

Antoni Saulewicz¹

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Techniki Bezpieczeństwa

Wyniki pomiarów i analiz prędkości jazdy wózka podnośnikowego wysokiego składowania w aspekcie zachowania bezpieczeństwa

1. WPROWADZENIE

Artykuł niniejszy powstał na podstawie wyników pierwszego etapu realizowanego w CIOP-PIB projektu pt. „Badania i opracowanie rozwiązań organizacyjnych zmniejszających ryzyko wypadkowe wynikające z ruchu podnośnikowych wózków jezdniowych transporcie wewnątrzzakładowym”. Celem projektu jest opracowanie „Poradnika dla organizatorów ruchu podnośnikowych wózków jezdniowych w transporcie wewnątrzzakładowym”. W poradniku będą zawarte rozwiązania, których stosowanie ułatwi zmniejszenie ryzyka wypadkowego występującego podczas ruchu podnośnikowych wózków jezdniowych w transporcie wewnątrzzakładowym.

Celem pierwszego etapu projektu było wykonanie badań prędkości jazdy wózków w rzeczywistych warunkach ich użytkowania, a w szczególności określenie występujących średnich i maksymalnych prędkości jazdy wózków w warunkach rzeczywistych. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań prędkości ruchu wózka wysokiego składowania BT RB 3 w magazynie dużej firmy przemysłu spożywczego.

2. WYKONANE POMIARY I ANALIZY

Mierzono prędkość chwilową jazdy wózka. Wykorzystano zasadę pomiaru prędkości za pomocą ułożyskowanych czujników Halla, stosowanych we współcześnie produkowanych elektrycznych wózkach jezdniowych. Umożliwia to zidentyfikowanie sygnału użytecznego i jego wykorzystanie do pomiaru i rejestracji chwilowej prędkości jazdy wózka. Sygnały z czujnika prędkości doprowadzono do modułu pomiaru i zapisu prędkości, zintegrowanego z rejestratorem video w zaprojektowanym i zbudowanym do celów badań rejestratorze [1]. Rejestrator jest również wyposażony w zegar czasu rzeczywistego oraz generator do generacji symboli graficznych i wykonywania napisów na ekranie rejestratora video, zawierających dane dotyczące wartości prędkości i czasu, występujące na ekranie jednocześnie z właściwym obrazem drogi wózka, co umożliwiło także identyfikację warunków, w jakich poruszał się wózek z daną prędkością w czasie badań. Parametry rejestratora prędkości:

- zakres mierzonej prędkości: 0 – 25 km/h;
- rozdzielczość pomiaru prędkości jazdy wózka: 0,05 km/h;
- niepewność pomiaru prędkości: $\pm 6\%$;
- częstość pomiaru prędkości: co 0,1 s.

Cały układ rejestratora jest zespolony i zmontowany w obudowie o wymiarach 200 x 120 x 70 mm (patrz rys. 1)

¹ ansau@ciop.pl



Rys. 1. Widok rejestratora na wózku

Źródło: opracowanie własne.

Zarejestrowane przez rejestrator dane dotyczące prędkości chwilowej ruchu wózka w określonych warunkach jazdy [strefa manewrowania, zakręt łagodny, zakręt pod kątem prostym, odcinek drogi prostej, gdzie sporadycznie występują inni użytkownicy, odcinek drogi prostej, gdzie zawsze można oczekiwać pojawienia się (także nagłego) innych użytkowników drogi, zawracanie po łuku] poddano obliczeniom komputerowym z zastosowaniem opracowanego do tego celu oprogramowania. Dla każdego zidentyfikowanego jak wyżej odcinka drogi obliczono prędkość średnią i prędkość maksymalną. Obliczone wartości prędkości średniej oraz maksymalnej jazdy wózków i zapisane w arkuszu kalkulacyjnym poddano analizie statystycznej.

3. GŁÓWNE WYNIKI

3.1. Wyniki analizy średniej prędkości wózka

W badaniu wzięło udział 14 operatorów wózków, którzy w sumie, w trakcie trwania badania, przebyli 3891 odcinków drogi. Liczba odcinków drogi przebyta przez poszczególnych operatorów uczestniczących w badaniu jest podana w tablicy 1.

