

Mgr inż. Dariusz KALWASIŃSKI

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

PRAKTYCZNY TEST SYMULATORA SUWNICY W ASPEKCIE SYMULACJI WRAŻENIA DOTYKU

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki z przeprowadzonych testów sprawdzających funkcjonalność i przydatność symulatora suwnicy w prowadzeniu szkolenia operatorów suwnic. W praktycznych testach udział wzięli operatorzy suwnic, instruktorzy szkoleniowi i pracownicy służb bhp. Prezentowane wyniki dotyczą subiektywnego postrzegania funkcjonalności symulatora i jego przydatności w prowadzeniu szkoleń oraz poznania przyczyn powstawania zdarzeń wypadkowych występujących w procesie transportowania ładunków za pomocą suwnicy. Testy te wykazały, że szkolenie z użyciem symulatora suwnicy umożliwi zwiększenie umiejętności praktycznych przyszłych operatorów poprzez przećwiczenie możliwości manipulowania ładunkiem w środowisku pracy, a także uczestniczenie w zdarzeniach wypadkowych inscenizowanych w tym środowisku.

PRACTICAL TEST OF OVERHEAD CRANE SIMULATOR IN THE CONTEXT OF THE SENSE OF TOUCH SIMULATION

Abstract: The present article presents the results of tests performed, assessing functionality and usefulness of overhead crane simulator while conducting trainings of overhead crane operators. Practical tests involved overhead crane operators, training instructors and Safety and Hygiene of Work employees. The results concern subjective perception of the simulator's functionality as well as its usefulness in training process and learning the reasons of occurrence of accident situations occurring in the process of transporting loads using the overhead crane. The tests showed that trainings using the overhead crane simulator will enable improvement of practical skills of the future operators by exercising possibilities of load maneuvering in the work environment, as well as participating in accident situations inscenized in this environment.

Słowa kluczowe: wypadki, symulator, suwnica, rzeczywistość wirtualna (VR)
Key words: accidents, simulator, overhead crane virtual reality (VR)

1. WPROWADZENIE

W Polsce od 2009 r. liczba użytkowanych suwnic w przemyśle wzrosła o ok. 4,1%. W październiku 2012 roku liczba ta wyniosła ok. 35070¹ suwnic będących pod nadzorem Urzędu Dozoru Technicznego (UDT). Użytkowanie ich wiąże się z szeregiem wypadków w miejscu pracy, wśród których najczęstszą przyczyną jest brak doświadczenia operatora. Od

¹ Ogólna liczba suwnic pod dozorem w Polsce, dane wg UDT, stan na dzień 18.10.2012.

2008 roku liczba wypadków z udziałem operatorów suwnic pracujących rok lub krócej niż rok szacuje się na poziomie 33% i ma tendencję wzrostową [1]. Ponadto corocznie UDT (od 2008 roku) wydaje około 20 tysięcy² nowych zaświadczeń dla operatorów suwnic. Wiąże się to z prowadzeniem szeregu szkoleń przez UDT i inne firmy szkoleniowe. Dla ujednoczenia wiedzy operatorów suwnic opracowano minimalne wymagania dotyczące programu szkoleniowego³ teoretycznego i praktycznego, według którego prowadzone są szkolenia dla osób ubiegających się o uzyskanie zaświadczenia kwalifikacyjnego do obsługi urządzeń transportu bliskiego (UTB), w tym suwnic.

Opracowany i testowany symulator suwnicy może być wykorzystywany w szkoleniu teoretycznym operatorów suwnic podczas omawiania zagadnień związanych z występowaniem zdarzeń wypadkowych podczas procesu użytkowania suwnicy (zgodnie z 16 punktem *Programu ramowego*³ UDT), jak również może zostać użyty jako narzędzie wspomagające zajęcia praktyczne prowadzone na rzeczywistej suwnicy. Wykorzystanie symulatora w zajęciach praktycznych nie zastąpi oczywiście szkolenia na rzeczywistej suwnicy, ale umożliwi osobie szkolonej zapoznanie się z funkcjonowaniem suwnicy, przećwiczenie umiejętności w podejmowaniu, manipulowaniu i odstawianiu ładunków w wirtualnym środowisku pracy oraz zapoznanie się z okolicznościami prowadzącymi do wypadków występujących podczas użytkowania suwnic.

