wewnętrznego bez konieczności zakładania gogli czy hełmu rzeczywistości wirtualnej. Można wtedy uniknąć niedogodności i negatywnych fizjologicznych efektów ubocznych, występujących u wielu osób „zanurzanych” w środowisko wirtualne za pomocą tego sprzętu.

Stworzenie bardziej naturalnych warunków ekspozycji stwarza nowe, niewykorzystane dotąd możliwości kreowania różnych warunków i badania ich oddziaływania na człowieka i jego samopoczucie oraz bezpieczeństwo, z uwzględnieniem zarówno wieku, jak również różnego rodzaju niepełnosprawności wzroku.

Odpowiednio wykreowane obrazy środowiska wizualnego wyświetlane na wszystkich ścianach pomieszczenia typu SEMI-CAVE mogą służyć do tworzenia otoczenia sprzyjającego relaksowi, wyciszeniu, spokojowi, lub do wywoływania różnych innych odczuć psychicznych, jak np. zaciekawienie, podeks-

cytowanie, lęk, smutek czy radość. Można też odwzorowywać istniejące miejsca pracy, przestrzenie itp. w celu dostosowania otoczenia wizualnego do potrzeb psychofizycznych człowieka, a w szczególności ograniczenia zmęczenia wzroku i poprawy samopoczucia pracownika oraz sprawności psychofizycznej. Zmianę rozmieszczenia i barwy elementów otoczenia można dowolnie zaprogramować i odtworzyć w takim środowisku wirtualnym bez ponoszenia kosztów modernizacji i przestoju w pracy na czas adaptacji pomieszczenia.

W artykule przedstawiono wybrane możliwości kreowania otoczenia wizualnego w środowisku SEMI-CAVE w laboratorium CIOP-PIB.

Środowiska rzeczywistości wirtualnej – przegląd typowych rozwiązań

Rzeczywistość wirtualna (*virtual reality*, VR) polega to na multimedialnym kreowaniu komputerowej wizji przedmiotów, przestrzeni i zdarzeń. VR może reprezentować zarówno elementy świata realnego (symulacje kom-

puterowe), jak i zupełnie fikcyjnego (gry komputerowe).

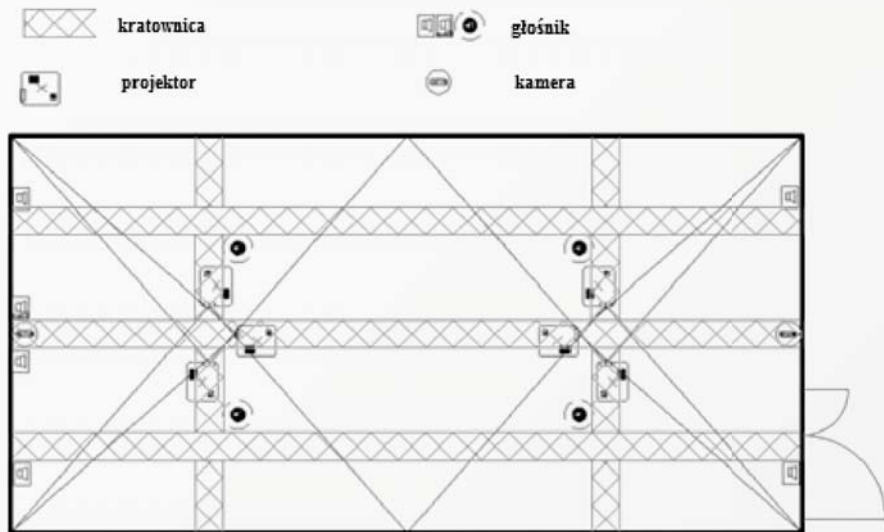
Za twórcę pojęcia uważa się Jarona Laniera. W literaturze spotyka się definicję rzeczywistości wirtualnej jako 3 x I: Interaction (interakcja) + Immersion (zagłębienie) + Imagination (wyobraźnia)¹.

Pierwsze środowisko wirtualne typu CAVE (*Cave Automated Virtual Environment*) zostało zbudowane w 1991². Liczba publikacji na temat VR, które dotyczą tylko różnych rozwiązań konstrukcyjnych, wynosi od wielu lat ponad 20 rocznie³. Powstało wiele artykułów przeglądowych⁴, na podstawie których można wyróżnić kilka podstawowych klas rozwiązań VR: CAVE i CAVE2.

