

USABILITY ANALYSIS OF THE VIRTUAL REALITY TECHNIQUES TO RISK ASSESSMENT MADE IN THE COURSE OF MACHINERY DESIGN PROCESS

BADANIA UŻYTECZNOŚCI TECHNIK RZECZYWISTOŚCI WIRTUALNEJ DO PROWADZENIA OCENY RYZYKA PRZY PROJEKTOWANIU MASZYN

Marek Dźwiarek, Tomasz Strawiński, Jarosław Jankowski

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
e-mail: madzw@ciop.pl

Abstract: *The scope of the project covers the development of a method for assessment of risk related to machinery, based on the computer-aided virtual reality technique. The investigations started with the formulation of the matrix of correspondence between the hazards and functions performed by the VR using document-based inspection method based on documentation of the 3 machines. Further investigations have been conducted by Expert Inspection method using virtual models of 3 machines. It was proved that the immersive projection technology were highly usable in the assessment of risk involved by mechanical hazards and arriving at more accurate results necessary for machine assessment in view of ergonomic then the HDM techniques. In further research the usability of the developed method will be investigated using the User Testing method.*

Keywords: *safety of machinery, risk assessment, virtual reality*

Streszczenie: *Celem projektu jest opracowanie metody prowadzenia oceny ryzyka związanego z obsługą maszyn, wykorzystującej komputerową technikę rzeczywistości wirtualnej. Prace rozpoczęto od sporządzenia macierzy przyporządkowania zagrożeń do funkcji realizowanych przez technikę VR, stosując metodę analizy dokumentacji z wykorzystaniem dokumentacji technicznej 3 maszyn. Następnie przeprowadzono badania metodą oceny eksperckiej wirtualnych modeli 3 maszyn. Badania wykazały, że techniki projekcyjne są najbardziej przydatne przy ocenie ryzyka związanego z zagrożeniami mechanicznymi i do oceny maszyny pod względem ergonomicznym, natomiast technika HMD okazała się mało użyteczna. W dalszych badaniach użyteczność opracowanej metody zostanie zbadana metodą testowania przez użytkownika.*

Słowa kluczowe: *bezpieczeństwo maszyn, ocena ryzyka, rzeczywistość wirtualna*

1. Wstęp

Obowiązek prowadzenia oceny ryzyka na możliwie jak najwcześniejszym etapie projektowania maszyny wynika zarówno z dobrych praktyk inżynierskich, jak i z wymogów prawnych. Dyrektywa 2006/42/WE wymaga:

„Producent maszyny lub jego upoważniony przedstawiciel musi zapewnić przeprowadzenie oceny ryzyka w celu określenia wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa, które mają zastosowanie do maszyny; zatem maszyna musi być zaprojektowana i wykonana z uwzględnieniem wyników oceny ryzyka.

Wymaganie to w sposób bezpośredni narzuca na producenta maszyny obowiązek przeprowadzenia oceny ryzyka. Ogólne zasady oceny ryzyka są zawarte w normie PN-EN ISO 12100:2011. Opisane w tej normie procedury i zasady postępowania wskazują na istotne znaczenie systematyczności prowadzenia oceny ryzyka oraz jej właściwego dokumentowania. Specyfika tych działań z natury wskazuje na zastosowanie do celów oceny ryzyka komputerowych narzędzi wspomagających jej prowadzenie. Dlatego też coraz powszechniej prowadzone są prace mające na celu opracowanie takich narzędzi. Np. w CIOP-PIB zostały opracowane i są z powodzeniem stosowane metodyki oceny ryzyka na stanowiskach pracy (np. narzędzie komputerowe pod nazwą STER). Opracowane zostały także narzędzia komputerowe wspierające prowadzenie oceny ryzyka przy projektowaniu maszyn (Dźwiarek 2008).

