

Antoni Saulewicz

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

WYNIKI BADANIA CZASU REAKCJI KIEROWCÓW PODNOŚNIKOWYCH WÓZKÓW JEZDNIOWYCH CZOŁOWYCH W SYTUACJI ZAGROŻENIA KOLIZJĄ

Rękopis dostarczono, kwiecień 2013

Streszczenie: Podano metodę badania czasu reakcji kierowców podnośnikowych wózków jezdniowych czołowych w sytuacji zagrożenia kolizją z pieszym z zastosowaniem symulatora podnośnikowego wózka jezdniowego. Podano rozkład wartości czasów reakcji 20 kierowców wózków uczestników badań. Omówiono znaczenie czasu reakcji kierowcy w aspekcie bezpieczeństwa ruchu wózków. Podano wyniki analizy korelacji między czasem reakcji uczestników badań a czasem ryzyka.

Słowa kluczowe: kierowca podnośnikowego wózka jezdniowego, zagrożenie kolizją, badanie czasu reakcji.

1. WSTĘP

Publikacja niniejsza jest wynikiem realizacji trzeciego etapu projektu badawczego nr 04.A.29 pt. „Badania i opracowanie rozwiązań organizacyjnych zmniejszających ryzyko wypadkowe wynikające z ruchu podnośnikowych wózków jezdniowych w transporcie wewnątrzzakładowym” w ramach programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” realizowanego w CIOP-PIB w latach 2011-2013. Tytuł trzeciego etapu: „Badanie skutków ruchu podnośnikowych wózków jezdniowych z różnymi prędkościami z zastosowaniem symulatora podnośnikowego wózka jezdniowego”.

2. WPROWADZENIE

Jednym z istotnych czynników, od którego zależy poziom ryzyka podczas użytkowania wózków w transporcie wewnątrzzakładowym, jest prawidłowa organizacja ruchu wózków w tym transporcie. Akceptację takiego poglądu można znaleźć już w zaleceniach rządowych w Australii [1]. Do opracowania prawidłowej organizacji tego ruchu jest niezbędna znajomość także całkowitej drogi zatrzymania wózka przy różnej jego prędkości. Znajomość całkowitej drogi zatrzymania wózka jest niezbędna również dla kierowców wózków, a także dla osób pieszych poruszających się w obszarze ruchu wózka po to, aby nie stwarzać w ruchu sytuacji zagrożenia kolizją, uwidocznionej przykładowo na rysunku 1.



Rys. 1. Przykład sytuacji zagrożenia kolizją w transporcie wewnątrzzakładowym

Według danych UDT [2], w Polsce w roku 2011, w kolizjach, bardzo poważnych urazów doznało pięć osób. Z szacunkowych danych z USA [3] wynika, że co roku w USA w około 18 % wypadków z udziałem wózków, ma miejsce kolizja wózka z pieszym. Z powyższego wynika, że stworzenie warunków umożliwiających unikanie powstawania sytuacji zagrożenia kolizją jest sprawą istotną dla zachowania bezpieczeństwa. Można to osiągnąć zarówno za pomocą rozwiązań organizacyjnych, jak i kształtując świadomość uczestników ruchu w transporcie wewnątrzzakładowym, w tym umożliwiając poznanie całkowitej drogi zatrzymania wózka przy różnej jego prędkości. Na rysunku 2 zilustrowano składniki całkowitej drogi zatrzymania S_z wózka, w funkcji czasu t , od

momentu dostrzeżenia przeszkody przez kierowcę wózka. Symbole występujące na rysunku 2 oznaczają:

t_{rk} - czas reakcji kierowcy wózka, mierzony od chwili pojawienia się przeszkody do chwili rozpoczęcia wywierania nacisku na pedał hamulca głównego wózka, w sekundach;

t_{rw} - czas reakcji układu hamulcowego, w sekundach;

t_n - czas rozwinięcia pełnej mocy przez układ hamulcowy, w sekundach;