CAVE jest jednym ze sposobów realizacji środowiska wirtualnej rzeczywistości zanurzeniowej (ang. *immersive virtual reality*). Zaletami tego rozwiązania są: postrzegana wirtualna rzeczywistość oraz wrażenie bycia i funkcjonowania w świecie wirtualnym bez konieczności stosowania dodatkowych urządzeń czy sprzętu (np. okularów).

Podstawowe wady takiego rozwiązania to koszt i przestrzeń potrzebne do instalacji. Realizacja środowiska typu CAVE polega na zbudowaniu prostopadłościennego pomieszczenia w taki sposób, aby na wszystkich ścianach, podłodze i suficie pojawiły się obrazy, które, wyświetlane w spójny sposób, tworzą postrzeganą rzeczywistość. Z technicznego punktu widzenia osiąga się to za pomocą tylnej (zewnętrznej) projekcji – ściany, podłoga i sufit wykonane są z półprzezroczystego materiału (rys. 1.). Poza tym stosuje się projekcję wewnątrz obiektu CAVE – na ścianach laboratorium⁵. Daje to możliwość uzyskania znacznie większej powierzchni przy porównywalnych rozmiarach całej instalacji.

CAVE 2 powstało w drodze rozwoju systemów CAVE poprzez zastąpienie projektorów



Rys. 2. Sposób wyświetlania obrazów w instalacji SEMI-CAVE

monitorami LCD. Pozwoliło to z jednej strony na istotną redukcję przestrzeni całej instalacji, a z drugiej – na uzyskanie znacznie większej rozdzielczości obrazów⁶. Układy wielomonitorowe, stosowane szczególnie w symulatorach pojazdów czy samolotów oraz do przeprowadzania różnego typu szkoleń⁷, to najpowszechniej rozwijany kierunek badań. Wadą takiego rozwiązania jest niestety widoczność krawędzi monitorów, co często jest podkreślane jako problem utrudniający „zanurzenie się” w rzeczywistości wirtualnej⁸.

Przykładem rozwiązania tego typu jest projekt „Continuum”⁹. Zakładał on umieszczenie w pomieszczeniu kilku tablic multimedialnych oraz panelu składającego się z 4 paneli LCD o przekątnej ekranu 21” oraz wysokiej rozdzielczości.

Binocular head based VR – środowiska wykorzystujące okulary w systemie HMD (*Head Mounted Displays* – przenośne wyświet-

lacze zakładane na głowę) są od ok. 2000 r. rozwijane równoległe ze środowiskiem CAVE. HMD to środowisko wirtualne, które wymaga najmniej miejsca do uzyskania VR¹⁰: widok dostępny jest indywidualnie dla każdego uczestnika dzięki specjalnym okularom, wyświetlającym obrazy w lewym i prawym oku. Urządzenia te wyposażone są w dodatkowe sensory, pozwalające identyfikować położenie głowy. Najtańszym rozwiązaniem tego typu, szczególnie popularnym w ostatnich latach, jest smartfon wykorzystywany do wyświetlania obrazów.

Warto wspomnieć także o rozwiązaniach *monocular head based VR*¹¹, które nie dają jednak w pełni możliwości uzyskania pełnego zanurzenia, tak jak rozwiązania binocular. Alternatywą dla technologii HMD jest VRD (*Virtual Retinal Display* – obraz wyświetlany bezpośrednio na siatkówce)¹². Ze względu na cenę i mobilność takie rozwiązanie staje się bardzo popularne i jednocześnie powszechnie dostępne, np. w grach komputerowych.

Podstawową zaletą HMD jest całkowite uniezależnienie od skomplikowanej konstrukcji i instalacji. HMD może być stosowane w dowolnym miejscu, wymaga tylko komputera z odpowiednim oprogramowaniem. W porównaniu z klasycznym CAVE oznacza to olbrzymią redukcję kosztów. Z drugiej strony rozwiązanie to wymaga jednak dodatkowego sprzętu (np. rękawic) i nie pozwala na pełną

¹ Burdea G., Coiffet P. *Virtual Reality Technology*, John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA 2003. ISBN 0471360899.

² Cruz-Neira, C., Sandin, D.J., Defanti, T.A., Kenyon, R., Hart, J.C. The CAVE: Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment. 1992. *Communications of the ACM* 35, 6: 64-72 DOI: 10.1145/129888.129892. Cruz-Neira, C., Sandin, D.J., De Fanti, T. Surround-Screen Projection-based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE. *Proceedings of the 20th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH'93)*, 1993, 135-142 DOI: 10.1145/166117.166134.