Doświadczenia praktyczne, zdobyte przy prowadzeniu oceny ryzyka na etapie projektowania systemów wytwórczych, zaprezentowane w Dźwiarek 2010 pokazały, że nawet niezbyt szczegółowe modele wirtualne zautomatyzowanych systemów wytwarzania mogą znacznie usprawnić niektóre etapy prowadzenia oceny ryzyka. Doświadczenia te potwierdziły się przy opracowaniu metody wirtualnego modelowania stref zagrożenia do wspomagania doboru urządzeń ochronnych do maszyn (Dźwiarek & Jankowski (2011)). Zamierzeniem projektu badawczego realizowanego w CIOP-PIB jest wykorzystanie najnowocześniejszych technik komputerowych do usprawnienia procesu oceny ryzyka prowadzonej przez projektantów maszyn.

Cel i Metodyka Badań

Celem naukowym projektu jest opracowanie i zademonstrowanie na praktycznych przykładach, nowej, bardziej efektywnej, metody prowadzenia oceny ryzyka związanego z obsługą maszyn, wykorzystującej komputerową technikę rzeczywistości wirtualnej (VR).

Efektami prowadzonych prac będą:

- metoda zastosowania technik rzeczywistości wirtualnej do prowadzenia oceny ryzyka przy projektowaniu maszyn,
- praktyczne przykłady demonstrujące skuteczność stosowania opracowanej metody do oceny ryzyka z wykorzystaniem techniki rzeczywistości wirtualnej,

- publikacje w czasopiśmie naukowych oraz na konferencjach międzynarodowych i krajowych.

Badania realizowane w ramach projektu dotyczą określenia przydatności technik rzeczywistości wirtualnej do określonego zastosowania, jakim jest prowadzenie oceny ryzyka na etapie projektowania maszyn. W dostępnej literaturze znanych jest szereg Metod Oceny Użyteczności technik rzeczywistości wirtualnej (Usability Evaluation Methods (UEMs)). Do najpowszechniej stosowanych należą:

- analiza dokumentacji (Document-based Inspection (DI)),
- testowanie eksperckie (Expert Inspection (EI)) i
- testowanie przez użytkowników (User Testing (UT)).

Ocena skuteczności tych metod przedstawiona została przez

DI jest metodą oceny użyteczności poprzez analizę dokumentów dotyczących wymagań, które należy spełnić i właściwości ocenianych rozwiązań (ISO / TS 16982:2000). Metoda DI stosowana jest w wielu odmianach (analiza poznawcza, zgodność z normami i przewodnikami, zgodność z wymaganiami ergonomicznymi (Scapin & Bastien 1997) itp.). Skuteczność tej metody zależy od systematyki prowadzonych analiz. Istotnym jej ograniczeniem jest fakt, że może być ona stosowana jedynie do oceny już znanych rozwiązań, zgodnie z aktualnym stanem wiedzy. Ważne są także kompetencje ekspertów, którzy tą metodę stosują.

EI jest popularną metodą oceny, stosowaną zwłaszcza w przemyśle. Jest to metoda nieformalna, polegająca na ocenie bazującej na doświadczeniu i wiedzy jednego lub kilku ekspertów. Eksperti diagnozują potencjalne problemy zgodnie z aktualnym stanem wiedzy i swoim doświadczeniem. Dzięki temu można stosunkowo łatwo zidentyfikować potencjalne ograniczenia w użyteczności ocenianych rozwiązań. Ograniczeniem tej metody jest to, że pozwala ona przewidzieć jedynie znane z posiadanych doświadczeń możliwe problemy.

Najbardziej znaną metodą jest prawdopodobnie UT. Polega ona na próbach praktycznych zastosowań opracowanych rozwiązań przez ich potencjalnych końcowych odbiorców. Celem tych prób jest zebranie spontanicznych komentarzy dotyczących użyteczności proponowanych rozwiązań, a także ocena na podstawie wskaźników mierzalnych, takich jak czas realizacji zadania, dokładność uzyskanych rezultatów, liczba popełnionych błędów.

Ocena przeprowadzona w Scapin & Bastien 1997 pokazała, że poszczególne metody różnią się zarówno skutecznością jak i rodzajem wykrywanych problemów.