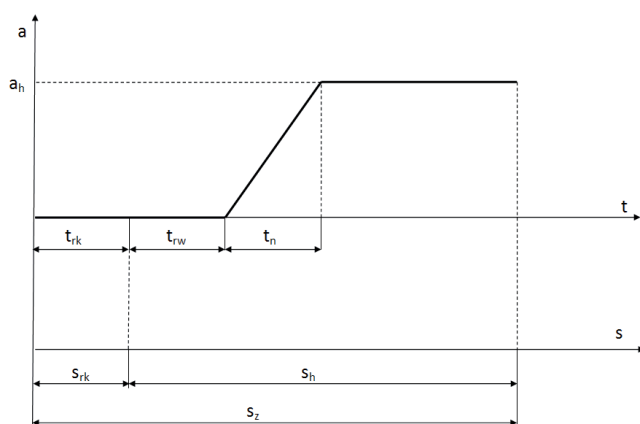
a - opóźnienie w ruchu wózka podczas hamowania, w m/s^2 ;

a_h - opóźnienie wózka w czasie intensywnego hamowania hamulcem głównym, w m/s^2 ;

S_{rk} - droga przebyta przez wózek w czasie t_{rk} , w metrach;

S_h - droga hamowania wózka za pomocą hamulca głównego, w metrach;

S_z - całkowita droga zatrzymania wózka, będąca sumą $S_{rk}+S_h$, w metrach.



Rys. 2. Składniki całkowitej drogi zatrzymania S_z wózka w funkcji czasu t

Składową S_{rk} całkowitej drogi zatrzymania w tym przypadku można określić ze wzoru

$$S_{rk} = V_o \times t_{rk} \text{ [m]} \quad (1)$$

w którym V_o [m/s] jest prędkością początkową wózka w momencie zdjęcia stopy z pedału gazu. Składową S_h można obliczyć ze wzoru

$$S_h = V_o (t_{rw} + t_n/2) + V_o^2/2a_h \text{ [m]} \quad (2)$$

W przypadku średniej wielkości wózków (np. Still RX50), przyjmując np. za producentem wózka, drogę hamowania $S_h = 1,9$ m przy $V_o = 12$ km/h, oraz przyjmując z doświadczenia $t_{rw} = 0,25$ s, zaś $t_n = 0,2$ s, można obliczyć a_h , a następnie wzór na S_h zapisać w postaci

$$S_h = 0,35 \cdot V_o + V_o^2/15,0972 \quad (3)$$

3. PROBLEM BADAWCZY

Problemem badawczym jest określenie czasu reakcji t_{rk} kierowcy wózka w warunkach ruchu w przypadku pojawienia się przeszkody na drodze. Celem poznania t_{rk} w takich warunkach jest określenie tych wartości t_{rk} , które należy zastosować do obliczenia drogi S_{rk} w aspekcie bezpieczeństwa w transporcie wewnątrzzakładowym oraz w planowaniu organizacji transportu wewnątrzzakładowego. Bez znajomości t_{rk} kierowcy wózka nie można określić składowej S_{rk} całkowitej drogi zatrzymania wózka. W dostępnej literaturze krajowej brak jest danych dotyczących czasu reakcji kierowców wózków podnośnikowych określanych w takich sytuacjach. W aspekcie poznawczym interesująca jest relacja między t_{rk} a czasem ryzyka t_{tc} [4]. t_{tc} jest to czas, mierzony od chwili dostrzeżenia przeszkody przez kierowcę do chwili ewentualnej kolizji z nią. Jest to czas, który może być wykorzystany przez kierowcę do działań mających na celu uniknięcie kolizji. W tym przypadku t_{tc} można obliczyć ze wzoru