Tablica 1. Liczba odcinków drogi przebytych przez każdego z operatorów wózka

Nr kolejny operatora/liczba przebytych odcinków drogi														Łącznie
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
344	219	282	110	344	318	324	501	421	259	205	217	223	124	3891

Źródło: opracowanie własne.

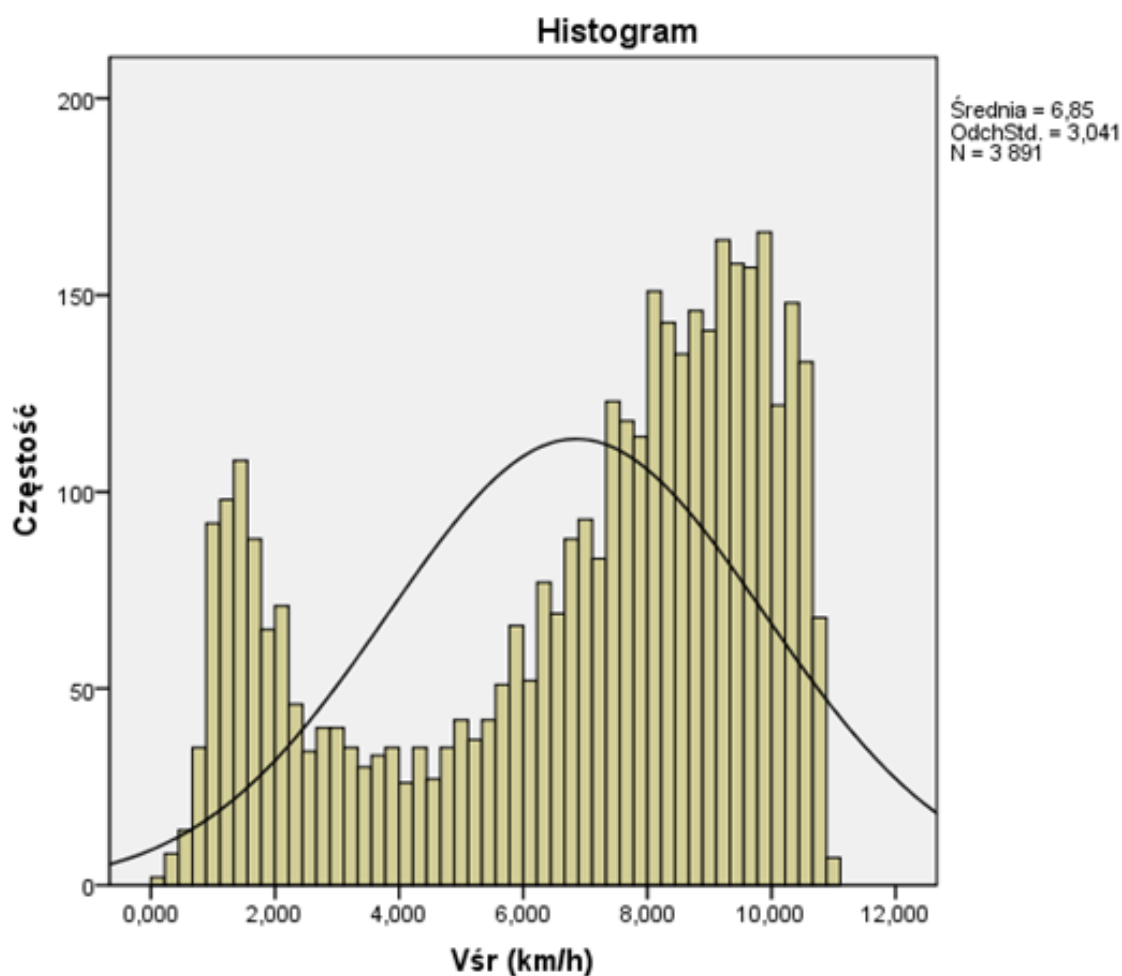
Wykaz zidentyfikowanych odcinków drogi podano w tablicy 2.

Na rysunku 2 przedstawiono histogram średniej prędkości wózka na wszystkich zidentyfikowanych odcinkach drogi wózka, na rysunku 3 – wykres skrzynkowy średnich prędkości wózka na zidentyfikowanych odcinkach, zaś w tablicy 3 – niektóre statystyki.