2. Cechy Techniki VR

Rzeczywistość wirtualna (virtual reality VR) jest to obraz sztucznej rzeczywistości stworzony przy wykorzystaniu technologii informatycznej. Polega na multimedialnym kreowaniu komputerowej wizji przedmiotów, przestrzeni i zdarzeń. Może on reprezentować zarówno elementy świata realnego (symulacje komputerowe), jak i zupełnie fikcyjnego. Rzeczywistość wirtualna charakteryzowana jest w 2-ech aspektach (Dźwiarek et. all 2008):

- **Immersja** jest zdolnością komputerowo wygenerowanego środowiska do sprawienia wrażenia, że użytkownik jest częścią tego sztucznego środowiska, jest w nim „zanurzony”. Wrażenie immersji uzyskuje się co najmniej poprzez właściwe oddziaływanie na zmysł wzroku dzięki stereoskopowej projekcji dwóch różnych obrazów dla lewego i prawego oka.
- **Interakcja** jest terminem definiującym tryb pracy systemu komputerowego polegający na utrzymywaniu stałego kontaktu z użytkownikiem (poprzez wymianę informacji dotyczących położenia i zadawanych poleceń). Wymiana informacji odbywa się w sposób ciągły i ma bezpośredni wpływ na wykonywane zadania i wyświetlane informacje.

Najważniejszymi atrybutami rzeczywistości wirtualnej, decydującymi o możliwościach zastosowań są (Wilson et. all 1995):

- środowisko jest generowane komputerowo,
- środowisko i odczucia użytkownika są trójwymiarowe,
- użytkownik ma poczucie obecności w środowisku wirtualnym,
- użytkownik może przemieszczać się w środowisku wirtualnym,
- zachowanie się obiektów w środowisku wirtualnym odpowiada ich zachowaniu się w świecie rzeczywistym,
- występuje interakcja użytkownika i środowiska wirtualnego w czasie rzeczywistym.

Dzięki tym cechom techniki rzeczywistości wirtualnej systemy takie mogą być skuteczniejsze przy prowadzeniu analiz niż powszechnie stosowane systemy CAD/CAM. Architektura tych systemów umożliwia lepsze dopasowanie do potrzeb użytkownika. Jednocześnie VR lepiej prezentuje rzeczywiste obiekty niż systemy CAD/CAM. Cechy te uzasadniają założenie, że VR może skutecznie wspierać proces prowadzenia oceny ryzyka przez projektantów maszyn.

3. Analizy metodą przeglądu dokumentacji

Badania rozpoczęto od analizy metod oceny ryzyka stosowanych przez producentów maszyn w aspekcie możliwości wykorzystania technik rzeczywistości wirtualnej. Analizy przeprowadzone metodą przeglądu dokumentacji (Document Inspection DI) miały na celu opracowanie macierzy przyporządkowania zagrożeń do funkcji realizowanych przez, w miarę możliwości prostą, konfigurację sprzętową i programową techniki rzeczywistości wirtualnej, w procesie oceny ryzyka prowadzonej przez projektantów maszyn.

Badania polegały na przeprowadzeniu prób oceny ryzyka z wykorzystaniem dokumentacji 3 maszyn w odniesieniu do wymagań normy PN-EN ISO 12100:2011. Analizowane były różne metody oceny ryzyka związanego z różnymi zagrożeniami. W celu uzyskania większej pewności, co do wyników oceny użyteczności VR analizy przeprowadzono z wykorzystaniem programu PRO-M (Dźwiarek 2008), co zapewniło systematyczność prowadzonych działań. Analizy wykonywane były przez ekspertów z dużym doświadczeniem w prowadzeniu oceny ryzyka związanego z użytkowaniem maszyn, a także ze znajomością techniki VR (Dźwiarek et all 2007, Dźwiarek & Jankowski 2011, Dźwiarek 2008 i Dźwiarek 2010).