Symulatory jako narzędzia szkoleniowe dla operatorów maszyn są szybko rozwijającym się segmentem usług szkoleniowych. Wykorzystywane są przede wszystkim w szkoleniu operatorów pojazdów kołowych (samochodów osobowych, pojazdów ciężarowych, pojazdów budowlanych) [2-5], lokomotyw, statków powietrznych czy też operatorów tokarek [6], frezarek [7], automatów lakierniczych [8] lub spawalniczych [9] oraz żurawi i dźwignic [10]. Wykorzystanie symulatorów w szkoleniu zwiększa nie tylko ich atrakcyjność, lecz także podnosi umiejętności i wiedzę pracowników, przyspiesza proces szkoleniowy oraz wpływa na zmniejszenie kosztów prowadzonych szkoleń [11].

W artykule przedstawiono wyniki z przeprowadzonych testów użycia symulatora suwnicy w szkoleniu operatorów suwnic. Uzyskane wyniki dotyczą subiektywnego postrzegania funkcjonalności symulatora i jego przydatności w prowadzeniu szkoleń przez operatorów suwnic, instruktorów szkoleniowych i pracowników służ bhp. Testy te wykazały, że szkolenie z użyciem symulatora suwnicy umożliwia przećwiczenie możliwości manipulowania ładunkiem w środowisku pracy oraz uczestniczenie w inscenizowanych zdarzeniach wypadkowych, których ze względów bezpieczeństwa nie można prowadzić w warunkach rzeczywistych.

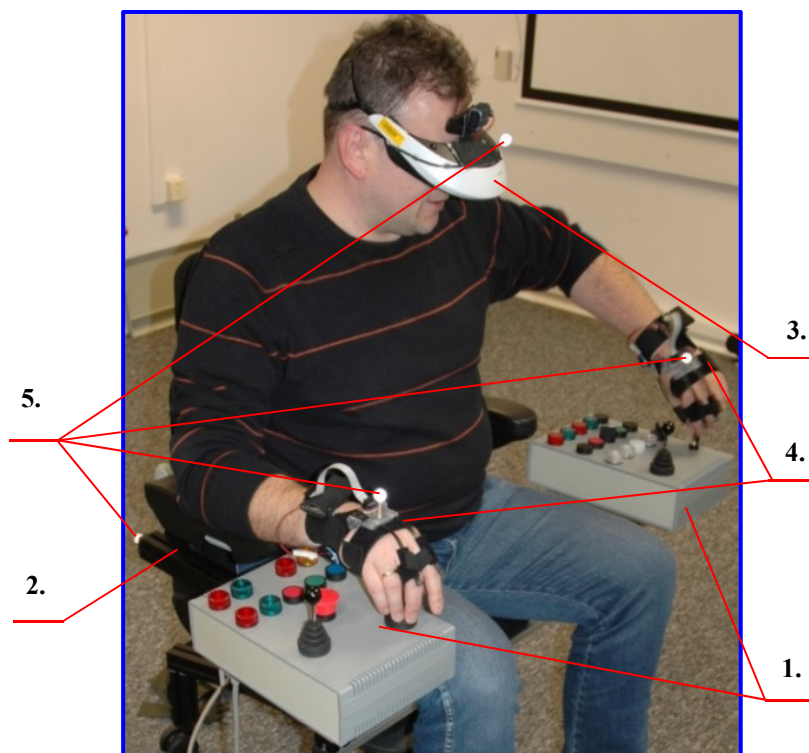
2. CHARAKTERYSTYKA SYMULATORA SUWNICY

Symulator umożliwia symulowanie procesu manipulowania wirtualną suwnicą w wirtualnym środowisku hali produkcyjno-magazynowej [1] oraz podejmowania, transportowania i odstawiania ładunków w różnych polach odkładczych tego środowiska, tak jak to ma miejsce podczas użytkowania rzeczywistych suwnic. Ponadto podczas prowadzonej symulacji inicjowane są typowe zdarzenia wypadkowe, jakie mogą zaistnieć podczas użytkowania suwnicy, np.: uderzenie transportowanym ładunkiem w awatara pracownika pracującego na

² Ogólna liczba wydanych nowych zaświadczeń dla operatorów suwnic, dane wg UDT, stan na dzień 18.10.2012: 2008 – 27300; 2009 – 16437; 2010 – 17397; 2011 – 21302; 2012 – 16994.