$$t_{tc} = d/V_0 \text{ [s]} \quad (4)$$

w którym

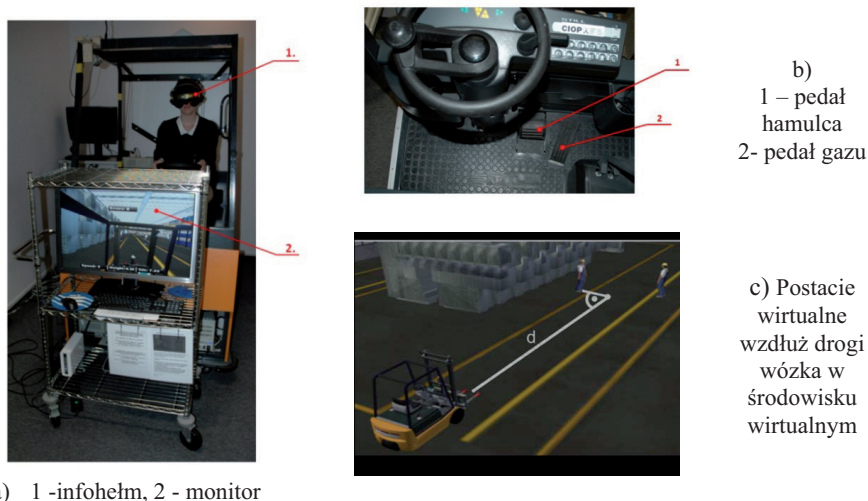
d [m] - jest odległością przeszkody od wózka;

V_0 [m/s] - jest prędkością wózka w momencie dostrzeżenia przeszkody przez kierowcę.

4. METODA BADAWCZA

Badanie czasu reakcji kierowców wózka przeprowadzono z zastosowaniem symulatora wózka podnośnikowego w CIOP-PIB. Symulator ten zilustrowano na rysunku 3. Jest to symulator zbudowany w technice rzeczywistości mieszanej, tzn. środowisko, w którym porusza się wózek, jest generowane komputerowo, natomiast wszystkie elementy sterownicze są identyczne jak w podnośnikowym wózku czołowym Still RX 50. Wzdłuż drogi wózka w środowisku wirtualnym umieszczono cztery pary postaci wirtualnych, z których każda jest uaktywniana w sposób losowy. Podczas ruchu wózka w środowisku wirtualnym jedna postać z każdej z 4 par w sposób nieoczekiwany dla kierowcy wkracza na drogę przed wózkiem, stwarzając sytuację zagrożenia kolizją. Na rysunku 3c) przedstawiono jedną parę wirtualnych postaci. Symbol „d” ilustruje odległość od końców wideł wózka, do wybranej postaci wirtualnej, w jakiej postać ta, jeśli jest uaktywniona, wkroczy na jezdnię przed wózkiem. System akwizycji danych symulatora rejestruje, która postać wirtualna wkroczyła na drogę wózka i w jakiej odległości d od wózka, czas t_{pg} , po upływie którego, od wkroczenia postaci wirtualnej na jezdnię, kierowca zdjął nogę z pedału gazu, czas t_{ph} jaki upłynął od chwili zdjęcia nogi z pedału gazu do chwili zadziałania siłą nacisku na pedał hamulca wózka. Pedały gazu i hamulca są uwidocznione na rysunku 3b). Suma t_{pg} i t_{ph} stanowi t_{rk} . System akwizycji danych rejestruje również prędkość, z jaką poruszał się wózek w chwili zdejmowania nogi z pedału gazu, czy zaistniała kolizja z pieszym (w układzie 0,1, tzn. 1 – kolizja miała miejsce). Rejestrowane są także błędy kierowcy również te w postaci zdjęcia nogi z pedału gazu przed

wkroczeniem postaci wirtualnej na drogę wózka oraz nie naciśnięcie na pedał hamulca w sytuacji kolizyjnej. Dane zarejestrowane z takimi błędami nie były analizowane.