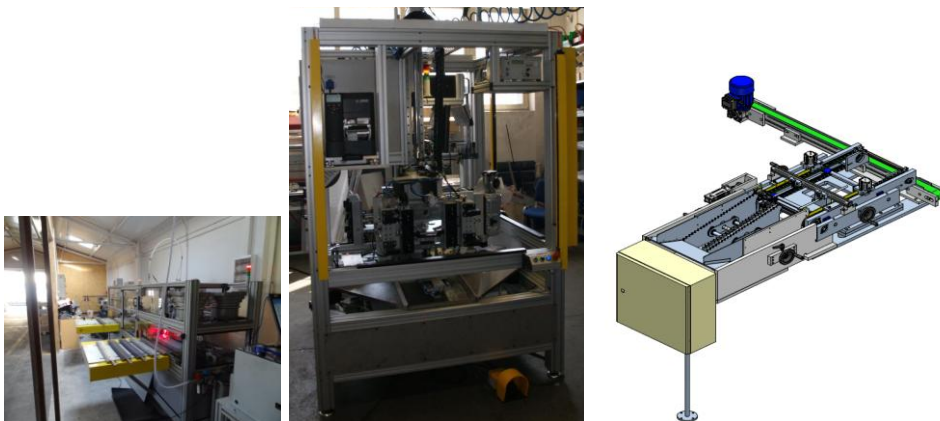
Dobór maszyn do badań

W celu doboru maszyn, których dokumentacja była analizowana dokonano wstępnego przeglądu ponad 150 różnych maszyn zaprojektowanych i zbudowanych w ostatnich latach. Były to głównie:

- wielostanowiskowe linie montażowe i produkcyjne,
- automatyczne linie montażowe,
- testery kontroli ostatecznej wyrobów,
- maszyny i urządzenia do produkcji opakowań foliowych,
- automatyczne linie do opakowań,
- maszyny do automatyzacji podawania itp.

Spośród nich wstępnie wyselekcjonowano 12 maszyn do dalszej analizy:

- stanowisko montażowe podnośników do szyb,
- formatyzerka do szprosów,
- automatyczna prasa montażowa do łożysk,
- stanowisko z obrotowym stołem montażowym,
- linia montażowa do zacisków,
- tester kontroli końcowej,
- automat odcinający konektory,
- automat do montażu szczotkotrzymaczy,
- urządzenie kontrolne tulei,
- automat do montażu nypli,
- stanowisko badania szczelności,
- automatyczny podajnik szprych.



Rys.1. Maszyny, których dokumentację wykorzystano do badania użyteczności techniki VR metodą DI

Maszyny te zostały przeanalizowane w aspekcie występujących zagrożeń i ich przydatności do analiz metod oceny ryzyka. Ostatecznie do dalszych badań wybrane zostały maszyny pokazane na rys. 1:

- automat do montażu nypli,
- stanowisko badania szczelności pomp,
- automatyczny podajnik szprych.

Macierz przyporządkowania użyteczności VR do zagrożeń

Przeprowadzone analizy dotyczyły użyteczności techniki VR przy prowadzeniu oceny ryzyka związanego z zagrożeniami:

- mechaniczne
- elektryczne
- termiczne
- hałasem
- drganiami mechanicznymi
- promieniowaniem:
- substancjami i materiałami niebezpiecznymi:
- wybuchem
- ergonomiczne
- związane z niesprawnością systemu sterowania
- związane z ergonomią
- związane ze środowiskiem do którego maszyna jest przeznaczona:

Analizowane były następujące metody oceny ryzyka:

- graf ryzyka,
- listy kontrolne,
- obliczeń wskaźników ryzyka.
- hybrydowa,
- pomiary czynników ryzyka.

Eksperti prowadzący ocenę ryzyka, na poszczególnych jej etapach analizowali cechy techniki VR w aspekcie jej użyteczności w prowadzonych działaniach. W efekcie ustalono, że zastosowanie techniki VR może znaleźć istotne uzasadnienie. Technika VR jest szczególnie przydatna przy określaniu ograniczeń dotyczących maszyny oraz identyfikacji zagrożeń i stref zagrożenia. Dotyczy to zwłaszcza zagrożeń mechanicznych, ergonomicznych i związanych z niesprawnością systemów sterowania. W tym ostatnim przypadku technika VR może być przydatna przy określaniu wymagań funkcjonalnych dotyczących poszczególnych funkcji bezpieczeństwa, a raczej nie będzie użyteczna w procesie

określania wymagań dotyczących odporności na defekty oraz ocenie osiągniętych poziomów SIL i PL.