³ Program ramowy nr 2/2007/OUTB opracowany przez UDT w aspekcie *Minimalnych wymagań dotyczących programów szkoleń dla osób ubiegających się o uzyskanie zaświadczenia kwalifikacyjnego do obsługi urządzeń transportu bliskiego (UTB)*.

stanowisku pracy; uderzenie transportowanym ładunkiem w innych pracownikach poruszających się po drogach komunikacyjnych wirtualnego środowiska; przygnięcie awatara pracownika spadającym ładunkiem; uderzenie transportowanym ładunkiem w obiekty usytuowane na stanowiskach pracy lub w środki transportowe poruszające się po drogach komunikacyjnych; zniszczenie ładunku wskutek wypięcia się z haka lub odłączenia się z elektromagnesu (w wyniku podjęcia więcej niż dwóch wiązek prętów metalowych); uderzenie hakowego podejmowanym ładunkiem itp. Zdarzenia te inicjowane są w momencie popełnienia błędu przez użytkownika symulatora [11-12]. Zastosowany w testach symulator suwnicy to wirtualne środowisko produkcyjno-magazynowe połączone z osprzętem w postaci dwóch rzeczywistych paneli sterowniczych (rys. 1, pkt 1) zamontowanych na siedzisku użytkownika (rys. 1, pkt 2), infohelmu (rys. 1, pkt 3), inforekawic (rys. 1, pkt 4) oraz systemu śledzenia ruchu użytkownika w postaci sensorów umieszczonych na infohelmie i inforekawicach (rys. 1, pkt 5). Rozwiązanie to umożliwiło zanurzenie użytkownika w wirtualnym środowisku, interaktywne manipulowanie obiektami w tym środowisku oraz symulowanie wrażeń dotyku podczas wywierania nacisku na elementy sterownicze [11].



Rys. 1. Stanowisko symulatora suwnicy

- 1) lewy i prawy panel pulpitu sterowniczego symulatora, 2) siedzisko, 3) infohelm, 4) inforekawice, 5) sensory ruchu systemu śledzenia

3. TEST SYMULATORA SUWNICY

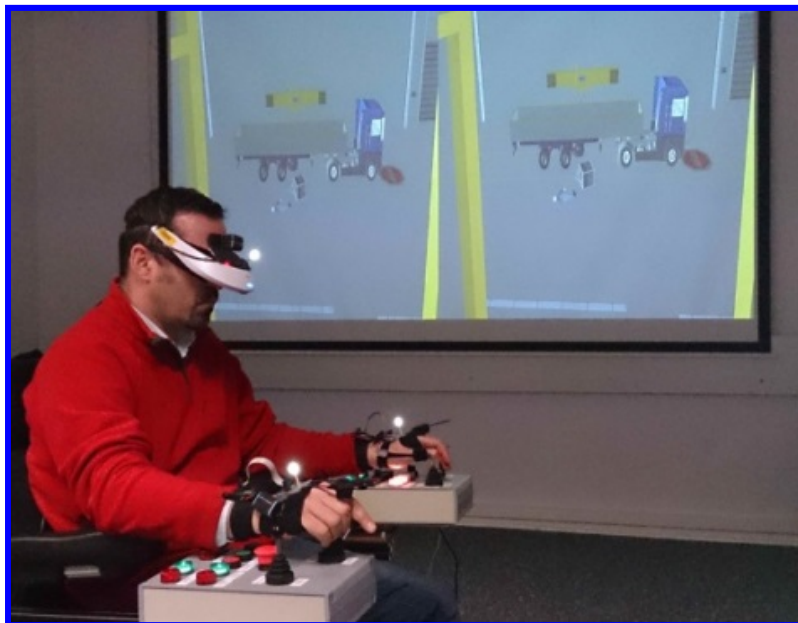
Wykonany symulator poddano testom sprawdzającym funkcjonalność i jego przydatność w szkoleniu przyszłych operatorów suwnic. W testach uczestniczyło jednaście osób, w tym sześciu operatorów suwnic (z co najmniej dwuletnim doświadczeniem i aktualnie wykonujących swój zawód), trzech instruktorów szkoleniowych i dwóch pracowników służb BHP z uprawnieniami obsługi suwnic. Test symulatora prowadzono zgodnie z opracowanym harmonogramem, który oparty jest o doświadczenia uzyskane podczas prowadzonych szkoleń

operatorów wózków jezdniowych z wykorzystaniem wirtualnego symulatora podnośnikowego wózka widłowego [13]. Harmonogram, w którym zawarto zakres przeprowadzonego testu, jego cel oraz czas realizacji poszczególnych działań, obejmował:

- zapoznanie uczestnika testów z symulatorem suwnicy wraz z prezentacją jego funkcjonowania,
- próbny trening użytkownika symulatora,
- zasadniczą interaktywną symulację procesu pracy użytkownika wirtualnej suwnicy wraz z możliwością odwzorowania zdarzeń wypadkowych.