³ Kim, M.J., Wang, X., Love, P.E.D., Li, H., Kang, S.C. Virtual reality for the built environment: a critical review of recent advances 2013. *Journal of Information Technology in Construction* 18 [online]. 2013, 279-305 [viewed 2019-04-15] available from: <http://www.itcon.org/2013/14>.

⁴ Kim, M.J., Wang, X., Love, P.E.D., Li, H., Kang, S.C. Virtual reality for the built environment: a critical review of recent advances 2013. *Journal of Information Technology in Construction* 18 [online]. 2013, 279-305 [viewed 2019-04-15] available from: <http://www.itcon.org/2013/14>. Muhanna, M.A. Virtual reality and the CAVE: Taxonomy. Interaction challenges and research directions. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences* 2015, 27, 3: 344-361. DOI: 10.1016/j.jksuci.2014.03.023.

⁵ Jacobson, J., Lewis, M. Game engine virtual reality with CaveUT. *Computer* 2005, 38, 4: 79-82. DOI: 10.1109/MC.2005.126.

⁶ Febretti, A., Nishimoto, A., Thigpen, T., Talandis, J., Long, L., Pirtle, J. D., Peterka, T., Verlo, A., Brown, M., Plepys, D., Sandin, D., Renambot, L., Johnson, A., Leigh, J. CAVE2: a hybrid reality environment for immersive simulation and information analysis. 2013. In *Proc. SPIE* 8649. The Engineering Reality of Virtual Reality. Vol. 864903. DOI: 10.1117/12.2005484.

⁷ CAVE2 at Monash. Monash University, Australia, 2011-2019. [viewed 2019-04-15] Available from: <http://monash.edu/mivp/images/pdfs/14P-0365-CAVE-final-150.pdf>. CAVE2: Next-Generation Virtual-Reality and Visualization Hybrid Environment for Immersive Simulation and Information Analysis. 2009-2019. *Electronic Visualization Laboratory*. [viewed 2019-04-15] Available from: <https://www.evl.uic.edu/entry.php?id=2016>.

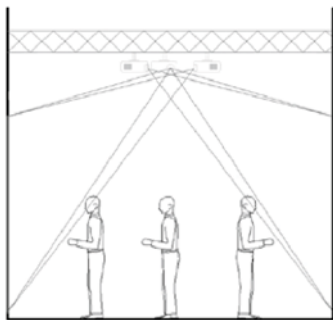
⁸ Leigh, J., Johnson, A., Renambot, L., Defanti, T., Brown, M., Jeong, B., Jagodic, R., Krumbholz, C., Svistula, D., Hur, H., Kooima, R., Peterka, T., Ge, J., Falk, C. Emerging from the CAVE: Collaboration in Ultra High Resolution Environments. In: *Proc. of First International Symposium on Universal Communication*. Kyoto, Japan June 2007. Krumbholz, C., Leigh, J., Johnson, A., Renambot, L., Kooima, R. *Lambda Table: High Resolution Tiled Display Table for Interacting with Large Visualizations*. In: *Proc. of Workshop for Advanced Collaborative Environments (WACE)*. Redmond, Washington, USA 8 Sept. 2005.

⁹ <https://www.evl.uic.edu/entry.php?id=2316>

¹⁰ Melzer, J.E., Moffitt, K. *Head Mounted Displays: Designing for the User*. McGraw-Hill Professional; 1 ed. 1997. ISBN 978-0070418196.

¹¹ Muhanna, M.A. Virtual reality and the CAVE: Taxonomy. Interaction challenges and research directions. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences* 2015, 27, 3: 344-361. DOI: 10.1016/j.jksuci.2014.03.023.

¹² Viirre, E. The Virtual Retinal Display: A New Technology for Virtual Reality and Augmented Vision in Medicine. In: *Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality*. San Diego, California. USA 1998, 252-257.