Zagrożenie	Metoda oceny ryzyka	Etap oceny i redukcji ryzyka				
		Opis ograniczeń dotyczących maszyny	Identyfikacja zagrożeń	Szacowanie ryzyka	Redukcja ryzyka	Określenie ryzyka resztkowego
mechaniczne	hybrydowa	HU	HU	HU	HU	HU
elektryczne	listy kontrolne	U	U	U	SU	SU
czynniki niebezpieczne	pomiary	SU	SU	SU	SU	SU
wybuchem	analiza zastosowanych materiałów	SU	SU	SU	SU	SU
związane z niesprawnością systemu sterowania	graf ryzyka	HU	HU	U	HU	SU
związane z ergonomią	obliczenia wskaźników ryzyka	HU	HU	HU	HU	HU
związane ze środowiskiem	graf ryzyka	SU	SU	SU	SU	SU

Tabela 1. Macierz przyporządkowania użyteczności techniki VR do zagrożeń w poszczególnych etapach oceny ryzyka

HU – bardzo użyteczna, U – użyteczna, SU – mało użyteczna

Technika VR nieco mniej przydatna będzie w procesie szacowania ryzyka, aczkolwiek w niektórych przypadkach analizy wykazały, że może ona wspomóc projektanta także w tych działaniach.

Analizy wykazały natomiast, że technika VR w niewielkim stopniu może być użyteczna, gdy ocena ryzyka prowadzona jest metodą pomiarów parametrów maszyny i porównania ich wyników z wartościami kryterialnymi. Dotyczy to takich zagrożeń, jak:

- hałasem,
- drganiami,
- pyłami,
- niebezpiecznymi substancjami,
- promieniowaniem itp.

W tabeli 1 pokazano macierz przyporządkowania użyteczności techniki VR do zagrożeń. Analizy przykładu maszyny nieukończonyj, pokazują że technika VR może być szczególnie użyteczna przy identyfikacji ryzyka, które nie mogło być zredukowane przez jej producenta, gdyż zależne jest od konstrukcji maszyny końcowej.

Ocena użyteczności techniki VR do wspomaganja procesu oceny ryzyka wykonana metodą analizy dokumentacji (DI) prowadzona była niezależnie przez 2 ekspertów specjalizujących się w problematyce bezpieczeństwa maszyn i mających doświadczenie w wykorzystaniu środowisk wirtualnych. Istotne jest, że wnioski obu ekspertów są zbieżne.

4. Wykorzystanie Techniki VR do Oceny Ryzyka

Kolejnym działaniem było opracowanie metody oceny ryzyka z wykorzystaniem technik rzeczywistości wirtualnej. Badania prowadzone były metodą testowania eksperckiego (Expert Inspection (EI)). Badania przeprowadzono z wykorzystaniem modeli 3-maszyn wykonanych w technice VR. Zespół ekspertów przeprowadził próby oceny ryzyka związanego z ich obsługą. Celem tych prób było zidentyfikowanie ewentualnych problemów z użytecznością proponowanych metod oraz propozycje ich wyeliminowania.

Do prezentacji środowiska wirtualnego wykorzystano bibliotekę OGRE3D (ang. Object-Oriented Graphics Rendering Engine; www.ogre3d.org). Do detekcji kolizji i symulacji fizyki wykorzystano popularny silnik Bullet. Badania były prowadzone głównie w z wykorzystaniem techniki projekcyjnej. Próby prowadzono zarówno z wykorzystaniem komputera typu Laptop, jak i projekcji wielkoekranowej za pomocą rzutnika 3D.

Do prowadzenia oceny ryzyka w technice projekcyjnej wykorzystany został model cech antropometrycznych człowieka, przygotowany w ramach realizowanego w CIOP-PIB zadania statutowego S.8.05. model ten został zmodyfikowany poprzez wprowadzenie funkcji umożliwiających symulację pracy i zebranie danych niezbędnych do wykonania oceny obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego.