Przed rozpoczęciem testów uczestników zapoznano z funkcjonowaniem symulatora i jego elementów składowych. Podczas prezentacji symulatora (tj. sposobu jego działania) omówiono funkcje poszczególnych elementów sterowniczych obu rzeczywistych paneli sterowniczych, a także zadania, jakie uczestnicy testów będą musieli wykonać. Na koniec omówiono dolegliwości mogące zaistnieć podczas prowadzenia symulacji z wykorzystaniem symulatora, np. zawroty lub bóle głowy, złe samopoczucie, wymioty itp. Testowanie symulatora przez uczestników poprzedzone było krótki treningiem (trwającym ok. 10 minut), gdzie uczestnicy (rys. 2) mogli zapoznać się z wirtualnym środowiskiem produkcyjno-magazynowym oraz osprzętem wykorzystanym w symulatorze. W testach uczestniczyły każdorazowo dwie osoby.

Uczestnicy testu przeprowadzili interaktywne symulacje użytkownika wirtualnej suwnicy wyposażonej w trawersę z elektromagnesem, a następnie wyposażonej w trawersę z hakiem. Zadanie polegało na przetransportowaniu ładunków do miejsca docelowego (wskazanego przez instruktora) w sposób bezpieczny. Suwnicą wyposażoną w elektromagnes transportowane są długie metalowe wiązki prętów, natomiast suwnicą wyposażoną w hak kosze transportowe z ładunkiem lub bez. Symulacje trwały po ok. 15 minut, a po każdej z nich następowała przerwa.

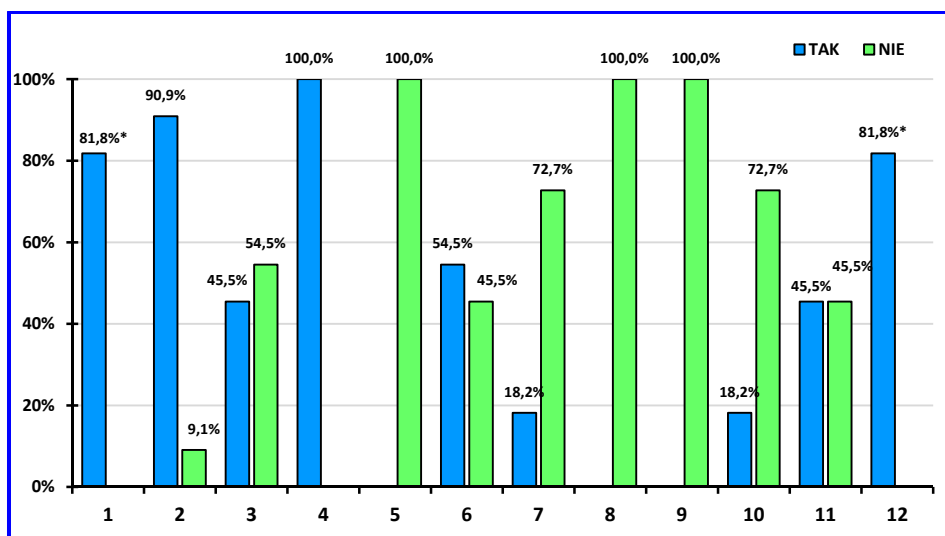


Rys. 2. Uczestnik testów prowadzący interaktywną symulację użytkownika wirtualnej suwnicy

4. WYNIKI TESTU

Podstawową metodą oceny przydatności symulatora suwnicy w szkoleniu i funkcjonującego w nim wirtualnego środowiska była metoda User Testing [14], polegająca na przeprowadzeniu serii testów z udziałem osób niebędących ekspertami w dziedzinie rzeczywistości wirtualnej i symulatorów. Uczestnicy testów po interaktywnej symulacji udzielali odpowiedzi na pytania zawarte w ankiecie dotyczącej oceny funkcjonalności i przydatności symulatora suwnicy w szkoleniu operatorów suwnic. Pytania pogrupowano w pięciu kategoriach oceny, w zakresie: komfortu prowadzenia szkolenia, interfejsu sterowania symulatorem, interaktywnej symulacji użytkowania wirtualnej suwnicy, symulacji szkoleniowej funkcjonującej w symulatorze oraz przydatności zdobytej wiedzy podczas szkolenia z użyciem symulatora.

Testy funkcjonalności symulatora i jego przydatność do szkolenia zostały przeprowadzone w pomieszczeniu laboratoryjnym CIOP-PIB przy ustalonej temperaturze 20°C. Według 90,9% uczestników testów (rys. 3) warunki w pomieszczeniu były optymalne do użytkowania symulatora i dość komfortowe. Ponadto połowa uczestników 54,5% stwierdziła, że temperatura była odpowiednia. Pozostała część uczestników podczas prowadzonych testów wnioskuje o obniżenie temperatury w pomieszczeniu. Większość uczestników stwierdziła również, że zastosowany osprzęt (tj.: infohełm, inforękawice, czy też siedzisko) nie powoduje dyskomfortu podczas prowadzonego testu.