Rys. 3. Symulator podnośnikowego wózka jezdniowego w CIOP-PIB

W artykule przedstawiono główne wyniki badań 20 kierowców wózków w wieku od 23 lat do 54 lat, przy czym 17 osób było w wieku od 23 do 40 lat, jedna osoba - w wieku 42 lat, jedna osoba – w wieku 49 lat i jedna osoba - w wieku 54 lat. Kierowcy jeździli z prędkością 5 km/h, 6 km/h, 8 km/h, 10 km/h i 12 km/h przez pięć dni około 1h dziennie, przy czym wyników pierwszego dnia nie analizowano ze względu na konieczność poznania środowiska wirtualnego przez kierowców i ich adaptacji do tego środowiska.

5. GŁÓWNE WYNIKI BADAŃ I ANALIZ

W tablicy 1 przedstawiono statystyki analizowanych zmiennych.

Tablica 1

Statystyki analizowanych zmiennych dla całej grupy kierowców

Zmienna	t _{tc} [s]	t _{rk} [s]	t _{tpg} [s]	t _{trph} [s]	V ₀ [m/s]	d [m]
N- liczba danych	8038	8038	8038	8038	8038	8038
Srednia	2,1169	0,6619	0,4527	0,2092	2,3380	4,767
Odchylenie standardowe	0,38418	0,12930	0,12249	0,08074	0,69571	1,0566
Minimum	1,38	0,24	0,08	0,00	1,13	2,7
Maksimum	4,96	1,60	1,28	1,16	3,34	6,4

W tablicy 2 przedstawiono rozkład zmierzonych wartości czasów reakcji t_{rk} 20 kierowców.

Tablica 2

Rozkład zmierzonych wartości t_{rk}

Wartość t_{rk} [s]	Częstość wystąpienia [liczba]	Procent od liczby ogółem	Wartość t_{rk} [s]	Częstość wystąpienia [liczba]	Procent od liczby ogółem
0,24	16	0,2	0,84	20	0,2
0,28	33	0,4	0,88	55	0,7
0,32	122	1,5	0,92	53	0,7
0,36	46	0,6	0,96	157	2,0
0,40	86	1,1	1,00	3	0,04
0,44	65	0,8	1,04	11	0,1
0,48	547	6,8	1,08	7	0,1
0,52	418	5,2	1,12	21	0,3
0,56	87	1,1	1,16	1	0,01
0,60	378	4,7	1,20	1	0,01
0,64	3472	43,2	1,28	6	0,1
0,68	170	2,1	1,36	1	0,01
0,72	182	2,3	1,40	1	0,01
0,76	582	7,2	1,56	1	0,01
0,80	1495	18,6	1,60	1	0,01

Zawarte w tablicy wartości t_{rk} większe niż 1,28 s nie dotyczą osób starszych. Wyniki zawarte w tablicy 2 wskazują na możliwość znacznego wpływu t_{rk} na bezpieczeństwo w transporcie wewnątrzakładowym, jak to wynika z dalej przytoczonych prostych obliczeń. Przyjmując np. t_{rk} równe 1,28 s i korzystając ze wzoru (1), w przypadku $V_0 = 6$ km/h, można obliczyć S_{rk} jako równe 2,14 m. Korzystając ze wzoru (3) można obliczyć S_h jako równe 0,77 m. Oznacza to, że S_z w tym przypadku wynosi 2,91 m, zaś S_{rk} jest 2,7 razy większe od drogi hamowania S_h . Podobnie postępując w przypadku $t_{rk} = 1,56$ s i prędkości $V_0 = 12$ km/h można obliczyć S_{rk} jako równe 5,2 m, zaś S_h jako równe 1,9 m, a S_z jako równe 7,1 m, przy czym S_{rk} jest 2,7 razy większe niż S_h . Z tych przykładów widać, że wpływ czasu reakcji t_{rk} na bezpieczeństwo może być znacznie większy niż drogi hamowania S_h .