Przeprowadzono także próby wykorzystania techniki zanurzeniowej, z wykorzystaniem wizyjnego systemu śledzenia, inforękawic i HMD.

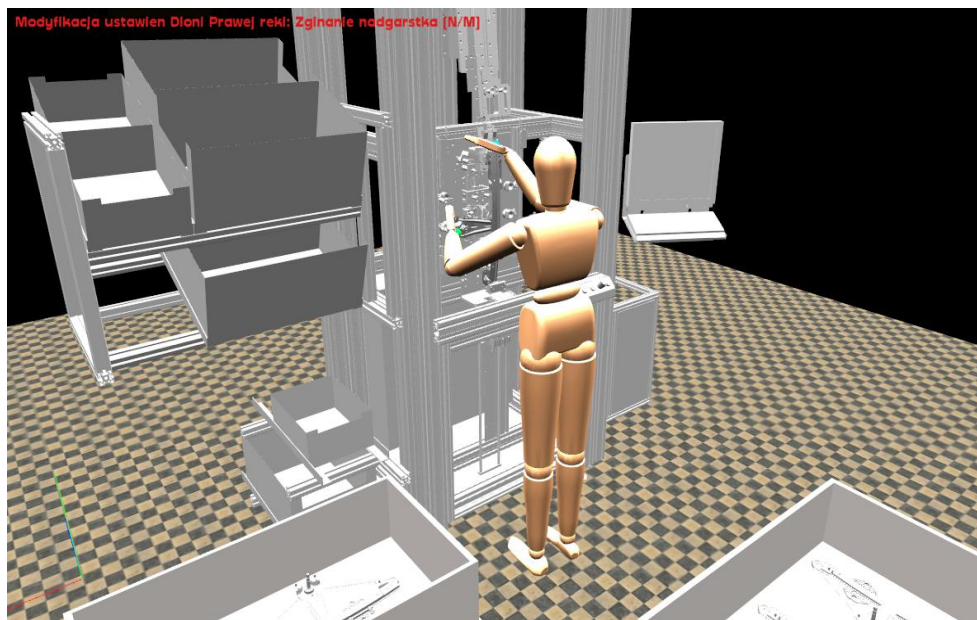
Następnie opracowano metodę tworzenia modeli VR maszyn na podstawie ich dokumentacji CAD3D. W metodzie tej wykorzystywane jest ogólnodostępne oprogramowanie FreeCAD, MeshLab, Blender3D i TrollViewer, które udostępnione jest bez ponoszenia kosztów licencji. Metodę tą wykorzystano do zbudowania modeli VR 3 maszyn:

- testera podnośników do szyb samochodowych (Rys. 2)
- systemu transportowego panewek (maszyna nieukończonyj)

- automatu do regeneracji kartridży.

Przeprowadzone badania wykazały, że do wspomagania oceny ryzyka prowadzonej przez projektantów maszyn najdogodniejszy jest system projekcyjny VR, zwłaszcza z wykorzystaniem komputera typu laptop. Natomiast system zanurzeniowy okazał się mało przydatny.

Opracowana metoda wykorzystania systemu projekcyjnego wraz ze zmodyfikowanym modelem człowieka szczególnie przydatna jest przy określaniu ograniczeń dotyczących maszyny w zakresie określenia obszarów dostępu niezbędnych do obsługi, konserwacji i napraw maszyny.



Rys.2. Symulowanie obsługi testera podnośników szyb samochodowych.

Szczególnie przydatna jest natomiast przy analizowaniu spełnienia wymagań ergonomii, w zakresie:

- sprawdzenia dostępu do obszarów pracy, obszarów konserwacji oraz elementów sterowniczych,
- pozyskania danych niezbędnych do oceny obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego.

Może mieć także zastosowanie do weryfikacji skuteczności redukcji ryzyka związanego z zagrożeniami mechanicznymi, ale w tym przypadku bardziej odpowiednie jest zastosowanie metody modelowania stref zagrożenia i stref dostępnych, opracowanej w ramach projektu 4.R.04 i opisanej w [14].