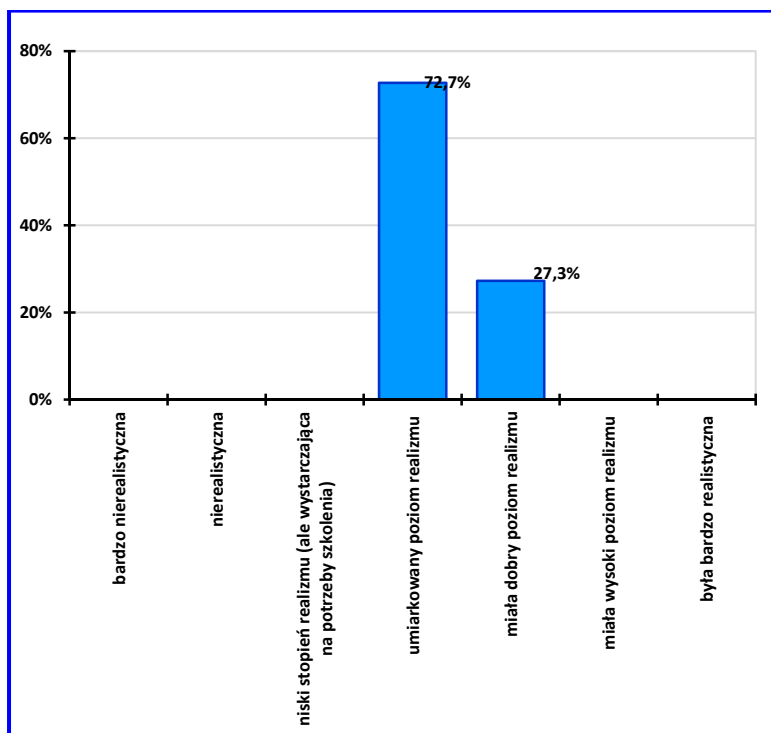


Rys. 3. Rozkład udzielonych odpowiedzi na pytania dotyczące komfortu przeprowadzenia szkolenia

1. Przekazane instrukcje były zrozumiałe, 2. Pomieszczenie z symulatorem było komfortowe, 3. W pomieszczeniu było gorąco, 4. Osprzęt używany podczas testu był komfortowy, 5. Infohełm był ciężki, 6. W infohełmie było gorąco, 7. Inforękawice (z markerami) były niewygodne, 8. Inforękawice powodowały pocenie się rąk, 9. Osprzęt przeszkadzał w testach, 10. Przeszkadzał zwisający kabel z infohełmu, 11. Przeszkadzało mi to, że inne osoby mnie obserwowały, 12. Siedzisko w symulatorze jest wygodne i stabilne

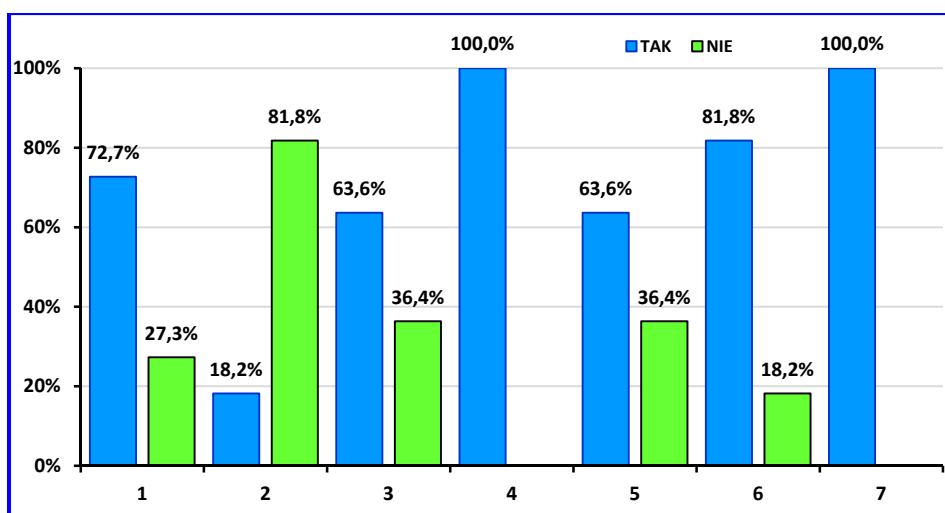
(*brak pełnej 100% odpowiedzi oznacza, że uczestnik zaznaczył odpowiedź „Nie wiem” – ze względu na czytelność wykresu jej nie uwzględniono)

Zastosowane infokawice były wygodne i nie utrudniały obsługi symulatora oraz nie powodowały pocenia się dłoni. Natomiast zastosowany infohełm umożliwił stereoskopowe wyświetlanie obrazu z wirtualnego środowiska tuż przed oczyma użytkownika symulatora w sposób dość realistyczny (72,7% uczestników testów – rys. 4). Uzyskany wynik dotyczący realizmu wyświetlanego obrazu ma potwierdzenie również w przeprowadzonych badaniach przez zespół J.R. Juang [15]. Wynika z nich, że uczestnicy badań odczuwali środowisko bardziej intuicyjnie i realistycznie podczas używania stereoskopowego obrazu.



