

Badanie skuteczności działania elementów bezpieczeństwa w przypadku przewrócenia się podnośnikowego wózka jezdniowego

Effectiveness tests of safety components in case of forklift tip over

MARCIN MILANOWICZ *

Materiały z XX SKWPIE, Jurata 2016 r.
DOI: 10.17814/mechanik.2016.7.164

W artykule opisano badania symulacyjne wybranych elementów bezpieczeństwa chroniących operatora przed skutkami przewrócenia się podnośnikowego wózka jezdniowego. Do badań wykorzystano pakiet oprogramowania Madymo. Modele wózka przewracane były przy różnych prędkościach i przy zastosowaniu różnych elementów bezpieczeństwa. Skuteczność oceniano na podstawie oszacowanego stopnia ciężkości urazów.

SŁOWA KLUCZOWE: podnośnikowy wózek jezdniowy, elementy bezpieczeństwa, symulacja numeryczna, Madymo

The article describes the simulation tests of selected safety components to protect the operator from the effects of forklift overturning. The Madymo package software was used in the study. Forklift models were turned over at different velocities and using various safety components. Effectiveness was evaluated on the basis of the estimated severity of the injuries.

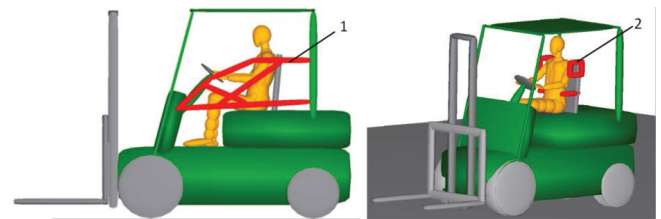
KEYWORDS: forklift, safety components, numerical simulation, Madymo

W Polsce zarejestrowanych jest blisko 100 000 podnośnikowych wózków jezdniowych. Według danych statystycznych Państwowej Inspekcji Pracy co roku dochodzi średnio do 90 wypadków z ich udziałem. Najniebezpieczniejsze wypadki z udziałem wózków jezdniowych spowodowane są utratą stateczności skutkującą przewróceniem się wózka wraz z operatorem. Tego typu wypadki stanowią blisko 45% wypadków ciężkich i śmiertelnych z udziałem wózków jezdniowych, przy czym 60% tych wypadków kończy się śmiercią operatora. Przyczynami tego typu wypadków są m.in. nadmierna prędkość, zbyt gwałtowne pokonywanie zakrętów, najechanie na przeszkodę lub transport ładunku podniesionego zbyt wysoko. Obecnie produkowane wózki są wyposażone w konstrukcje zabezpieczające przed przechyleniem i przewróceniem się wózka oraz w elementy bezpieczeństwa chroniące operatora przed skutkami wywrócenia. Ponadto na rynku dostępne są rozwiązania chroniące operatorów. Na etapie zarówno projektowania, jak i eksploatacji takich rozwiązań bada się skuteczność ich działania w różnych ośrodkach. Na przykład w Institut National de Recherche et de Securite we Francji opracowano stanowisko badawcze składające się z kabiny wózka poruszającej się po torach tworzących zakręt. W kabynie umieszczany jest manekin człowieka, następnie kabina rozpędzana jest do prędkości powodującej przewrócenie się kabiny na łuku. W ten sposób testowane są dostępne na rynku elementy bezpieczeństwa (np. pasy bezpieczeństwa) [1]. Pomimo prowadzenia tego typu badań na świecie, w Polsce wciąż brakuje informacji o skuteczności działania elementów bezpieczeństwa chroniących przed skutkami przewrócenia oraz jakich rozwiązań użyć, aby zminimalizować prawdopodobieństwo wystąpienia ciężkich i śmiertelnych urazów w wyniku przewrócenia się wózka jezdniowego. Takie badania są

prowadzone w CIOP-PIB. Do tego celu wykorzystana jest symulacja numeryczna. W artykule opisano metodykę oraz wyniki badań symulacyjnych dla kilku konfiguracji elementów bezpieczeństwa.

Metodyka

Zbadanie skuteczności działania elementów bezpieczeństwa możliwe jest dzięki wykorzystaniu symulacji numerycznej. W tym celu przeprowadzono symulacje (rekonstrukcje) wypadków skutkujących przewróceniem się wózka jezdniowego wraz z operatorem w różnych konfiguracjach. Badania przeprowadzono dla następujących prędkości, przy których dochodziło do przewrócenia wózka jezdniowego: 0 km/h; 13,5 km/h i 23 km/h.