Tablica 2. Wykaz zidentyfikowanych odcinków drogi wózka

Wyszczególnienie	Liczba przejazdów
Strefa manewrowania	852
Zakręt łagodny	277
Zakręt pod kątem około 90°	1106
Odcinek drogi prostej, gdzie sporadycznie występują inni użytkownicy drogi	1520
Odcinek drogi prostej, gdzie zawsze można oczekiwać pojawienia się innych użytkowników	62
Zawracanie (po łuku)	74
Razem	3891

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2. Rozkład średnich prędkości wózka na wszystkich odcinkach jego drogi ogółem

Tablica 3. Niektóre statystyki dotyczące średniej prędkości wg rys. 2

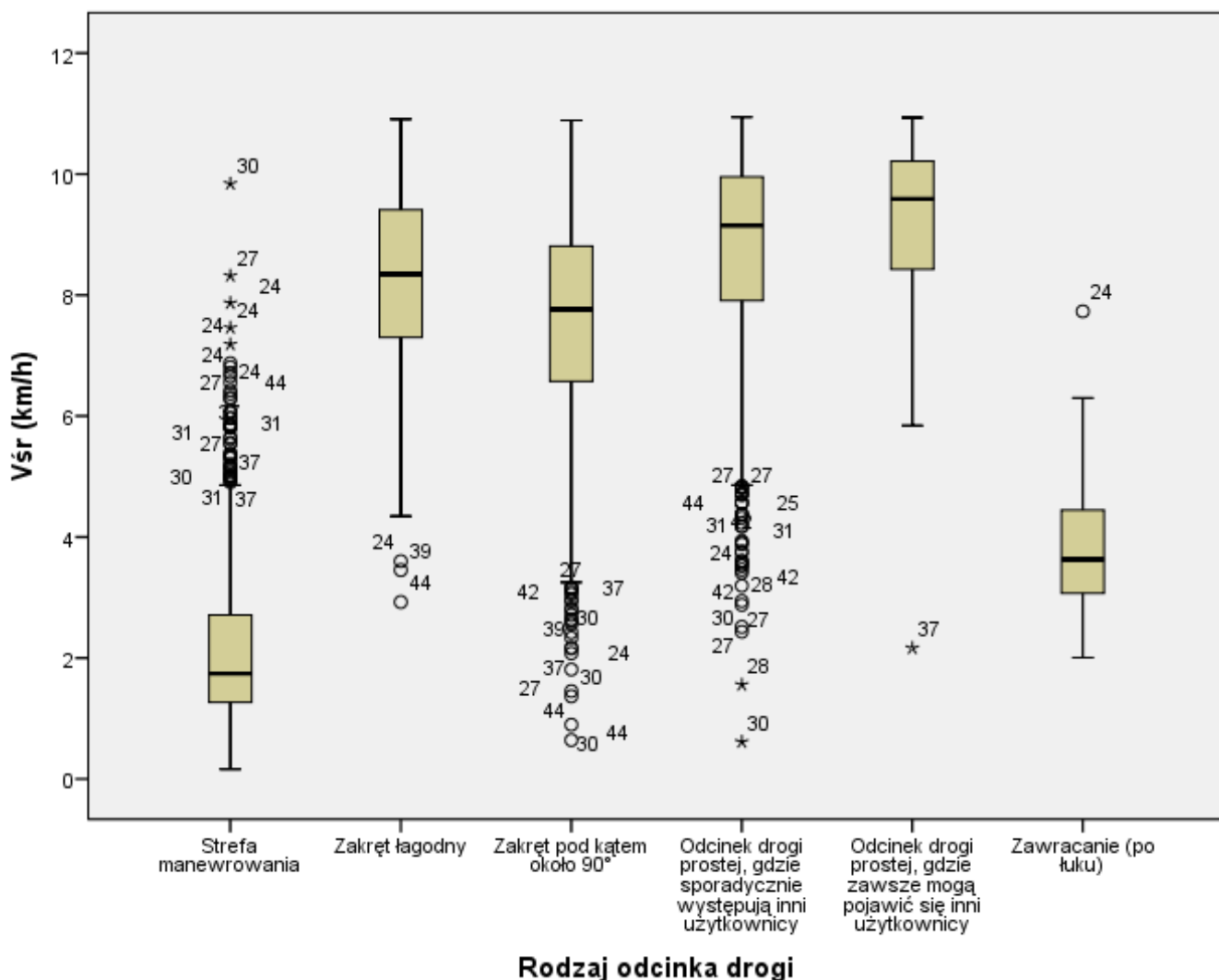
Wyszczególnienie	Wartość	
Średnia	6,85	
Błąd standardowy średniej	0,05	
5% średnia obciążenia	6,97	
Mediana	7,79	
Dominanta	7,44 ^a	
Odchylenie standardowe	3,04	
Wariancja	9,25	
Skośność	-0,69	
Błąd standardowy skośności	0,04	
Kurtoza	-0,83	
Błąd standardowy kurtozy	0,08	
Rozstęp	10,78	
Minimum	0,16	
Maksimum	10,94	
Percentyle	25	4,74
	50	7,79
	75	9,31

