

Koncepcja laboratoryjnej wersji symulatora żurawia wieżowego z platformą obrotową do szkolenia operatorów

Concept of laboratory version of a tower crane simulator based on rotary platform for training operators

HUBERT WELENC
TOMASZ LIPIŃSKI*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.7.94>

W artykule przedstawiono koncepcję laboratoryjnej wersji symulatora żurawia wieżowego z platformą obrotową jako prototypu urządzenia, które po przeprowadzeniu gruntownych testów i uzyskaniu pozytywnej opinii ekspertów z ośrodków szkoleniowych posłuży do prowadzenia szkoleń operatorów żurawi wieżowych.

SŁOWA KLUCZOWE: symulacja, żuraw wieżowy, szkolenie operatorów

This paper presents the concept of a laboratory version of tower crane simulator based on rotary platform as a prototype of a device which, after being thoroughly tested and approved by the experts from training agencies, will serve the purpose of training tower crane operators.

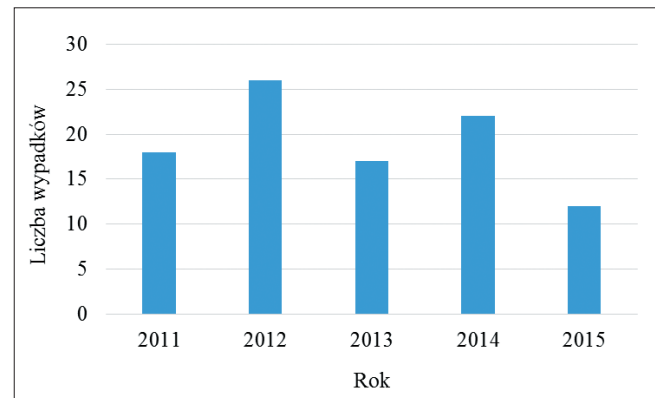
KEYWORDS: simulation, tower crane, operator training

Żurawie należą do urządzeń transportu bliskiego, które podlegają dozorowi technicznemu. Plasują się na czwartym miejscu wśród takich urządzeń wykorzystywanych w Polsce (przed nimi znajdują się tylko: podesty ruchome – ok. 64 tys., dźwigi – ok. 108 tys., wózki jezdniowe podnośnikowe – ok. 114 tys.).

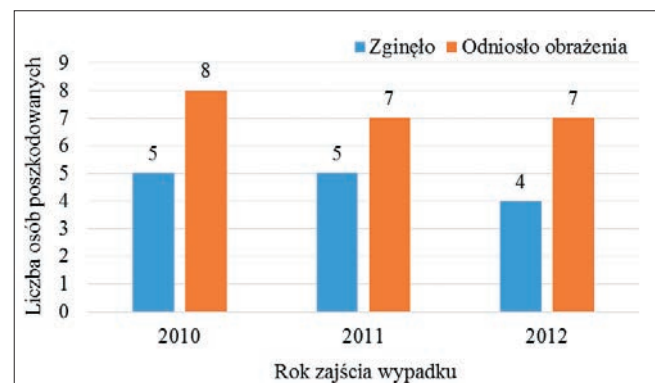
Według Urzędu Dozoru Technicznego (dalej: UDT) w grupie żurawi objętych pełnym dozorem w 2012 r. zanotowano osiem wypadków i 13 niebezpiecznych uszkodzeń sprzętu, przez co śmierć poniosły cztery osoby, a cztery doznały obrażeń ciała (wypadki ciężkie). Te zdarzenia były spowodowane m.in. błędami popełnionymi przez operatorów (takimi jak przekroczenie o ok. 159% dopuszczalnego obciążenia, co skutkowało utratą stateczności i przewróceniem się żurawia, albo uderzenie hakowego rozkołysanym ładunkiem).

Według danych GUS dotyczących lat 2011–2015 podczas użytkowania żurawi wieżowych doszło do 95 wypadków. W porównaniu z innymi środkami transportu bliskiego jest to mała liczba, a dodatkowo żaden z tych wypadków nie doprowadził do śmierci lub do wystąpienia ciężkich obrażeń u operatorów (rys. 1).