Rys. 4. Rozkład udzielonych odpowiedzi na pytanie dotyczące realizmu prowadzonej symulacji

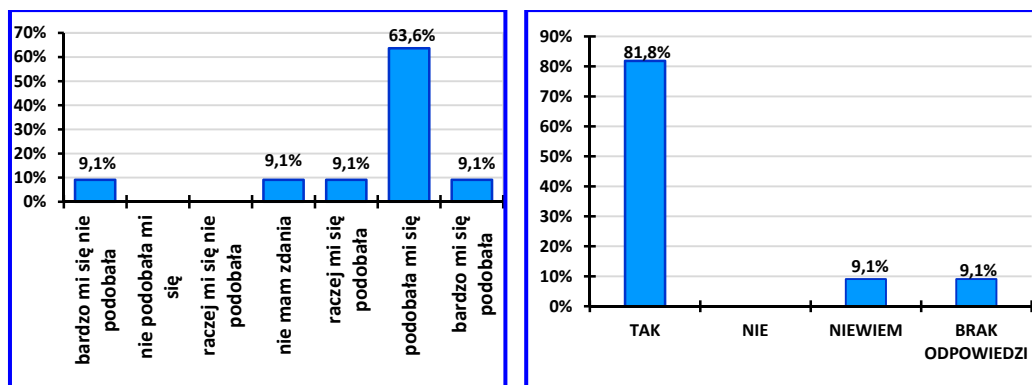
Czas przeznaczony na trening (rys. 5), wg 72,7% uczestników był wystarczający do zapoznania się z funkcjonowaniem elementów sterowniczych obu rzeczywistych paneli (rys. 1, p. 1) i ich odpowiedników w wirtualnym środowisku. Pozwolił uczestnikom na naukę obsługi wirtualnej suwnicy (81,8% uczestników), co w konsekwencji przyczyniło się do swobodnego skoncentrowania się na wykonywanych zadaniach podczas symulacji zasadniczej (63,6%). Większość uczestników podczas testów nie miała problemu z identyfikacją, kim są w wirtualnym środowisku i jakie zadanie mają do wykonania.



Rys. 5. Rozkład udzielonych odpowiedzi na pytania dotyczące oceny interfejsu sterowania

1. Czas przeznaczony na symulację próbną jest wystarczający do zapoznania się ze środowiskiem i z funkcjonowaniem elementów sterowniczych suwnicy; 2. Nauka obsługi narzędzia i użytkowania wirtualnej suwnicy jest trudna; 3. Po symulacji próbnej mogłem swobodnie skoncentrować się na wykonaniu zadania podczas symulacji zasadniczej, a nie poszukiwać elementów sterowniczych narzędzia; 4. Po rozpoczęciu symulacji mogłem łatwo zorientować się, kim jestem w wirtualnym środowisku i jakie mam zadanie do wykonania; 5. Potrzebowałem mało czasu, aby dostosować się do interfejsu sterowania wirtualną suwnicą; 6. Sterowanie suwnicą za pomocą interfejsu jest intuicyjne; 7. Interfejs sterowania wirtualną suwnicą jest łatwy w użyciu