a. Istnieje wiele wartości modalnych. Podano wartość najmniejszą.

Średnia prędkość jazdy wózka, obliczona dla wszystkich kierowców wynosi 6,85 km/h (przy niewielkim błędzie standardowym średniej wynoszącym 0,05). Znacznie wyższe wyniki miar tendencji centralnych – mediana: 7,79 km/h (wartość środkowa – co najmniej połowa obserwacji ma wartości niższe od tej miary) oraz dominanty 7,44 (wartości najczęstszej) wskazują, że rozkład średniej prędkości jazdy

wózka jest ujemnoskośny (lewsoskośny – występuje wiele przejazdów z dużą prędkością i znacznie mniej z małą, co potwierdza ujemna wartość skośności (- 0,69) przy błędzie standardowym skośności wynoszącym 0,04. Rozkład występowania średniej prędkości wózka jest wyraźnie nierównomierny – oprócz dominanty można wyróżnić co najmniej dwie prędkości, które wyraźnie częściej występują niż pozostałe (na rys. 2 - około 1,6 km/h oraz poniżej 10 km/h). Bardzo wysokie odchylenie standardowe wskazuje na wysokie rozproszenie wyników wokół średniej. Pomimo niewielkiej ujemnej kurtozy, co wskazuje na rozkład platokurtyczny – czyli spłaszczony, dużo wyników skrajnych – wartości skrajne zwłaszcza przejazdów o niskich prędkościach jazdy silnie wpływają na wyniki, co potwierdzają miary średniej odporne na wartości skrajne, które są wyraźnie wyższe od średniej (5% średnia obcięta - 6,97). Jak można się było spodziewać test Kołmogorowa-Smirnowa wykazał, że rozkład średniej prędkości jazdy nie jest zgodny z rozkładem normalnym.

Na rysunku 3 przedstawiono wykresy skrzynkowe wartości średniej prędkości jazdy wózka z uwzględnieniem występujących rodzajów odcinków jego drogi, zaś w tabelicy 4 – niektóre statystyki.



Rys. 3. Wykresy skrzynkowe średniej prędkości jazdy wózka na poszczególnych odcinkach drogi (do opisu przypadków odstających posłużono się wiekiem pracowników w latach).

Przedstawione statystyki i dane na rysunkach wyraźnie wykazują, że średnia prędkość wózka zależy od rodzaju odcinka jego drogi. Najmniejsza prędkość jazdy wystąpiła w strefie manewrowania (średnia - 2,17 km/h, mediana – 1,74, dominanta – 0,94), przy czym przy dużych wartościach średniej prędkości zidentyfikowano wiele przypadków odstających (kółka) oraz skrajnych (gwiazdki). Oznacza, to że pojedyncze przejazdy w strefie manewrowania wykonywane były ze znacznie większą prędkością (maksimum – 9,84 km/h).

Tablica 4. Niektóre statystyki dotyczące średniej prędkości jazdy wózka na występujących odcinkach jego drogi