Rys. 1. Wizualizacja numerycznych modeli elementów bezpieczeństwa „zamontowanych” na modelu wózka jezdniowego: 1 – dodatkowe drzwi; 2 – konstrukcja wspomagająca utrzymanie operatora w fotelu tzw. *seat wings*

Do symulacji wykorzystano opracowany w CIOP-PIB aktywny model człowieka (podczas przewracania model zachowuje zalecaną pozycję przez producentów wózków i reaguje na siły zewnętrzne działające na niego, odwzorowując reakcję człowieka). Dla każdej konfiguracji badania model wózka wyposażony był w następujące elementy bezpieczeństwa: pasy bezpieczeństwa (dwi-, trzy- i czteropunktowe), konstrukcję chroniącą przed wypadnięciem z wózka w formie dodatkowych drzwi (1, rys. 1) i konstrukcję wspomagającą utrzymanie operatora w fotelu, tzw. *seat wings* (2, rys. 1).

Do symulacji wypadków wykorzystano oprogramowanie Madymo [3]. Aby przeprowadzić badania z wykorzystaniem symulacji numerycznej, opracowano model symulacyjny miejsca wypadku. Składa się on z numerycznych modeli: podnośnikowego wózka jezdniowego, człowieka, podłoża oraz badanego elementu bezpieczeństwa. Numeryczne modele opracowano w taki sposób, aby odwzorowywały one rzeczywiste obiekty, uwzględniając ich własności fizyczne.

Wynikami symulacji są parametry umożliwiające dokonanie oceny stopnia ciężkości urazów, jakich doznałby operator, gdyby wypadek wydarzył się naprawdę, oraz animacja przebiegu symulacji wypadku. Oceny skuteczności działania elementów bezpieczeństwa dokonano, szacując stopnie ciężkości urazów dla głowy, ponieważ jest ona najbardziej narażona na wystąpienie urazów zagrażających życiu. Im skuteczniej element bezpieczeństwa chroni operatora, tym stopień ciężkości

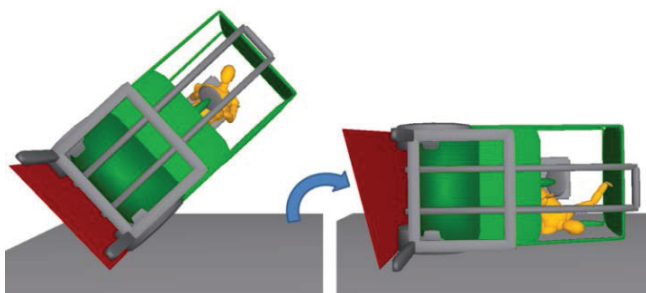
* Dr inż. Marcin Milanowicz (marmi@ciop.pl), Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

urazów jest mniejszy. Przy ocenie urazów wykorzystywane są kryteria odporności biomechanicznej, które pozwalają na powiązanie zarejestrowanych wielkości fizycznych z prawdopodobieństwem wystąpienia urazów części ciała poddanej takim samym obciążeniom.

Do oceny urazów głowy zastosowano kryterium odporności biomechanicznej głowy na obciążenia udarowe – HIC (*head injury criterion*) [4].

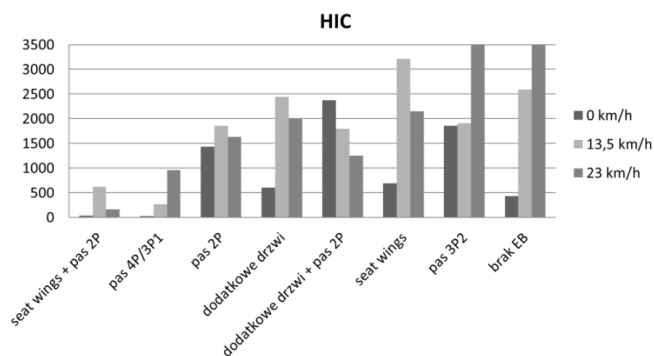
Wyniki symulacji

W celu przeprowadzenia badań opracowano trzy modele bazowe, dla których testowano elementy bezpieczeństwa. We wszystkich modelach bazowych wykorzystano ten sam numeryczny model wózka jezdniowego.



Rys. 2. Kadry animacji (wynik symulacji) przewrócenia wózka stojącego

Pierwszym wariantem symulacji było przewrócenie stojącego wózka jezdniowego (rys. 2). Wózek przewracano dzięki zastosowaniu modelu wychylnej platformy. Funkcja opisująca przechylenie platformy została opracowana na podstawie pomiarów, jakich dokonano podczas przewracania rzeczywistego wózka jezdniowego [2]. Drugim wariantem symulacji było przewrócenie wózka jadącego z prędkością 13,5 km/h. Prędkość ta została wybrana na podstawie wyników pomiarów eksperymentalnych opisanych w [1]. Trzecim wariantem symulacji było przewrócenie wózka jadącego z prędkością 23 km/h. Warunki początkowe dla tego wariantu dobrano na podstawie rekonstrukcji rzeczywistego wypadku [5].



