

mgr inż. PAWEŁ BUDZISZEWSKI
 dr inż. ANDRZEJ GRABOWSKI
 mgr inż. JAROSŁAW JANKOWSKI
 mgr inż. MARCIN MILANOWICZ

Centralny Instytut Ochrony Pracy
 – Państwowy Instytut Badawczy

Możliwości wykorzystania rzeczywistości wirtualnej do projektowania stanowisk pracy dla osób niepełnosprawnych ruchowo

Artykuł przedstawia metodę wykorzystania technik rzeczywistości wirtualnej podczas prowadzenia prac badawczych dotyczących osób niepełnosprawnych na stanowiskach pracy. Korzystając z symulowanego stanowiska pracy składającego się z komputerowych modeli wszystkich istotnych obiektów rzeczywistego środowiska, można ocenić możliwość wykonywania pracy przez osobę niepełnosprawną, zaproponować stosowne modyfikacje, a następnie przetestować ich zasadność oraz wpływ na wygodę i wydajność pracy. W każdym z tych etapów uczestniczy niepełnosprawny pracownik, dzięki czemu wynikowe stanowisko dostosowane jest do jego potrzeb i preferencji.

Designing a workplace for workers with motion disability with computer simulation and virtual reality techniques

This paper describes a method of adapting workplaces for workers with motion disability with virtual reality techniques. A simulated work space built with computer models of all important objects of a real workplace makes it possible to assess the ability of a worker with a disability to work, propose modifications and analyse their influence on ergonomics and work efficiency. All these tasks are performed with the participation of a worker with a disability, which ensures that the workplace fits the worker's needs.



Fot. Andrea Danti/BigStockPhoto

Wstęp

Niezwykle wysoki poziom bezrobocia wśród osób niepełnosprawnych jest w Polsce bardzo poważnym problemem społecznym: spośród blisko 2,1 mln osób niepełnosprawnych w wieku produkcyjnym pracuje jedynie ok. 440 tys. (wg Badania Aktywności Ekonomicznej Ludności GUS, 2009). Osoby niepełnosprawne stanowią prawie 10% populacji w wieku produkcyjnym, jednakże ich udział w zatrudnieniu wynosi mniej niż 4% [1]. Jedną z głównych przyczyn tego stanu rzeczy są trudności w znalezieniu pracy: szacuje się, że w porównaniu z osobami pełnosprawnymi szanse znalezienia pracy przez aktywnych zawodowo niepełnosprawnych są o około 20-40% niższe [1].

Niezmiernie istotną sprawą jest więc zapewnienie możliwości pracy tym osobom w zakresie, w jakim zachowały zdolność do pracy. Jednym z ważniejszych aspektów tego zagadnienia jest dostosowanie stanowisk pracy. Techniki rzeczywistości wirtualnej i symulacji komputerowej są narzędziami, które może znacząco ułatwić to zadanie, zwłaszcza w przypadku stanowisk będących dopiero w fazie projektowania – a tym samym przyczynić się do po-

wstawania nowych miejsc pracy dostosowanych do potrzeb osób niepełnosprawnych. W artykule przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w tym zakresie w CIOP-PIB.

Rzeczywistość wirtualna

Idea rzeczywistości wirtualnej polega na stworzeniu za pomocą symulacji komputerowej interaktywnego, trójwymiarowego środowiska, które osobie oglądającej (czy też ściślej: przebywającej w nim) wyda się realistyczne (czyli rzeczywiste), [2]. Innymi słowy, jest to forma symulowania otaczającej nas rzeczywistości, postrzeganej zmysłami wzroku i słuchu (czasem też dotyku). Na tę rzeczywistość można wpływać, manipulując znajdującymi się w niej obiektami. Jest to forma symulacji tak realistycznej, że aż dającej wrażenie obecności w danej przestrzeni. Takie „umieszczenie” człowieka w wirtualnym środowisku polega na przekazaniu mu wrażeń wzrokowych i dźwiękowych, a również umożliwieniu interakcji ze znajdującymi się tam obiektami.