5. Podsumowanie, Wnioski

Ocena ryzyka powinna być prowadzona zgodnie z normą PN-EN ISO 12100:2011 i według metod zalecanych w tej normie. Zastosowanie techniki VR ma na celu ułatwienie postępowania przy ocenie ryzyka, a także umożliwienie zebrania danych niezbędnych do tej oceny. Jak wynika z przeprowadzonych badań, do wspomaganie oceny ryzyka szczególnie pomocny jest model cech antropometrycznych człowieka wraz z opracowaną metodą wyznaczania parametrów niezbędnych do oceny obciążenia układu mięśniowo – szkieletowego. Dostosowanie opracowanego modelu do norm zharmonizowanych z dyrektywą 2006/42/WE umożliwia wykorzystanie go w procesie oceny zgodności maszyn, co może być trudne przy wykorzystaniu innych dostępnych modeli, które ukierunkowane są na ocenę stanowiska pracy, którego częścią jest maszyna.

Badania potwierdziły także wnioski osiągnięte w poprzednim etapie, wskazujące na przydatność techniki VR do identyfikacji zagrożeń mechanicznych oraz oceny możliwości dostępu do poszczególnych elementów maszyny.

Zaproponowana metoda tworzenia symulacji VR ukierunkowana była na taki dobór narzędzi informatycznych, aby nie wymagały one ponoszenia dużych kosztów ich zakupu. Zwrócono także uwagę na zapisy licencyjne. Wszystkie wykorzystywane programy przeanalizowano pod kątem ochrony własności intelektualnej i wybrano tylko takie, które nie zawierały zapisów ograniczających możliwość ich profesjonalnego zastosowania.

Odrębną kwestią był problem integracji różnych środowisk programowych. Jak pokazano na przykładach trzech maszyn przetransferowanie danych z programu CAD wymaga co prawda pewnego nakładu pracy, ale przy zastosowaniu proponowanego oprogramowania jest to stosunkowo proste. Także opracowany model cech antropometrycznych człowieka jest przystosowany do odczytania przez program prezentacji środowiska VR. Niestety, program PRO-M nie jest wyposażony w interfejs umożliwiający odczytywanie plików tekstowych generowanych przez program VR. Ale wprowadzenie odczytanych danych bezpośrednio do programu PRO-M jest bardzo proste. Ponadto program PRO-M został zastosowany jako przykład postępowania. Każdy projektant maszyny może oczywiście zastosować inne metody prowadzenia oceny ryzyka, np. wypełnienie formularzy firmowych opracowanych w tym celu.

Ostateczna weryfikacja opracowanej metody wykonana zostanie w 3-cim etapie metodą testów przez użytkownika (user testing UT). Opracowana metoda zaprezentowana zostanie projektantom maszyn, którzy przeprowadzą próby jest zastosowania do aktualnie projektowanych maszyn. Następnie dokonają oni oceny użyteczności proponowanej metody, także w aspekcie jej dostosowania do

istniejącej organizacji biura inżynierskiego i konstrukcyjne w przedsiębiorstwach produkujących maszyny.