5.1. WYNIKI ANALIZY KORELACJI MIĘDZY CZASEM REAKCJI t_{rk} A CZASEM RYZYKA t_{tc}

Z użyciem programu komputerowego SPSS wersja 11.5 analizowano korelację między t_{rk} a t_{tc} w odniesieniu do wyników wszystkich uczestników badań ogółem oraz każdego uczestnika oddzielnie. Stosowano następujące poziomy istotności korelacji:

$p < 0,01$ - istotność statystyczna;

$0,01 < p < 0,05$ - tendencja statystyczna;

$p > 0,05$ - brak istotności statystycznej.

W tablicy 3 przedstawiono wyniki korelacji między t_{rk} a t_{tc} dla całej grupy 20 osób.

Tablica 3

Wyniki analizy korelacji między t_{rk} a t_{tc} dla całej grupy 20 osób

Wyszczególnienie	Wartość
Liczba analizowanych wartości t_{rk}	8038
Liczba analizowanych wartości t_{tc}	8038
Wartość współczynnika korelacji Pearsona	0,251
Poziom istotności dwustronnej	$p < 0,01$

Analizując każdą z dwudziestu osób oddzielnie okazało się, że w przypadku 18 osób również istnieje istotna statystycznie korelacja między tymi wielkościami, zaś w przypadku dwóch osób (w wieku 33 i 37 lat) wystąpił brak istotności statystycznej tej korelacji (w przypadku jednej osoby $p = 0,055$, a przypadku drugiej osoby $p = 0,1360$).

5.2. PORÓWNANIE WYNIKÓW DOTYCZĄCYCH SYTUACJI ZAGROŻENIA, KTÓRE MIAŁY MIEJSCE BEZ KOLIZJI I Z KOLIZJĄ

Z użyciem programu komputerowego SPSS wersja 11.5 analizowano wyniki dotyczące sytuacji zagrożenia, które miały miejsce z kolizją i bez kolizji w aspekcie istotności różnic t_{rk} i t_{tc} . W tablicy 4 przedstawiono odpowiednie statystyki dotyczące t_{rk} i t_{tc} .

Tablica 4

Statystyki dotyczące t_{rk} i t_{tc} w sytuacjach zagrożenia, które miały miejsce bez kolizji i z kolizją

SYTUACJA	WIELKOŚĆ	t_{rk}	t_{tc}
		Wartość wielkości	Wartość wielkości
Bez kolizji	Liczba N sytuacji	6215	6215
	Średnia	0,6680	2,2165
	Odchylenie standardowe	0,13258	0,35789
	Minimum	0,24	1,41
	Maksimum	1,60	4,96
Z kolizją z pieszym	Liczba N sytuacji	1823	1823
	Średnia	0,6412	1,7775
	Odchylenie standardowe	0,11507	0,25524
	Minimum	0,24	1,38
	Maksimum	1,20	2,64

W tablicy 5 przedstawiono dane dotyczące istotności różnic między t_{rk} i t_{tc} w sytuacjach zagrożenia, które miały miejsce bez kolizji i z kolizją.

Tablica 5

Istotność różnic między t_{rk} i t_{tc} w sytuacjach zagrożenia, które miały miejsce bez kolizji i z kolizją

Wielkość	trk	ttc
	Wartość wielkości	Wartość wielkości
Wskaźnik U Manna-Whitneya	4924567,0	1834928,5
Poziom istotności asymptotycznej (dwustronnej)	<0,0001	<0,0001

Z tablicy 5 wynika, że różnice między obiema grupami sytuacji zarówno pod względem t_{rk} jak i t_{tc} są istotne statystycznie. Różnice te są jednak większe w przypadku t_{tc} .

6. Dyskusja otrzymanych wyników

Czasy reakcji kierowców podnośnikowych wózków jezdniowych czołowych otrzymano w badaniach w sytuacji zagrożenia kolizją wózka z osobą pieszą w środowisku wirtualnym a nie rzeczywistym. Na podstawie badań dotyczących czasu reakcji kierowców samochodów w sytuacji zagrożenia kolizją [4] wydaje się, że t_{rk} kierowców wózków w warunkach rzeczywistych mogą być nieco dłuższe aniżeli w środowisku wirtualnym.