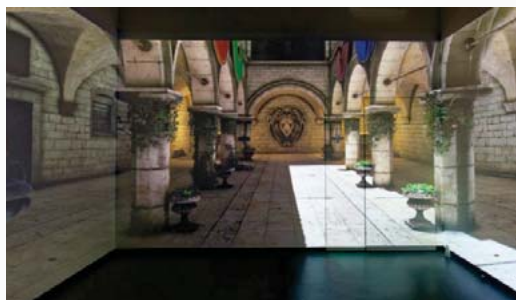
Rys. 3. Możliwość podejścia do ściany na odległość 1 m zapewnienia relatywnie dużą przestrzeń VR



Rys. 4. Przykład dwóch narożników pomieszczenia SEMI-CAVE z obrazami przedstawiającymi środowisko wirtualne „rytm pni”



Rys. 5. Widok alei parkowej odwzorowanej w środowisku SEMI-CAVE dający złudzenie głębi



Rys. 6. Widok dziedzińca zamkowego odwzorowany w środowisku SEMI-CAVE dający złudzenie głębi i docierającego do wnętrza światła dziennego

Tabela. Porównanie różnych realizacji VR z SEMI-CAVE

Cecha	CAVE (projekcja od tyłu)	CAVE (projekcja od przodu)	CAVE2 LCD/monitors	HMD	SEMI-CAVE
Wymiary pomieszczenia/środowiska VR	bardzo małe	dowolny (w zależności od środków finansowych)	dowolny (w zależności od środków finansowych)	dowolny	dowolny (w zależności od środków finansowych)
Wymiary całej instalacji	bardzo duże	małe (jak przestrzeń VR)	średnie (trochę większe od przestrzeni VR)	w zależności od instalacji	małe (jak przestrzeń VR)
Realizacja mieszana (np. VRtfo+rzeczywiste umeblowanie)	-	++	++	--	++
Praca grupowa	-	+	+	-- (tylko w VR)	+
Odczucia badanych, dolegliwości	--	-	-	--	-
Możliwość rozbudowy	nie	tak	trudne	nie	tak
Koszty	bardzo wysokie	średnie	wysokie	niskie	średnie

identyfikację czuciowo ruchową z przestrzenią VR. Wadą takiego rozwiązania jest problem niepowiązania wrażeń wzrokowych z pracą błędnika, objawiający się odczuciami zbliżonymi do tzw. choroby lokomocyjnej¹³ czy też podwyższonym tętnem¹⁴.

Początkowo wydawało się, że ze względów finansowych rozwiązania HMD całkowicie wyprą CAVE, jednak tak się nie stało. Niemniej HMD jest obecnie bardzo często stosowane – wśród profesjonalnych zastosowań najważniejsze to edukacja i szkolenia różnego typu personelu (szczególnie wojskowego)¹⁵ oraz sterowanie robotami¹⁶.

Środowisko rzeczywistości wirtualnej w CIOP-PIB – SEMI-CAVE

Środowisko wirtualne SEMI-CAVE jest to rodzaj środowiska typu CAVE z projekcją bezpośrednią na cztery ściany pomieszczenia. Laboratorium SEMI-CAVE w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie

¹³ Davis, S., Nesbitt, K., Nalivaiko, E. Comparing the onset of cybersickness using the Oculus Rift and two virtual roller coasters. In: Proc. 11th Australasian Conference on Interactive Entertainment (IE 2015). Sydney Australia. 2015.3-14. ISSN:1445-1336.

¹⁴ Malińska, M., Zużewicz, K., Bugajska, J., Grabowski, A. Heart rate variability (HRV) during virtual reality immersion. JOSE 2015, 21,1:47-54. 10.1080/10803548.2015.1017964.

¹⁵ Muhanna, M.A. Virtual reality and the CAVE: Taxonomy. Interaction challenges and research directions. Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences 2015, 27,3:344-361. DOI: 10.1016/j.jksuci.2014.03.023. Castaneda, L., Pacampara, M. Virtual Reality in the Classroom: An Exploration of Hardware. Management. Content and Pedagogy. In: Proc. of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference. Chesapeake, USA, 2015:456-459. ISBN 978-1-939797-13-1. Grabowski, A., Jankowski, J. Virtual Reality-based pilot training for underground coal miners. Safety Science. 2015, 72:310-314. DOI: 10.1016/j.ssci.2014.09.017.

¹⁶ Jankowski, J., Grabowski, A. Usability Evaluation of VR Interface for Mobile Robot Teleoperation. Int. J. of Human-Computer Interaction. 2015, 31,12:882-889. DOI:10.1080/10447318.2015.1039909. Kot, T.P., Novák, P. Utilization of the Oculus Rift HMD in Mobile Robot Teleoperation. Mechanics and Materials. 2014, 555:199-208. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.555.199.