Najbardziej zaawansowaną techniką, umożliwiającą uzyskanie najwyższego stopnia realizmu,

jest tzw. zanurzeniowa rzeczywistość wirtualna, w której osoba badana zostaje odcięta od bodźców wzrokowych i dźwiękowych rzeczywistego środowiska, a zamiast nich odbiera obraz i dźwięk symulowanego świata. Zadanie to spełnia urządzenie zwane info-helmem (ang. *head mounted display*), przypominające okulary, w których przed oczami zamocowane są 2 wyświetlacze. Reszta pola widzenia jest zasłonięta. Obraz dla każdego oka generowany jest oddzielnie, dzięki czemu uzyskuje się wrażenie stereowizji (czyli widzenia przestrzennego). Ruchy (w tym obrót) info-helmu są rejestrowane przez komputer sterujący systemem, co pozwala na odpowiednie modyfikowanie wyświetlanego obrazu w miarę poruszania głową. Umożliwia to rozglądanie się po wirtualnym środowisku oraz przemieszczanie po nim w sposób naturalny, poprzez ruchy głowy. Urządzenia typu info-helm wyposażone są zazwyczaj w zintegrowane słuchawki stereofoniczne, dzięki czemu możliwy jest odbiór przestrzennego dźwięku z symulowanego świata.

Kwestia interakcji człowieka z wirtualnym otoczeniem może być rozwiązana na wiele sposobów. Najbardziej zaawansowany polega



Fot. Elementy systemu rzeczywistości wirtualnej: info-rękawica oraz info-helm

Photo. Virtual reality equipment: a cyber glove and a head-mounted display

na wykorzystaniu info-rękawic (ang. *cyber gloves*) – urządzeń przypominających zwykłe rękawice, wyposażonych w zestaw czujników rejestrujących ruchy palców. Dzięki temu system komputerowy jest w stanie odwzorować czynności wykonywane dłońmi, takie jak np. chwytanie (fot.).

Po to, by system rzeczywistości wirtualnej mógł poprawnie funkcjonować, konieczna jest znajomość położenia oraz ruchów głowy i dłoni człowieka. Zadanie to realizuje system śledzenia (ang. *tracking system*).

Rzeczywistość wirtualna stanowi ważne narzędzie, które może być wykorzystywane do prowadzenia badań stanowisk pracy. Przy jego pomocy można analizować zarówno kwestie bezpieczeństwa, jak i ergonomii, co pokazują liczne przykłady prac badawczych (np. [3-6]). Dlaczego więc nie wykorzystać tego narzędzia do adaptacji stanowisk pracy do potrzeb osób niepełnosprawnych ruchowo?

Adaptacja stanowisk pracy

Korzystając z wirtualnego stanowiska pracy, składającego się z komputerowych modeli wszystkich istotnych obiektów rzeczywistego stanowiska, można ocenić możliwość wyko-

nywania pracy przez osobę niepełnosprawną, zaproponować modyfikacje, a następnie ocenić ich zasadność oraz wpływ na wygodę i wydajność pracy. W procesie projektowania uczestniczy niepełnosprawny pracownik, dzięki czemu opracowane stanowisko dostosowane jest do jego indywidualnych potrzeb i preferencji. Wiele problemów utrudniających, czy wręcz uniemożliwiających pracę osobom niepełnosprawnym wynika z umieszczenia elementów stanowiska pracy poza zasięgiem ich rąk, bądź też z utrudnień w poruszaniu się po tym stanowisku (np. brak możliwości podjechania wózkiem inwalidzkim).

W takiej sytuacji, aby dokonać wstępnej oceny stopnia dostosowania stanowiska do możliwości niepełnosprawnego pracownika oraz zaproponować konieczne modyfikacje, można wykorzystać komputerowy model człowieka o wymiarach antropometrycznych, a także zasięgach oraz ograniczeniach ruchów odpowiadających danej osobie. Dzięki temu punkt wyjścia w badaniach prowadzonych w środowisku rzeczywistości wirtualnej z udziałem niepełnosprawnego pracownika stanowić będzie stanowisko już wstępnie dostosowane.