Z kolei z danych UDT wynika, że w latach 2010–2012 w wyniku sytuacji wypadkowych z udziałem żurawi wieżowych śmierć poniosło 14 osób, natomiast obrażenia odniosły 22 osoby. Zestawiając te statystyki z danymi GUS, można wysnuć wniosek, że nie tylko operatorzy maszyn, ale również osoby z nimi współpracujące są szczególnie narażone na niebezpieczeństwo utraty zdrowia lub życia (rys. 2).

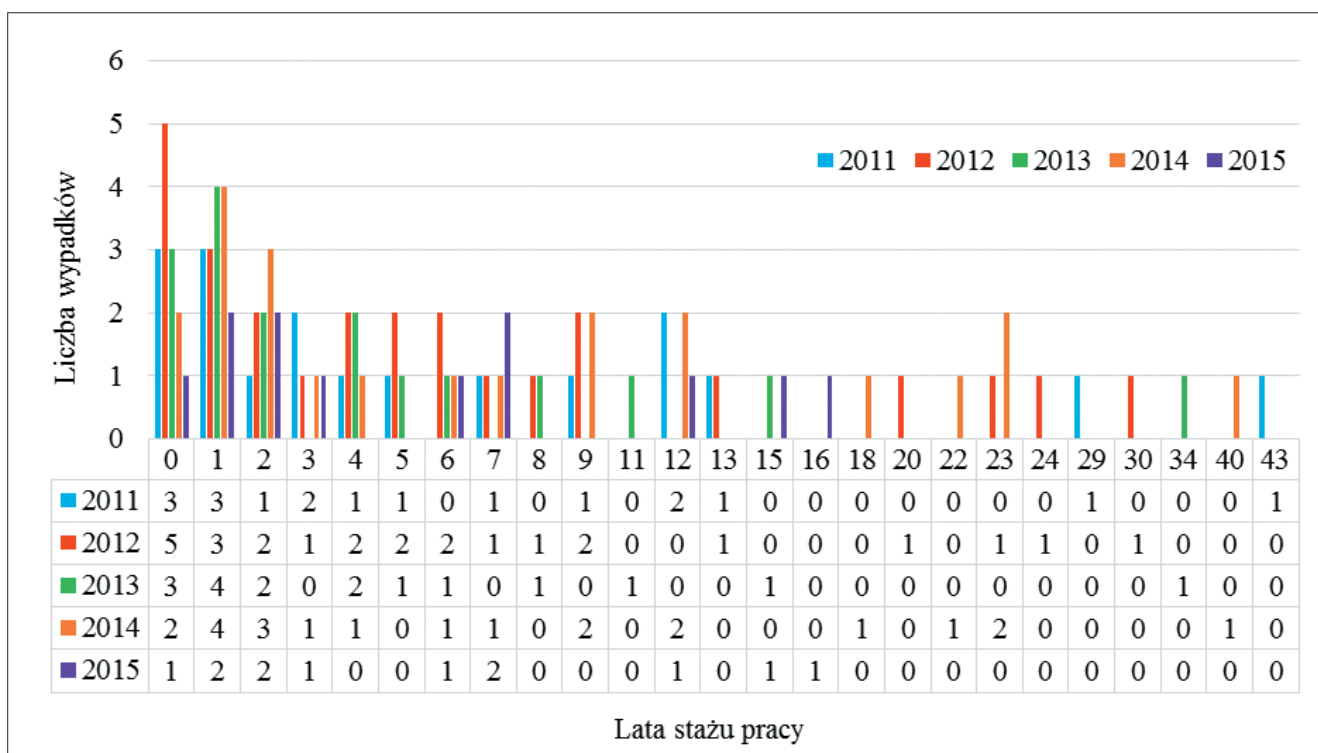


Rys. 1. Histogram przedstawiający liczbę wypadków z udziałem żurawi wieżowych w latach 2011–2015 (źródło: GUS)



Rys. 2. Histogram przedstawiający dane na temat osób zabitych i rannych (nie tylko operatorów) w wypadkach z udziałem żurawi wieżowych w latach 2010–2012 (źródło: UDT)