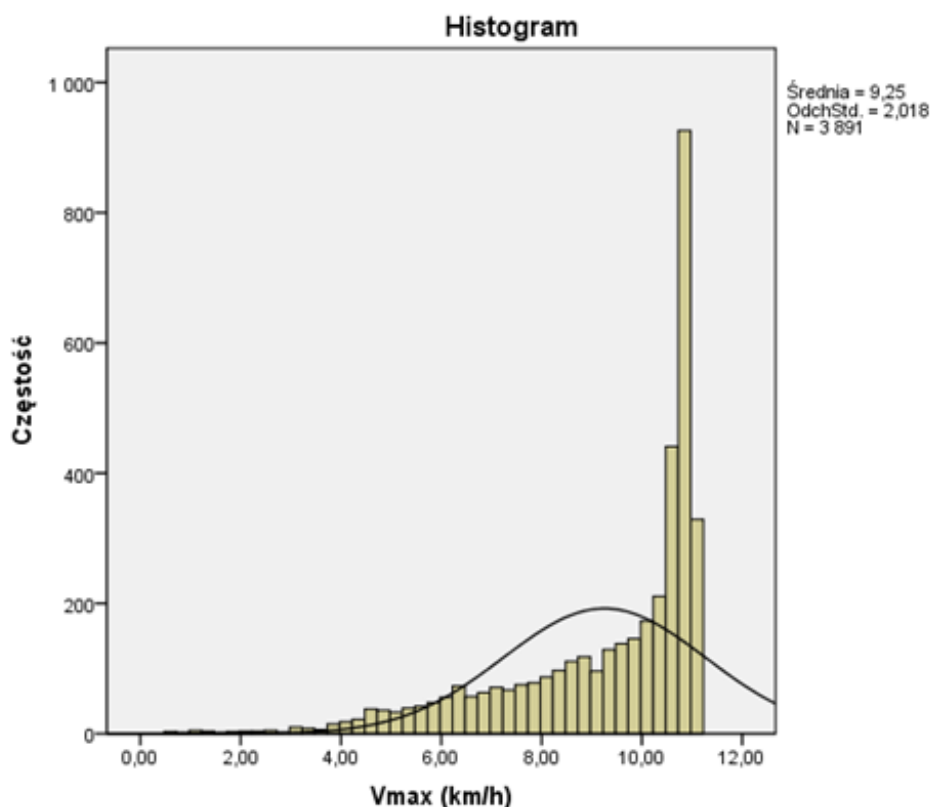
Wyszczególnienie		Wartość	Błąd standardowy
Strefa manewrowania	Średnia	2,17	0,05
	Percentyle	25	1,27
		50	1,74
		75	2,71
	Mediana	1,74	
	Dominanta	0,94	
	Odchylenie standardowe	1,35	
	Minimum	0,16	
Maksimum	9,84		
Zakręt łagodny	Średnia	8,27	0,09
	Percentyle	25	7,30
		50	8,35
		75	9,41
	Mediana	8,35	
	Dominanta	7,216	
	Odchylenie standardowe	1,53	
	Minimum	2,93	
Maksimum	10,91		
Zakręt pod kątem około 90°	Średnia	7,57	0,05
	Percentyle	25	6,57
		50	7,76
		75	8,81
	Mediana	7,76	
	Dominanta	7,438	
	Odchylenie standardowe	1,75	
	Minimum	0,64	
Maksimum	10,89		
Odcinek drogi prostej, gdzie sporadycznie występują inni użytkownicy	Średnia	8,76	0,04
	Percentyle	25	7,91
		50	9,15
		75	9,96
	Mediana	9,15	
	Dominanta	9,61	
	Odchylenie standardowe	1,59	
	Minimum	0,61	
Maksimum	10,94		
Odcinek drogi prostej, gdzie zawsze mogą pojawić się inni użytkownicy	Średnia	9,16	0,20
	Percentyle	25	8,38
		50	9,59
		75	10,23
	Mediana	9,59	
	Dominanta	9,94	
	Odchylenie standardowe	1,54	
	Minimum	2,16	
Maksimum	10,93		
Zawracanie (po łuku)	Średnia	3,79	0,12
	Percentyle	25	3,06
		50	3,63
		75	4,45
	Mediana	3,63	
	Dominanta	2,47	
	Odchylenie standardowe	1,05	
	Minimum	2,01	
Maksimum	7,73		

Podczas zawracania (po łuku) średnia prędkość jazdy wyniosła 3,79 km/h. W przypadku tego rodzaju odcinków drogi występuje jeden przypadek wartości odstającej – 7,7 km/h.

Na pozostałych czterech rodzajach odcinków drogi występują wyższe prędkości przejazdów. Wśród tych odcinków, najwolniej kierowcy poruszali się na zakręcie pod kątem około 90° (średnia - 7,57). Ten odcinek drogi charakteryzuje się również największym rozproszeniem wokół średniej (największe odchylenie i rozstęp ćwiartkowy, najwięcej przypadków odstających i skrajnych – głównie w niskich prędkościach). Znacznie szybciej kierowcy jeździli po zakręcie łagodnym (średnia 8,27 km/h) niż po zakręcie pod kątem około 90°. Porównując prędkości jazdy na odcinkach drogi prostej, większe prędkości średnie zanotowano na odcinkach, gdzie zawsze mogą pojawić się inni użytkownicy.