Obsługa symulatora w zakresie prowadzenia interaktywnej symulacji użytkowania wirtualnej suwnicy za pomocą interfejsu sterowania nie jest nadmiernie skomplikowana i umożliwia jego intuicyjne użytkowanie (81,8% uczestników). Nie stanowi również trudności w manipulowaniu elementami składowymi suwnicy podczas podejmowania ładunków za pomocą haka lub elektromagnesu. Podczas tej symulacji inscenizowane były zdarzenia wypadkowe, które wg 81,8% uczestników były odwzorowane bardzo realistycznie. Zaistnienie tych zdarzeń uzależnione było od błędów popełnionych przez operatora wirtualnej suwnicy. Uczestnicy testów stwierdzili, że osobiste uczestniczenie w danym zdarzeniu wypadkowym i jego obserwacja przełoży się na zwiększenie świadomości pracowników nt. okoliczności ich powstawania w miejscu pracy. Ponadto według 90,9% uczestników, interaktywna symulacja w pełni zaangażowała ich zmysły wzroku i dotyku. A interakcja ze środowiskiem była bardzo dobra i nie powodowała widocznych opóźnień lub gwałtownych szarpnięć podczas symulacji. Interaktywna symulacja użytkowania suwnicy oraz czynności wykonywane podczas jej użytkowania pokrywają się z doświadczeniem zawodowym 72,7% uczestników w przeprowadzonych testach. Większość uczestników wskazała, że forma prowadzenia szkolenia z użyciem symulatora suwnicy spodobała im się (rys. 6a), a 81% uczestników stwierdziła, że będzie dobrym narzędziem uzupełniającym tradycyjne szkolenie operatorów suwnic (rys. 6b).



Rys. 6. Rozkład udzielonych odpowiedzi na pytania dotyczące formy szkolenia (a) i wykorzystania symulatora w szkoleniu operatorów suwnic (b)

5. DYSKUSJA

W artykule przedstawiono symulator suwnicy umożliwiający prowadzenie ćwiczeń w podejmowaniu, manipulowaniu i odstawianiu ładunków w wirtualnym środowisku oraz osobiste uczestniczenie w inscenizowanych zdarzeniach wypadkowych. Przeprowadzone testy symulatora dostarczyły praktycznych informacji na temat samego symulatora, możliwości jego wykorzystania w szkoleniu operatorów suwnic oraz potwierdziły, że takie narzędzie jak najbardziej powinno być wykorzystywane w szkoleniach przyszłych operatorów. Tylko jedna osoba z uczestników testów stwierdziła, że taka forma szkolenia jej nie odpowiada (rys. 6a). Zaobserwowane niedogodności użytkowania symulatora podczas testów, wg 45,5% uczestników to udział osób postronnych, w pomieszczeniu z symulatorem, które obserwowały jego poczynania, oraz parowanie ekranów w infohelmie w skutek pocenia się podczas symulacji, gdzie po pewnym czasie uczestnikom robiło się po prostu gorąco (54,5% uczestników testu). W dwóch przypadkach prowadzonych testów zaistniały problemy z ustabilizowaniem obrazu w środowisku (powolny, ale sukcesywny obrót całego środowiska). Analiza problemu pokazała, że pewne rodzaje okularów stosowane przez uczestników wprowadzały zakłócenia w układzie z żyroskopem umieszczonym w infohelmie. Przesunięcie całego układu na tył infohelmu rozwiązało problem.

W trakcie prowadzonych testów, żaden z uczestników nie skarżył się na dolegliwości związane z użytkowaniem symulatora suwnicy, tj.: bóle lub zawroty głowy, osłabienie. Dolegliwości te związane są z wykorzystaniem techniki rzeczywistości wirtualnej, a dokładniej z poruszającym się obrazem środowiska wirtualnego tuż przed oczyma użytkownika w infohelmie, w momencie gdy użytkownik znajduje się w jednym miejscu. Efekt ten może powodować podobne objawy i dolegliwości jak choroba lokomocyjna, między innymi złe samopoczucie (tj.: osłabienie, zawroty lub bóle głowy, odruch wymiotny itp.). W przypadku gdy uczestnik (podczas prowadzonej symulacji) poczuje, że ma symptomy wyżej wymienionych dolegliwości powinien zaprzestać symulacji oraz zamknąć oczy i powoli zdjąć infohelm z głowy, w między czasie głęboko powinien oddychać. Postępowanie to skutecznie zastosowano podczas prowadzenia badań i szkoleń z użyciem symulatora wózka jezdniowego [13].

W przyszłości planuje się rozszerzenie zakresu środowiska wirtualnego o nowe zadania do wykonania przez użytkowników symulatora i nowe zdarzenia wypadkowe. Przeprowadzony test pokazał również jego słabe strony w części mechanicznej i softwarowej symulatora, które to konsekwentnie były usuwane.