Badawczym zostało zbudowane w ramach projektu inwestycyjnego Tech-Safe-Bio. Zlokalizowane jest w dwóch pomieszczeniach: jedno jest sterownią, a drugie faktyczną instalacją VR, będącą prostopadłościennym pokojem zbudowanym na podstawie prostokąta o wymiarach 8,6 m x 4,3 m x 6 m. Projekcja odbywa się poprzez rzutowanie bezpośrednie obrazu na 4 ściany pomieszczenia. Zapewniają 6 rzutników ułożonych w konfiguracji 2:1, co oznacza, że na każdym dłuższym boku obraz wyświetlany jest przez 2 projektory, a na krótszym – przez 1 (rys. 2.).

Każdy projektor jest w stanie wyświetlić na ścianie obraz o strumieniu świetlnym 4000 lm, w rozdzielczości 1920 x 1080 pikseli. Matryca LCOS pozwala również zredukować efekty pikselizacji. Rzutniki wyposażone są w układy optyczne, wykonane w technologii *short throw* i pozwalające na projekcję bezcieniową, przy podejściu na odległość 1 m do ściany osoby o wysokości 1,7 m (rys. 3.). Dzięki technologii *Lens Shift* i *Keystone* możliwe jest ustawianie rzutnika w dużo bliższej odległości, niż byłoby to zwykle wymagane w przypadku uzyskania zadanego obrazu przy określonej ogniskowej obiektywu.

Duża wysokość pomieszczenia (6 m) pozwoliła zbudować konstrukcję nośną w postaci zestawu kratownic, na których umieszczono sprzęt niezbędny do realizacji projekcji, nagłośnienia, komunikacji i sterowania. Rzutniki umieszczone są na wysokości 3,8 m i pozwalają na projekcję obrazu o wysokości 2,8 m. Pomieszczenie wyposażone jest w system audio przestrzennego nagłośnienia, pozwalający poprawić wrażenie zanurzenia w wirtualnej rzeczywistości poprzez emitowanie dźwięków pasujących do wyświetlanego otoczenia. Sterownia została umiejscowiona obok instalacji CAVE. W pomieszczeniu znajduje się system umożliwiający kontrolowanie warunków audio-wizualnych wewnątrz CAVE.

Komputer odpowiedzialny za sterowanie obrazem został wyposażony w 64 GB pamięci RAM i 2 procesory Intel Xeon. Do obsługi obrazu zastosowano 3 karty graficzne, których równoległą pracę i połączenie realizuje technologia SLI. Każda z kart obsługuje 2 rzutniki. Cały układ zapewnia płynne i ostre wyświetlanie obrazu, w rozdzielczości 1920 x 1080. Jakość obrazu jest ważna w przypadku instalacji typu CAVE, szczególnie w kontekście odczucia zanurzenia w wirtualnej rzeczywistości.

Założeniem rzeczywistości wirtualnej SEMI-CAVE jest umożliwienie kreowania wielu środowisk wizualnych występujących w miejscach pracy oraz badanie wpływu różnych parametrów i rodzajów oświetlenia na psychofizjologię człowieka. Biologiczne oddziaływanie światła na człowieka jest tematem ważnym i w ostatnich latach szczególnie uwzględnianym w projektowaniu oświetlenia dostosowanego do potrzeb i fizjologii człowieka, tzw. *Human Centric Lighting*. Środowisko SEMI-CAVE umożliwia prowadzenie badań w kontrolowanych warunkach otoczenia. Badanie wpływu kreowanego w środowisku SEMI-CAVE otoczenia świetlnego i obrazów jest możliwe z udziałem osób badanych.

Badanymi parametrami mogą być: wydolność wzrokowa, czas reakcji, zmęczenie wzroku, poziom czujności. Atutem instalacji jest również możliwość umieszczenia we wnętrzu np. stanowiska pracy biurowej, czy tzw. próbek pracy symulujących wykonywanie innych niż biurowe czynności pracy ze względu na dużą dostępną przestrzeń. Można również umieścić, bez szkody dla wyświetlanego obrazu, aparaturę badawczą, taką jak okulary lub zestaw do badania EEG do badań neurofizjologicznych (tabela).