* Mgr inż. Hubert Welenc (huwel@ciop.pl), mgr Tomasz Lipiński (tolip@ciop.pl) – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy



Rys. 3. Histogram prezentujący dane na temat liczby wypadków, którym ulegali operatorzy żurawi wieżowych w zależności od stażu pracy w latach 2011–2015

Zestawienie danych prezentujących liczbę zdarzeń wypadkowych wśród operatorów transportu bliskiego w zależności od ich stażu pracy na tym stanowisku pokazuje, że stosunkowo dużo wypadków zdarza się w grupie osób o stażu nieprzekraczającym dwóch lat. Łączna liczba zdarzeń wypadkowych w tej grupie osiąga nawet 33% wszystkich wypadków. Wypadkom ulega również wysoki odsetek młodych operatorów żurawi wieżowych. Wśród bardziej doświadczonych pracowników nie dostrzeżono wyraźnej korelacji między liczbą wypadków a stażem pracy (rys. 3).

Opracowanie założeń do budowy laboratoryjnej wersji symulatora żurawia wieżowego (stacjonarnego) z obrotową platformą

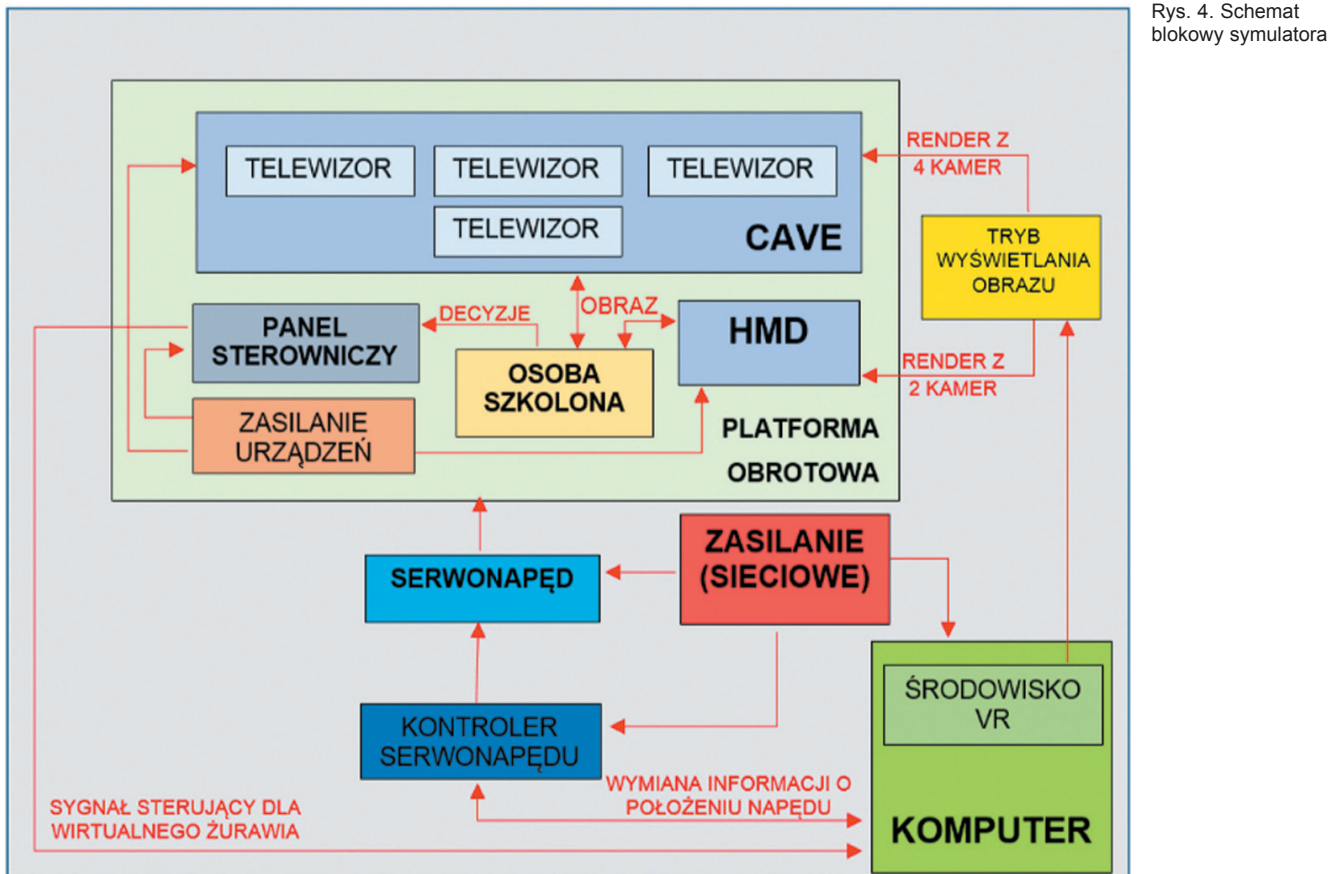
W Pracowni Technik Rzeczywistości Wirtualnej realizowane jest zadanie pod nazwą „Opracowanie laboratoryjnej wersji symulatora żurawia wieżowego z platformą obrotową do prowadzenia szkoleń operatorów żurawi”, którego celem jest stworzenie urządzenia wraz z oprogramowaniem, przeznaczonego do prowadzenia szkoleń w zakresie obsługi żurawia wieżowego pracującego w dynamicznie zmieniających się, symulowanych warunkach otoczenia, oraz pośrednio – poprawa bezpieczeństwa pracy operatorów żurawi wieżowych.