Przebieg prac przedstawimy na przykładzie dostosowania rzeczywistego stanowiska pracy do obsługi przez osobę poruszającą się na wózku inwalidzkim. Na tym stanowisku produkowane są nieduże wyroby gumowe, np. wentyle. Proces produkcji składa się z następujących etapów: na wstępie formy do wykonywania wyrobów są myte, następnie zanurzone w wannie z koagulantem na pewien czas, po czym wyjmowane i zostawiane do ocieknięcia. Aby ściekający koagulant nie tworzył zacieków na wyrobach, formy muszą być odwrócone. Następnie formy są przekazywane kolejnemu pracownikowi. W celu ułatwienia tych czynności, do zanurzania form w koagulancie, odwracania ich i ociekania stosowane jest urządzenie zwane maczarką. Formy wieszane są przez pracownika na ramieniu tego urządzenia, a kolejne czynności sprowadzają się do obsługi panelu sterowniczego.

Przed przystąpieniem do dostosowania stanowiska pracy konieczne jest przygotowanie komputerowych modeli wszystkich tworzących je obiektów. Należy zadbać o odpowiedni poziom

ich szczegółowości, a także o realistyczny wygląd. Jeżeli dostępna jest dokumentacja CAD (np. w sytuacji, gdy stanowisko jest w fazie projektowania) można skorzystać z gotowych obiektów, jednak w przypadku opisywanego stanowiska konieczne było wykonanie wszystkich modeli na podstawie dokumentacji fotograficznej oraz pomiarów. Po wykonaniu modeli poszczególnych obiektów całość łączona jest w jedno środowisko, a następnie tworzone są algorytmy odpowiadające za funkcjonowanie stanowiska pracy (np. opisujące pracę maszyn). Wynik tych prac został przedstawiony na rys. 1.

Po opracowaniu wirtualnego stanowiska pracy można przystąpić do jego adaptacji. Komputerowy model człowieka z wyznaczoną strefą maksymalnego zasięgu rąk oraz przestrzenią pracy rąk musi odpowiadać danej osobie niepełnosprawnej, konieczne było więc odpowiednie jego przeskalowanie i przygotowanie. Ponieważ niepełnosprawny pracownik porusza się na wózku inwalidzkim, opracowano model wózka, który następnie został przeskalowany z uwzględnieniem wymiarów antropometrycznych pracownika, po czym wyznaczono reprezentację geometryczną dwóch obszarów: strefy maksymalnego zasięgu (rys. 2., poz. 1) oraz preferowanej przestrzeni pracy rąk (rys. 2., poz. 2). Strefa maksymalnego zasięgu mówi o tym, do których elementów stanowiska rozważana osoba jest w stanie dosięgnąć, natomiast praca trwająca dłużej powinna być wykonywana wewnątrz preferowanej przestrzeni pracy rąk.

Podstawą do wyznaczenia obu obszarów był atlas miar człowieka [7], służący do projektowania struktur technicznych z uwzględnieniem wymagań ergonomii.

Tak przygotowany komputerowy model umieszczany jest na wirtualnym stanowisku pracy i przemieszczany do wszystkich obszarów, do których pracownik musi sięgnąć podczas wykonywania zadań (rys. 3.). W ten sposób można ocenić dwa aspekty: pierwszym z nich wiąże się z pytaniem, czy pracownik jest w stanie dojść/dojechać do wszystkich istotnych części stanowiska; drugim jest sprawdzenie, czy pracownik może dosięgnąć do wszystkich obszarów koniecznych do wykonania danego zadania roboczego.