W badaniach niniejszych mierzy się czas reakcji kierowcy wózka podczas wykonywania przez niego czynności podczas ruchu wózka i w warunkach możliwie najbardziej zbliżonych do warunków rzeczywistych. Zatem stosowana w badaniach definicja i metodyka pomiaru czasu reakcji kierowcy różnią się od definicji i metodyk pomiaru stosowanych przez psychologów lub rzeczoznawców techniki samochodowej. Wynika to ze stosowania innego bodźca przy określaniu czasu reakcji aniżeli w przypadku pomiaru tego czasu w laboratorium. Tak określony czas reakcji t_{rk} jest przeznaczony do celów analizy i poprawy specyficznych warunków ruchu podnośnikowych wózków jezdniowych w aspekcie bezpieczeństwa.

Otrzymane wyniki dowodzą konieczności uwzględniania czasu reakcji t_{rk} kierowców wózków w określaniu całkowitej drogi zatrzymania wózka i uwzględniania tej drogi w organizacji transportu wewnątrzzakładowego oraz w szkoleniu kierowców i pieszych, informując ich o długości całkowitej drogi zatrzymania wózka. Jest to nowy aspekt w bezpieczeństwie ruchu podnośnikowych wózków jezdniowych w kraju. Na świecie zaś, zalecenie dotyczące znajomości i stosowania w praktyce S_{rk} jest stosowane w Australii, przy czym w zaleceniach rządowych Australii [1] do obliczenia drogi S_{rk} zaleca się stosowanie t_{rk} o wartości 1,5 s.

Przed sformułowaniem zaleceń dotyczących stosowania określonych wartości t_{rk} w organizacji transportu i w szkoleniu w aspekcie bhp w kraju, planuje się przeprowadzenie dalszych badań i analiz.

Otrzymane wyniki badań potwierdziły przydatność parametru t_{tc} , obejmującego zarówno prędkość ruchu wózka jak i odległość wózka od przeszkody. Jest to wielkość

stosunkowo nowa i wyniki jej stosowania aktualnie są bardziej interesujące w aspekcie poznawczym.

Obliczając drogę wózka w czasie reakcji kierowcy na wtargnięcie pieszego na drogę pominięto możliwe zmniejszenie się prędkości wózka w stosunku do wartości w chwili zdjecia nogi z pedału gazu. Wynika to z braku dostępnych wiarygodnych danych. Założenie to nie spowoduje powstania wyników, których stosowanie mogłoby wpłynąć na pogorszenie bezpieczeństwa w ruchu podnośnikowych wózków jezdniowych.

Bibliografia

1. WorkSafe VICTORIA – Forklift safety reducing the risk Edition No. 2 February 2006 www.worksafe.vic.gov.au,
2. ANALIZA NIESZCZĘŚLIWYCH WYPADKÓW I NIEBEZPIECZNYCH USZKODZEŃ URZĄDZEŃ TECHNICZNYCH ZA ROK 2011, UDT, Warszawa, marzec 2012 r.
3. Bostelman R.: – White Paper – Towards Improved Forklift Safety str 297-302 w “Proceedings of the 9th Workshop on Performance Metrics for Intelligent Systems”, ACM New York, NY USA 2009.
4. Lozia Z.: Symulatory jazdy samochodem. WKŁ Warszawa 2008.

RESULTS OF TESTING THE REACTION TIME OF FORK-LIFT TRUCK OPERATORS EXPOSED TO A COLLISION HAZARD

Summary: This paper presents a method of testing the reaction time of fork-lift truck operators exposed to the hazard of a collision with a pedestrian using a fork-lift truck simulator. The paper also presents the distribution of the reaction time values of 20 fork-lift truck drivers test participants. The significance of the driver reaction time in the fork-lift trucks safety aspect is presented. The results of an analysis of correlation of the test participants reaction time with the time to collision are also presented.

Keywords: fork-lift truck operator, exposure to a collision hazard, testing of reaction time