6. PODSUMOWANIE

Wyniki przeprowadzonego testu wskazują na dużą przydatność opracowanego symulatora suwnicy we wspomaganiu programów szkoleniowych organizowanych dla operatorów suwnic. Wykorzystanie go w szkoleniu umożliwia bezpośrednio zapoznanie operatorów z sytuacjami (okolicznościami) prowadzącymi do powstawania zdarzeń wypadkowych podczas użytkowania suwnicy oraz konsekwencjami ich zaistnienia. Ponadto umożliwia wyrobienie prawidłowych nawyków podczas manipulowania ładunkami w środowisku pracy oraz kształtowania wśród nich zachowań pro-bezpiecznych. Wg 69,7% uczestników przeprowadzonego testu uważa, że zdobyta wiedza jest przydatna i może być wykorzystana w działaniach na rzecz poprawy bezpieczeństwa pracy w ich przedsiębiorstwie lub podczas prowadzonych szkoleń z zakresu BHP. Umożliwia również prowadzenie prezentacji zdarzeń wypadkowych z udziałem suwnic, a których ze względów bezpieczeństwa nie można przeprowadzić w warunkach rzeczywistych. Uzyskane wyniki posłużą również w badaniach w aspekcie symulowania wrażenia dotyku związanego z interakcją z elementami sterowniczymi i manipulowanymi przedmiotami w środowisku rzeczywistości wirtualnej dla potrzeb szkoleń.

Publikacja opracowana na podstawie wyników uzyskanych w ramach II etapu programu wieloletniego pn. *Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy* dofinansowywanego w latach 2011-2013 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej.

Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

LITERATURA

- [1] Kalwasiński D.: *Koncepcja wykorzystania rzeczywistości wirtualnej do odwzorowania zdarzeń wypadkowych występujących podczas użytkowania suwnic (Concept of use of virtual reality to present accidents occurring during the of overhead crane)*, „Przegląd Mechaniczny” nr 1, 2014, s. 19-22.
- [2] Stork A.: *Versatile augmented reality simulation for training in the safe use of construction machinery* – brochure.
- [3] Segura A., Moreno A., Brunetti G., Henn T.: *Interaction and Ergonomics Issues in the Development of a Mixed Reality Construction Machinery Simulator for Safety Training*, “Ergonomics and Health Aspects”, HCII 2007, LNCS 4566, pp. 290-299, 2007.
- [4] *Immersive Technologies, New PRO3 Simulator and Caterpillar 793F the perfect match in Tucson*, 2010,
http://www.immersivetechologies.com/news/news2010/news_2010_08.htm.
- [5] Ahmad O.: *Driving simulation scenario definition based on performance measures*, Paper presented at the Driving Simulation Conference – North America, Orlando, FL, 2005.
- [6] Kalwasiński D., Myrcha K.: *Środowisko wirtualne dla potrzeb interaktywnej symulacji obsługi tokarki (Virtual environment for interactive simulation of lathe operation)*, “Mechanik” 7/2010, pp. 187-194 [CD].
- [7] Fuhua L., Lan Y., Duffy V.G., Chuan-Jun S.: *Developing virtual environments for industrial training*, Elsevier Information Sciences, number 140, 2002, pp. 153-170.

- [8] *Virtual Reality Goes to School*, “New York Times” (2012), http://www.nytimes.com/2012/05/20/automobiles/virtual-reality-goes-to-school.html?_=1.
- [9] Chambers T.L., Aglawe A., Reiners D., White S., Borst C.W., Bajpayee A.: *Real-time simulation for a virtual reality-based MIG welding training system*, SI: MANUFACTURING AND CONSTRUCTION, Springer-Verlag London 2010.
- [10] Huang J.-Y.: *An Omnidirectional Stroll-Based Virtual Reality Interface and Its Application on Overhead Crane Training*, “IEEE Transactions on Multimedia”, vol. 5, no. 1, MARCH 2003 nr 39.
- [11] Kalwasiński D., Filipek D.: *Narzędzie komputerowe do wspomagania szkoleń operatorów suwnic (Computer tool to support trainings of overhead crane operators)*, „Mechanik” 07/2013, s. 297-306 [CD].
- [12] Kalwasiński D.: *Symulacja sytuacji wypadkowych w procesie pracy z wykorzystaniem techniki VR (Simulation of accident situations in machining using VR)*, „Mechanik” nr 7/2011, s. 387-396 [CD].
- [13] Saulewicz A., Myrcha K., Kalwasiński D.: *Stosowanie wirtualnego symulatora podnośnikowego wózka widłowego do szkolenia operatorów (Application of virtual fork lift simulator for the training of the operators)*, X Szkoła Komputerowego Wspomagania Projektowania, Wytwarzania i Eksploatacji, WAT, Jurata, 05.2006, s. 223-230.
- [14] Bach C., Scapin D.: *Comparing Inspections and User Testing for the Evaluation of Virtual Environments*, “Intl. Journal of Human-Computer Interaction”, 26(8), pp. 786-824, 2010.
- [15] Juang J.R., Hung W.H., Kang S.C.: *SimCrane 3D⁺: A crane simulator with kinesthetic and stereoscopic vision*, “Advanced Engineering Informatics” 27 (2013), pp. 506-518.