Rys. 1. Stanowisko pracy (rzeczywiste z lewej), odwzorowane w środowisku rzeczywistości wirtualnej (z prawej)

Fig. 1. A real working environment (left) and its model in a virtual reality environment (right)



Rys. 2. Komputerowy model osoby niepełnosprawnej poruszającej się na wózku inwalidzkim z widoczną strefą maksymalnego zasięgu rąk (1) oraz przestrzenią pracy rąk (2) podczas analizy możliwości sięgnięcia do obszaru gdzie wykonywana jest praca (3)

Fig. 2. A Computer model of a person in a wheelchair with a visualization of maximal arm reach (1), preferred work space (2) and accessible work area (3)

W opisywanym przykładzie analiza z wykorzystaniem komputerowego modelu pokazała, że pracownik na wózku inwalidzkim może bez przeszkód poruszać się po całym stanowisku, jednak pewne obszary znajdują się poza jego zasięgiem (stanowisko przeznaczone było do pracy w pozycji stojącej, niektóre jego elementy znajdują się za wysoko dla osoby siedzącej). Zaproponowane modyfikacje polegały na obniżeniu elementów wyposażenia stanowiska. W praktyce, jeżeli występuje problem z punktu widzenia konstrukcji maszyn, można to osiągnąć stosując odpowiednie podesty (zapewniające również podjazd wózkami), lub instalując maszynę w zagłębieniu.

Przebieg badań

Tak wstępnie przystosowane wirtualne stanowisko pracy (z uwzględnionymi modyfikacjami) staje się podstawą badań, prowadzonych z wykorzystaniem rzeczywistości wirtualnej z udziałem niepełnosprawnego pracownika. W ich trakcie przeprowadzana jest dalsza modyfikacja stanowiska, zgodnie z preferencjami osoby badanej. Następnie dokonywana jest ocena wprowadzonych zmian. Podstawą tej oceny jest zarówno subiektywna opinia osoby badanej o danym stanowisku, jak też pomiar czasu oraz liczby ruchów koniecznych do wykonania poszczególnych czynności zadania roboczego (dzięki czemu możliwa jest ilościowa ocena poprawy poziomu ergonomiczności stanowiska).

W opisywanym przykładzie badania przebiegały następująco: po odbyciu treningu mającego na celu zapoznanie z wirtualnym środowiskiem, poruszająca się na wózku inwalidzkim osoba badana podjęła próbę pracy na stanowisku niezmodyfikowanym. Nie była jednak w stanie wykonać pełnego cyklu pracy, a wskazane przez nią problemy pokrywały się z wynikami analizy przeprowadzonej z wykorzystaniem komputerowego modelu człowieka. Dalsze badania prowadzone były więc na stanowisku wstępnie zmodyfikowanym. Po wykonaniu kilku cykli czynności roboczych na tym stanowisku badany pracownik zaproponował własne modyfikacje. Polegały one w większości na przestawieniu



Rys. 3. Niepełnosprawny pracownik podczas badań z wykorzystaniem rzeczywistości wirtualnej (z lewej) i widziany przez niego obraz (z prawej)

Fig. 3. A person in a wheelchair during work in the virtual reality environment (left) and the image displayed in the head-mounted display at the same moment (right)

elementów stanowiska, co prowadziło do ograniczenia konieczności przemieszczania się po nim.

Celem kolejnego etapu badań była ocena wprowadzonych modyfikacji. Podstawą tej oceny była analiza czasu i liczby ruchów potrzebnych do wykonywania poszczególnych czynności. Wielkości te były porównywane ze sobą, a również z poszczególnymi wersjami stanowiska, tj. wstępnie zmodyfikowaną oraz z modyfikacjami zaproponowanymi przez osobę badaną.

Analiza zebranych informacji pozwoliła na ocenę ilościową wprowadzonych modyfikacji. Możliwe było wskazanie, które modyfikacje miały większy wpływ na liczbę wykonywanych ruchów oraz na czas wykonywania konkretnych czynności.