3.2. Wyniki analizy maksymalnej prędkości jazdy wózka

Na rysunku 4 przedstawiono histogram maksymalnej prędkości wózka, zaś w tablicy 5 – niektóre statystyki.

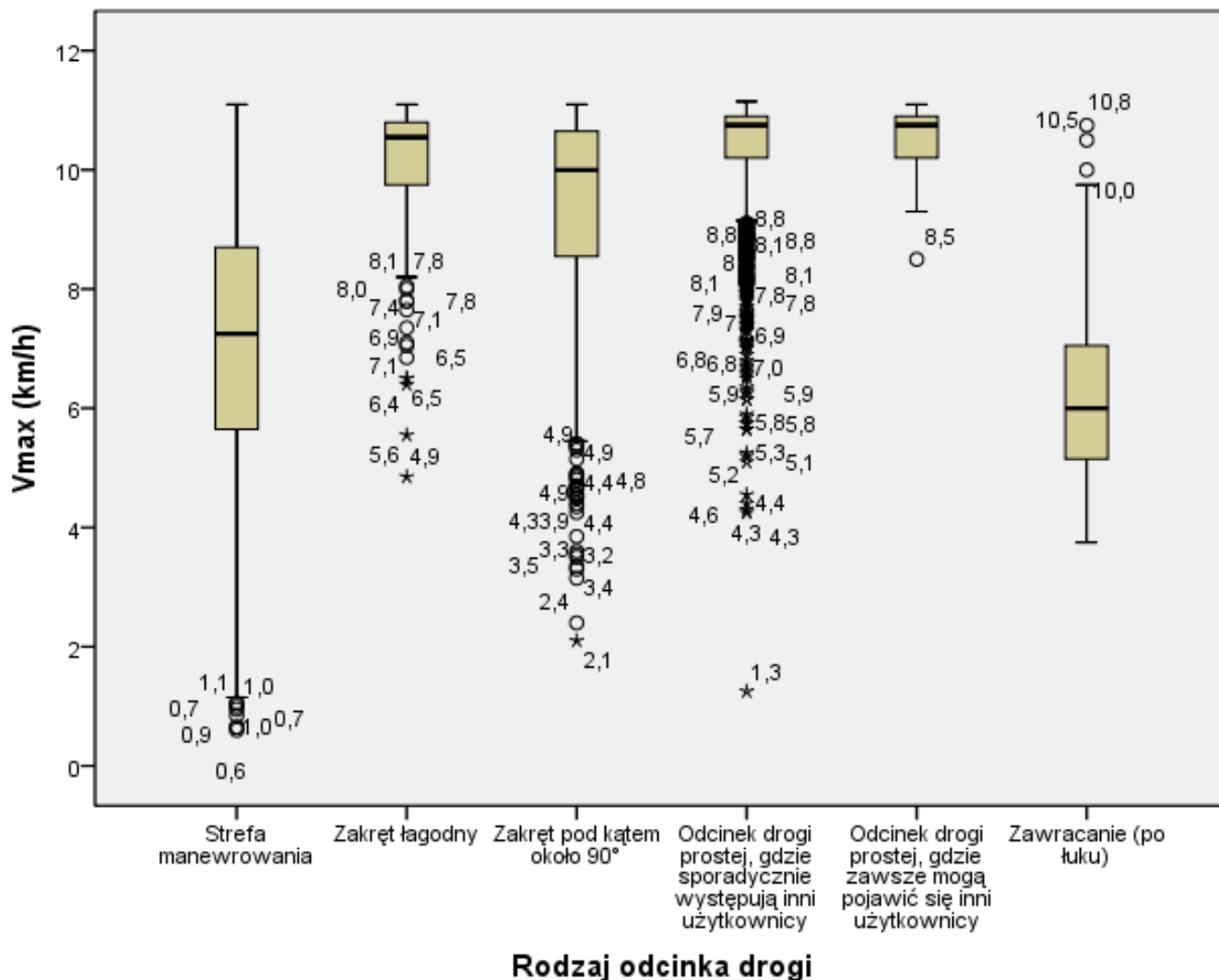


Rys. 5. Rozkład maksymalnej prędkości jazdy wózka na wszystkich odcinkach jego drogi ogółem.