Rys. 3. Zestawienie wartości wskaźnika HIC dla trzech prędkości wózka i różnych konfiguracji elementów bezpieczeństwa

Badania przeprowadzono dla następujących konfiguracji: dwupunktowy (pas 2P, rys. 3), trzypunktowy (pas 3P1 i pas 3P2) i czteropunktowy pas bezpieczeństwa; konstrukcja chroniąca przed wypadnięciem z wózka (dodatkowe drzwi); konstrukcja wspomagająca utrzymanie operatora w fotelu (*seat wings*). Dwa ostatnie elementy przebadano bez zastosowania dwupunktowego pasa bezpieczeństwa i z jego zastosowaniem. Symulację przewracania się wózka z operatorem przy zastosowaniu pasa trzypunktowego przeprowadzono dla dwóch przypadków: 1) wózek przewraca się na stronę po której znajduje się mocowanie części piersiowej pasa (pas 3P1); 2) wózek przewraca się na przeciwną stronę (pas 3P2).

Ponadto przeprowadzono symulację bez zastosowania jakichkolwiek elementów bezpieczeństwa chroniących operatora przed skutkami przewrócenia wózka dla celów porównawczych (brak EB). Na rys. 3 przedstawiono wartości HIC dla poszczególnych elementów bezpieczeństwa. Wyniki zestawiono w kolejności od najniższych do najwyższych średnich wartości wskaźnika (średnia z pomiarów dla trzech prędkości).

Podsumowanie

Jak wskazują wyniki, zastosowanie najpopularniejszego rozwiązania, tj. biodrowego pasa bezpieczeństwa, nie chroni w pełni skutecznie operatora przed wystąpieniem urazów zagrażających życiu. Nie oznacza to jednak, że pasy są nieskuteczne. W zależności od zachowania operatora lub konstrukcji wózka głowa operatora nie zawsze uderzy o podłogę. Pasy znacząco zmniejszają prawdopodobieństwo wystąpienia ciężkich i śmiertelnych urazów zwłaszcza w połączeniu z innymi elementami bezpieczeństwa lub przy zastosowaniu dodatkowych środków ochrony indywidualnej, np. wysokoskutecznych przemysłowych hełmów ochronnych. Najskuteczniejszym przebadanym elementem bezpieczeństwa jest konstrukcja wspomagająca utrzymanie operatora w fotelu, tzw. *seat wings*, z zapiętym biodrowym pasem bezpieczeństwa. Bardzo skutecznym rozwiązaniem jest zastosowanie pasa czteropunktowego. Jednak jest to rozwiązanie niepraktyczne, ponieważ operator podczas manewrowania wózkiem często obraca się do tyłu i na boki. Pas trzypunktowy jest rozwiązaniem równie skutecznym pod warunkiem, że wózek przewróci się na stronę po której znajduje się mocowanie części piersiowej pasa. Tylko wówczas część piersiowa pasa skutecznie utrzyma operatora. Konstrukcje zapobiegające wypadnięciu z kabiny wózka w formie dodatkowych drzwi skutecznie chronią przed wypadnięciem operatora np. podczas pokonywania zakrętu z dużą prędkością, ale bez utraty stateczności. Jednak jeśli dojdzie do przewrócenia wózka, występuje prawdopodobieństwo doznania ciężkich urazów zagrażających życiu operatora.

Podsumowując, dzięki wykorzystaniu symulacji numerycznej możliwe było przetestowanie wielu elementów bezpieczeństwa. Pozwala to na dobór optymalnych elementów bezpieczeństwa, a ponadto znajomość przebiegu tego typu wypadków i ich skutków może być wykorzystana do szkolenia operatorów z dziedziny bezpieczeństwa użytkownika podnośnikowych wózków jezdniowych.

* * *

Publikacja opracowana na podstawie wyników III etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2014÷2016 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

LITERATURA

- Rebelle J. „Use of a modified HYBRID III 50th dummy to estimate the effectiveness of market restraint systems for forklift truck drivers”. *International Journal of Crashworthiness*, Vol. 20, No. 4, Jul. 2015, pp. 348÷369.
- Rebelle J., Mistrot P., Poirot R. „Development and validation of a numerical model for predicting forklift truck tip-over”. *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, Vol. 47, Iss. 7, 2009, pp. 771÷804.
- TASS International. „*Madymo*”. Dostęp na dzień 1.03.2016 pod adresem: www.tassinternational.com/madymo.
- Nalęcz M., Będziński R., Kędzior K., Kiwerski J., Morecki A., Skalski K., Wall A., Wit A. „*Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna 2000. Tom 5. Biomechanika i inżynieria rehabilitacyjna*”. Exit, 2000, pp. 747÷797.
- Milanowicz M., Budziszewski P. „Numerical Reconstruction of the Real-Life Fatal Accident at Work: A Case Study”. *Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics, and Risk Management. Human Body Modeling and Ergonomics*, V. G. Duffy, Ed. Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 101÷110.