Symulator żurawia wieżowego będzie się składał z siedziska osadzonego na obrotowym wale rotowanym wokół osi pionowej przez serwonapęd. Całość zostanie obudowana trójwymiarową ramą z profili aluminiowych, do których za pomocą specjalnych uchwytów będą przymocowane cztery telewizory LCD. Urządzenia zostaną zainstalowane tak, by osobę szkoloną na tym symulatorze zamknąć od przodu w wizualnej klatce, której ściany wyświetlają obraz ze środowiska wirtualnego w taki sposób, aby usadowiony na siedzisku człowiek miał wrażenie zanurzenia w komputerowo wygenerowanym świecie (technologia CAVE, rys. 4).

Warstwa programowa symulatora zostanie wykonana w aplikacji do tworzenia gier i środowisk wirtualnych Unity. Jest to silnik, który pozwala na renderowanie fotorealistycznych obrazów dzięki obsłudze shaderów DirectX 11. Ponadto środowisko Unity współpracuje z silnikiem NVIDIA PhysX. Jest to narzędzie SDK obsługiwane przez wiodące na rynku platformy systemowe, działające wielowątkowo i służące do symulowania zjawisk fizycznych zachodzących w środowiskach wirtualnych. Przy użyciu NVIDIA PhysX możliwe są m.in.: symulowanie mechaniki brył sztywnych i soft body (tkanin, lin), tworzenie kontrolerów postaci, symulowanie połączeń między elementami fizycznymi, symulowanie dynamiki pojazdów czy efektów cząsteczkowych [1]. Zasoby graficzne symulatora zostaną utworzone w aplikacjach Blender i Substance Painter.

Jednym z kluczowych celów pierwszego etapu było opracowanie metody weryfikacji laboratoryjnej wersji symulatora żurawia wieżowego, aby mógł on zostać wykorzystany do szkolenia operatorów żurawi. Aby symulator pozytywnie przeszedł proces weryfikacji, musi: być responsywny i dobrze wyważony, mieć intuicyjny interfejs (dzięki temu operator po zakończeniu szkolenia łatwo się przestawi na rzeczywistą maszynę), poprawnie symulować zjawiska fizyczne związane ze sterowaniem żurawia i przenoszeniem ładunku [2], wyświetlać (na telewizorach lub w okularach projekcyjnych) obraz czytelny, płynny i zsynchronizowany z ruchami platformy (aby zminimalizować ryzyko wystąpienia objawów choroby symulatorowej) [3].