Tablica 5. Niektóre statystyki dotyczące histogramu maksymalnej prędkości jazdy wózka na wszystkich odcinkach jego drogi ogółem.

Wyszczególnienie		Wartość
Średnia		9,25
Błąd standardowy średniej		0,03
Mediana		10,15
Dominanta		10,80
Odchylenie standardowe		2,02
Skośność		-1,36
Błąd standardowy skośności		0,04
Minimum		0,60
Maksimum		11,15
Percentyle	25	8,20
	50	10,15
	75	10,80

Na podstawie danych zawartych na rysunku 4 i w tabelicy 5 można powiedzieć, że rozkład maksymalnej prędkości jazdy wózka jest niesymetryczny i lewoskośny. Dominanta wyniosła 10,80 km/h. Zanotowana wartość maksimum (11,15 km/h) jest prawdopodobnie największą wartością wynikającą z możliwości technicznych wózka. Rozkład prędkości nie jest zgodny z rozkładem normalnym. Na rysunku 5 przedstawiono wykresy skrzynkowe maksymalnych prędkości jazdy wózka z uwzględnieniem podziału drogi na występujące rodzaje jej odcinków, zaś w tabelicy 6 – niektóre statystyki.



Rys. 5. Wykresy skrzynkowe maksymalnej prędkości jazdy wózka z uwzględnieniem podziału jego drogi na występujące odcinki.

Na podstawie danych zawartych na rysunku 5 i w tabelicy 6 można powiedzieć, że największe wartości maksymalnej prędkości wózka („maksimum”) na poszczególnych rodzajach odcinków drogi były zbliżone i wyniosły 11,10 km/h lub 11,15 km/h. Jedynie w strefie zawracania (po łuku) wartość maksymalnej prędkości („maksimum”) wyniosła 10,75 km/h. Oba rodzaje odcinków drogi prostej w zasadzie nie różniły się pod względem maksymalnej prędkości wózka, ponieważ „średnia” wyniosła 10,31 km/h na odcinkach drogi prostej, gdzie sporadycznie występują inni użytkownicy drogi, a 10,50 km/h na odcinkach drogi prostej, gdzie zawsze mogą się pojawić inni użytkownicy tej drogi. Przejazd po zakręcie łagodnym odbywał się z prędkościami maksymalnymi zbliżonymi do prędkości zarejestrowanych na odcinkach drogi prostej.

Tablica 6. Niektóre statystyki dotyczące maksymalnej prędkości jazdy wózka z uwzględnieniem podziału jego drogi na występujące odcinki

Wyszczególnienie		Wartość	Błąd standardowy
Strefa manewrowania	Średnia	7,12	0,07
	Mediana	7,25	
	Minimum	0,60	
	Maksimum	11,10	
	Rozstęp ćwiartkowy	3,05	
Zakręt łagodny	Średnia	10,12	0,06
	Mediana	10,55	
	Minimum	4,85	
	Maksimum	11,10	
	Percentyl 75	10,80	
	Rozstęp ćwiartkowy	1,10	
Zakręt pod kątem około 90°	Średnia	9,36	0,05
	Mediana	10,00	
	Odchylenie standardowe	1,65	
	Minimum	2,10	
	Maksimum	11,10	
	Percentyl 75	10,65	
	Rozstęp ćwiartkowy	2,11	
Odcinek drogi prostej, gdzie sporadycznie występują inni użytkownicy	Średnia	10,31	0,03
	Mediana	10,75	
	Odchylenie standardowe	1,07	
	Minimum	1,25	
	Maksimum	11,15	
	Percentyl 75	10,90	
	Rozstęp ćwiartkowy	0,70	
Odcinek drogi prostej, gdzie zawsze mogą pojawić się inni użytkownicy	Średnia	10,50	0,07
	Mediana	10,75	
	Odchylenie standardowe	0,58	
	Minimum	8,50	
	Maksimum	11,10	
	Percentyl 75	10,90	
	Rozstęp ćwiartkowy	0,72	
Zawracanie (po łuku)	Średnia	6,29	0,18
	Mediana	6,00	
	Odchylenie standardowe	1,58	
	Minimum	3,75	
	Maksimum	10,75	
	Percentyl 75	7,08	
	Rozstęp ćwiartkowy	1,94	