Podstawowym efektem zmian dokonanych w środowisku rzeczywistości wirtualnej było zmniejszenie liczby ruchów pracownika, koniecznych do wykonania zadania roboczego. Zaproponowana przez pracownika zmiana konfiguracji elementów stanowiska pracy wpłynęła przede wszystkim na ograniczenie konieczności przemieszczania się. Zmiana rozmieszczenia elementów sterujących wpłynęła z kolei na lepsze rozłożenie czynności związanych z obsługą, co pozwoliło skrócić czas wykonywania tych zadań. Wszystkie te zmiany przełożyły się na zmniejszenie liczby ruchów tak pracownika, jak i jego rąk w trakcie kompletnego cyklu pracy.

Podsumowanie

Dokonana w opisanym przykładzie analiza dostosowania stanowiska pracy do potrzeb pracownika poruszającego się na wózku inwalidzkim umożliwiła opracowanie modyfikacji pozwalających na podjęcie przez niego pracy. Dokonano także oceny wprowadzonych zmian. Materiał ten stanowi więc bardzo istotne źródło informacji dla inżyniera, którego zadaniem jest opracowanie konkretnych rozwiązań technicznych w procesie projektowania stanowiska pracy.

Jak już podkreślono, do kwestii dostosowania stanowisk pracy dla osób niepełnosprawnych podchodzić należy indywidualnie, można jednak brać pod uwagę określone grupy pracowników, zamiast poszczególnych osób. Na podstawie zaprezentowanego przykładu można stwierdzić, że dostosowane stanowisko umożliwi pracę również innym osobom



poruszającym się na wózkach inwalidzkich, jeżeli zasięg ich kończyn górnych będzie podobny.

Podczas badań nie rozważano kwestii obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego w trakcie wykonywania pracy, nie analizowano również problemu widoczności na stanowisku pracy. Zagadnienia te są możliwe do uwzględnienia w systemie rzeczywistości wirtualnej po przeprowadzeniu dodatkowych prac.

Opisana metoda postępowania nie ogranicza się wyłącznie do prac na rzecz osób niepełnosprawnych – identyczną metodykę zastosować można podczas projektowania stanowiska pracy dla pracowników w pełni sprawnych. Wynika z tego, że rzeczywistość wirtualna ma bardzo duży potencjał w zakresie projektowania i badań stanowisk pracy i może przyczynić się do polepszenia bezpieczeństwa i wygody pracy.

PIŚMIENNICTWO

- [1] A. Chłoń-Domińczak, D. Poznańska *Promocja zatrudnienia na otwartym rynku pracy. Proponowane działania w Polsce*. Międzynarodowa Organizacja Pracy, Budapeszt 2007
- [2] S. Bryson *Virtual Reality: Definition and Requirements* <http://www.nas.nasa.gov/Software/VWVT/vr.html>
- [3] Z. Nivolianitou, O. N. Aneziris and K. Nasis *Virtual Reality applications for improving safety in the process industry*, In *Safety and Reliability for Managing Risk* (Guedes Soares & Zio, Eds), Taylor & Francis, London 2006
- [4] T. S. Mujber, T. Szeci and M. S. J. Hashmi *Virtual reality applications in manufacturing process simulation*, "Journal of Materials Processing Technology", 155-156, pp. 1834-1838, 2004
- [5] P. Budziszewski, A. Grabowski, J. Jankowski, M. Milanowicz *Wykorzystanie technik rzeczywistości wirtualnej do wspomaganie projektowania stanowisk pracy*, „Mechanik” 7/2010, pp. 501-508, 2010
- [6] P. Foster and A. Burton *Virtual reality in improving mining ergonomics, Application of Computers and Operations Research in the Minerals Industries (APCOM)*, South African Institute of Mining and Metallurgy, 2003
- [7] A. Gedliczka, P. Pochopień, A. Szklarska, Z. Welon *Atlas miar człowieka, dane do projektowania i oceny ergonomicznej*, Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa 2001

Publikacja opracowana na podstawie wyników uzyskanych w ramach I etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” dofinansowywanego w latach 2008-2010 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.