Scenariusze szkoleniowe wykorzystywane podczas przeprowadzania treningu powinny dotyczyć realnych prac wykonywanych przez żurawie wieżowe oraz uwzględniać obowiązujące przepisy i normy bezpieczeństwa przy ewaluacji poczynań osoby szkolonej. Ponadto scenariusze, których zarysy powstały we współpracy z jednostką szkoleniową, będą miały modyfikatory, pozwalające na regulowanie poziomu trudności wykonywanego zadania, np. przez wprowadzenie dużej liczby powtórzeń, opadów



atmosferycznych czy wiatru utrudniającego stabilny transport ładunku.

Badania służące przeprowadzeniu weryfikacji symulatora zostaną zrealizowane na trzecim etapie zadania. Weźmie w nich udział 21 ochotników ze współpracującej jednostki szkoleniowej. Osoby te zostaną poproszone o wykonanie na symulatorze tych samych działań związanych z użytkowaniem żurawia na budowie.

Uczestnicy będą podzieleni na trzy grupy:

- osoby szkolone na platformie stałej bez HMD,
- osoby szkolone na platformie obracającej się i w HMD,
- grupę kontrolną, szkoloną na platformie obracającej się i w systemie CAVE.

Kryterium oceny będzie obejmowało prawidłowe wykonanie czynności związanych z użytkowaniem żurawia według *Programu ramowego UDT*. Weryfikacja opracowanego symulatora zostanie przeprowadzona przy pomocy ankiety opartej na modelu oceny programów szkoleniowych Kirkpatricka. Ocena systemu odbędzie się według metody Expert Inspection for evaluating Virtual Environments [4]. Planuje się również wykorzystanie standardowych narzędzi kwestionariuszy do oceny systemów, np. System Usability Scale [5]. Uczestnicy wypełnią ponadto kwestionariusz obecności przestrzennej, mierzący m.in. realizm symulacji procesu sterowania oraz realizm środowiska wirtualnego. Wyniki zostaną przeanalizowane statystycznie z wykorzystaniem testu t-Studenta, analizy wariancji (ANOVA) lub testów Kruskal-Wallisa.

Podsumowanie

Symulator żurawia wieżowego z platformą obrotową w wersji laboratoryjnej, który powstaje w Pracowni Techniki Rzeczywistości Wirtualnej CIOP-PIB, ma być urządzeniem wspomagającym szkolenia operatorów żurawi

wieżowych (zarówno początkujących, jak i zaawansowanych), aby poprawić warunki bezpieczeństwa pracy tej grupy zawodowej. Założenia do budowy, poczynione na pierwszym (zakończonym już) etapie realizacji zadania, mają się przyczynić do: niezawodnej pracy symulatora, osiągnięcia wrażenia immersji oraz wyeliminowania objawów choroby symulatorowej. Wykorzystanie systemów HMD i CAVE pozwoli na ocenienie, która metoda projekcji obrazu sprawdza się lepiej w tego typu aplikacji szkoleniowej. Planuje się zbadanie wpływu ruchu platformy obrotowej na: jakość szkolenia, uzyskane wrażenie immersji oraz występowanie objawów choroby symulatorowej.

Publikacja opracowana na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2017–2019 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

LITERATURA

1. „Unity User Manual”. <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>.
2. Solarz W., Tora G. „Sterowanie napędami żurawia wieżowego”. *Transport Przemysłowy*. 10–12 (2005).
3. Malińska M., Zużewicz K., Bugajska J., Grabowski A. „Subiektywne odczucia wskazujące na występowanie choroby symulatorowej i zmęczenie po ekspozycji na rzeczywistość wirtualną”. *Medycyna Pracy*. 65, 3 (2014): s. 361–371.
4. Bach C., Scapin D.L. “Comparing inspections and user testing for the evaluation of virtual environments”. *International Journal of Human-Computer Interaction*. 26, 8 (2010): s. 786–824.
5. Brooke J. “SUS: a ‘quick and dirty’ usability scale”. W: Jordan P.W., Thomas B., Weerdmeester B.A., McClelland A.L. (red.): *Usability Evaluation in Industry*. London: Taylor and Francis, 1996. ■