4. Literatura

- [1] Dyrektywa 2006/42/We Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn, zmieniająca dyrektywę 95/16/WE (przekształcenie). Dz. U. L 157 z 09.06.2006 str. 24.
- [2] PN-EN ISO 12100:2011. Bezpieczeństwo maszyn. Ogólne zasady projektowania. Ocena ryzyka i zmniejszanie ryzyka. PKN.
- [3] Dźwiarek, M.: Supporting tools for risk assessment during the machine design process. Journal of KONBIN, No. 3(6)/2008, str. 199-212.
- [4] Dźwiarek, M.: Case study of conformity assessment of automated production line. Journal of KONBIN 1(13) 2010 ISSN 1895-8281. p.p. 149-164.
- [5] Dźwiarek, M., Jankowski, J.: Wykorzystanie techniki rzeczywistości wirtualnej do wspomagania doboru systemów ochronnych do maszyn w celu redukcji ryzyka związanego z ich obsługą. W: Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo-Efektywność-Niezawodność. Klich, A., Kozieł, A. (ed)., 2011, pp. 55-67.
- [6] Bach, C., Scapin D. L.: Comparing Inspections and User Testing for the Evaluation of Virtual Environments. Intl. Journal Of Human-Computer Interaction, 26(8), 2010, pp. 786-824.
- [7] ISO/TS 16982:2000. Ergonomics of Human-System Interaction. Usability methods supporting Human Centred Design. International Standards Organisation.
- [8] Scapin, D. L., Bastien, J. M. C.: Ergonomic criteria for evaluating the ergonomic quality of interactive systems. Behaviour & Information Technology, 16, 1997, pp. 220-231.
- [9] Dźwiarek, M., Dybała, B., Będza, T., Poznar T.. Opracowanie zasad wirtualnego modelowania stref zagrożenia i różnych rodzajów urządzeń ochronnych oraz metod digitalizacji i przetwarzania danych obiektów fizycznych na potrzeby implementacji w środowisku rzeczywistości wirtualnej. Program wieloletni pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” proj. 4R04, CIOP-PIB, 2008
- [10] Wilson, J.R., Brown, D.J. Cobb, S.V. D’Cruz, M.D., Eastgate, R.M.: Manufacturing operations in virtual environments. Presence, Teleoperators and Virtual Environments, 4, 1995, pp. 306-317.
- [11] Dźwiarek, M., Saulewicz, A., Kalwasiński, D: Investigation of Appropriateness of the VE for Training Purposes Using Fork-Lift VR Simulator. Proceedings of HCI International 2007 © Springer 2007, ISBN 978-3-540-73738-4, Beijing China, July 2007, pp. 815-819.

- [12] Dźwiarek, M., Jankowski, J.: Wykorzystanie techniki rzeczywistości wirtualnej do wspomaganie doboru systemów ochronnych do maszyn w celu redukcji ryzyka związanego z ich obsługą. W: Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo-Efektywność-Niezawodność. Klich, A., Kozieł, A. (ed)., 2011, pp. 55-67.
- [13] Dźwiarek, M., Jankowski, J. (2011) A method for virtual modelling of dangeroushazard zones to support risk redaction by application of safety devices to the machinery and manufacturing systems. In: Production Engineering, Innovation & Technologies of the future. Chlebus, E., (ed.) © Institute of Production Engineering and Automation, Wrocław University of Technology”, pp. 15 – 26.

Publikacja przygotowana na podstawie wyników badań prowadzonych w ramach II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” dofinansowanego w latach 2011-2013 w zakresie projektów badawczych rozwojowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony pracy – Państwowy Instytut Badawczy



dr inż. Dźwiarek Marek, kierownik Zakładu Techniki Bezpieczeństwa w CIOP-PIB, specjalizuje się problematyce urządzeń ochronnych stosowanych do maszyn, bezpieczeństwa funkcjonalnego systemów sterowania maszynami, oceny ryzyka, interfejsów człowiek - maszyna. Jest przewodniczącym KT 281, członkiem grupy roboczej ISO/TC 199, IEC TC 44, Grupy Roboczej Krajowego Forum Konsultacyjnego z zakresu maszyn, członkiem honorowym Stowarzyszenia „Paragraf 34”.



Mgr inż. Tomasz Strawiński, starszy specjalista w Zakładzie Techniki Bezpieczeństwa CIOP-PIB. Zajmuje się zagadnieniami zapewniania bezpieczeństwa użytkownika maszyn metodami sterowania i osiągania wymaganego poziomu bezpieczeństwa funkcjonalnego, badaniami laboratoryjnymi urządzeń ochronnych i elementów systemów sterowania związanych z bezpieczeństwem oraz oceną spełniania wymagań przez wyposażenie elektryczne maszyn. Prowadzi również badania laboratoryjne elektroizolacyjnych środków ochrony indywidualnej i wyposażenia do prac przy napięciu. Członek Komitetu Technicznego PKN nr 281 ds. Bezpieczeństwa Maszyn pod Względem Elektrycznym.