Przykłady obrazów wyświetlanych w laboratorium SEMI-CAVE

Wielokrotne duplikowanie jednego obrazu

Najłatwiejszym sposobem odzwierciedlenia środowiska wizualnego jest wyświetlanie tego samego obrazu ze wszystkich projektorów na czterech ścianach pomieszczenia. Wystarczy jedno zdjęcie lub obraz o wzorze składającym się z powtarzalnych ciągów elementów, jak np. wycinek lasu, którego zwielokrotnienie na wszystkich ścianach daje odczucie zanurzenia się w realnym lesie, gdyż trudno zauważyć, że jest to ten sam zwielokrotniony obraz. Przykład środowiska wirtualnego „rytm pni” z lasem brzoźowym, dającym złudzenie trójwymiarowości przedstawiono na rys. 4.

Dodanie dźwięków, takich jak np. śpiew ptaków i szum drzew, potęguje odczucie zanurzenia – takie środowisko może służyć do kreowania odczucia spokoju, relaksu i wyciszenia. Można w nim odstresować się w czasie przerwy w pracy.

Sklejanie obrazów odwzorowujących wybrane otoczenie wizualne

Odtworzenie określonego środowiska wizualnego wymaga przygotowania oddzielnych sześciu obrazów. Każdy z obrazów to zdjęcie wykonane aparatem fotograficznym z odpowiednio szerokim kątem widzenia obiektywu, tak aby kąt widzenia fotografowanego obrazu odpowiadał położeniu obserwatora w laboratorium SEMI-CAVE. Uwzględnia się w ten sposób geometrię pomieszczenia, aby odpowiednio zrobić zdjęcia i uzyskać obraz rzeczywistości wirtualnej dopasowanej do skali pomieszczenia. Przykładem może być odwzorowanie alei w Parku Saskim w Warszawie. Na rys. 5. przedstawiono widok alei parkowej z punktu widzenia spacerowicza, dający złudzenie głębi.

Innym przykładem jest odwzorowanie w środowisku SEMI-CAVE dziedzica zamkowego, na którym widać nawet plamy światła, co wprowadza dodatkowe złudzenie naturalności i realności środowiska wirtualnego. Na rys. 6. pokazano dwa widoki dziedzica z perspektywy dwóch różnych położen obserwatora. Złączenie obrazów w narożnikach nie zakłóca wrażenia głębi.

Dodawanie elementów w wykreowanej przestrzeni

Na obrazach wykreowanych w środowisku SEMI-CAVE, uzyskanych zarówno poprzez duplikowanie jednego obrazu, jak i sklejanie różnych obrazów, można wprowadzać modyfikacje lub dodawać inne elementy otoczenia zmieniające wygląd tego środowiska. Na rys. 7. przedstawiono widok tego samego fragmentu dziedzica zamkowego ze sklejonych sześciu różnych obrazów oraz po wykreowaniu dodatkowych barwnych zasłon „zawieszonych” w podcieniach, które istotnie zmieniają postrzeganie dziedzica zamkowego. Jest to przykład sposobu ingerencji w kreowane środowisko wirtualne.

Co umożliwia laboratorium SEMI-CAVE

W artykule przedstawiono wybrane możliwości kreowania otoczenia wizualnego w środowisku SEMI-CAVE w laboratorium CIOP-PIB. W ten sam sposób można tworzyć środowiska wirtualne odtwarzające zewnętrzne i wewnętrzne miejsca pracy, a następnie je modyfikować w celu uzyskania optymalnych dla pracowników warunków wizualnych. Dodanie odpowiedniego dźwięku czy zapachu stwarza możliwość jednoczesnego oddziaływania na trzy zmysły człowieka (wzrok, słuch, węch) oraz wywoływania różnych emocji (spokój, niepokój, podekscytowanie, lęk, radość itp.).



Rys. 7. Widok dziedzica zamkowego odwzorowanego w środowisku SEMI-CAVE: a) i c) – bez zasłon, b) i d) – z zasłonami

Laboratorium SEMI-CAVE może zatem służyć do stworzenia różnych scenariuszy audiowizualnych do doboru ergonomicznego środowiska audiowizualnego lub do celów badań wpływu tego środowiska na zmęczenie, sprawność psychofizyczną i samopoczucie człowieka.

dr hab. inż. Agnieszka Wolska, prof. CIOP-PIB
Centralny Instytut Ochrony Pracy – PIB
prof. nadzw. dr hab. inż. Dariusz Sawicki
Politechnika Warszawska – Wydział Elektryczny
mgr inż. Mariusz Wiselka
Centralny Instytut Ochrony Pracy – PIB
Kontakt: agwol@ciop.pl