3.3. Dyskusja otrzymanych wyników

Można było oczekiwać rozkładów wartości średniej prędkości jazdy przedstawionych na rysunku 3 w przypadku strefy manewrowania i zawracania (po łuku), ale bez wartości skrajnych i odstających w ich górnej części. Natomiast nieoczekiwane jest występowanie relatywnie większych wartości maksymalnych prędkości średnich jak i wartości „maksimum” prędkości maksymalnej w przypadku jazdy na zakręcie pod kątem około 90° oraz podczas jazdy na odcinku drogi prostej, gdzie zawsze można oczekiwać nagłego pojawienia się innych użytkowników drogi (rysunek 5).

Można przypuszczać, że maksymalne wartości prędkości jazdy często wynikały z możliwości technicznych wózka

4. WNIOSKI

- Ponieważ wózek nie był wyposażony we wskaźnik prędkości jazdy, trudno jest formułować oczekiwania wobec kierowców wózków w zakresie przestrzegania określonej prędkości maksymalnej podczas jazdy w różnych warunkach, pomimo że w magazynie są stosowane znaki ograniczenia prędkości.
- Wyniki analiz prędkości jazdy dowodzą, że, w celu zachowania bezpieczeństwa w transporcie wewnątrzzakładowym, wózki jezdniowe powinny być wyposażone we wskaźniki prędkości. W wielu krajach jest to normą, a dodatkowo stosuje się kontrolę prędkości [2], [3].
- Przedstawionych rozkładów wartości średniej prędkości jazdy w zasadzie można było oczekiwać. Natomiast, w przypadku doświadczonych kierowców, nieoczekiwane jest występowanie relatywnie większych wartości prędkości średnich w przypadku jazdy na zakrętach oraz po odcinku drogi prostej, gdzie zawsze można oczekiwać innych użytkowników drogi.
- Na podstawie zebranych danych można powiedzieć, że w przypadku zarejestrowanej maksymalnej prędkości („maksimum”) na wszystkich odcinkach drogi wózka była ona do siebie zbliżona i wynosiła: 10,75 km/h - podczas zawracania po łuku, 11,10 km/h - podczas jazdy na zakręcie pod kątem około 90° oraz od 11,10 km/h do 11,15 km/h na pozostałych odcinkach drogi.
- Można przypuszczać, że nie wszyscy operatorzy mają wystarczającą wiedzę na temat dynamiki wózka podczas jazdy torem zakrzywionym (świadczą o tym prędkości podczas jazdy na zakrętach pod kątem prostym czy podczas zawracania po łuku).
- Zarejestrowane wartości maksymalne, szczególnie na zakręcie pod kątem około 90° oraz podczas zawracania po łuku, przy braku lub przy niepełnej świadomości kierowców w zakresie dynamiki wózków podczas jazdy po torze zakrzywionym, dowodzą, że, w celu poprawy bezpieczeństwa w ruchu wewnątrzzakładowym, należy promować i rozwijać konstrukcje wózków, w których prędkość jazdy odpowiednio zmniejsza się automatycznie wraz z rozpoczęciem jazdy po torze zakrzywionym.
- Otrzymane wyniki badań, dotyczące zachowania kierowców wózków, np. w warunkach, gdy wózek i pieszy poruszają się po tej samej drodze, oraz wyniki dotyczące prędkości jazdy na torze zakrzywionym, uzasadniają sformułowanie propozycji zmian w szkoleniu zarówno kierowców w aspekcie zachowania bezpieczeństwa w transporcie wewnątrzzakładowym jak i pieszych.
- Otrzymane wyniki będą poddane dalszym badaniom i analizom, z zastosowaniem symulatora wózka łącznie, w celu opracowania zaleceń dla organizatorów ruchu w transporcie wewnątrzzakładowym.

Streszczenie

Podano metodę pomiaru i analizy prędkości jazdy wózka z napędem silnikiem elektrycznym, nie mającego wskaźnika prędkości. Przedstawiono wyniki analizy prędkości średniej i maksymalnej wózka w normalnym użytkowaniu w magazynie podczas jazdy na różnych rodzajach odcinków jego drogi, np. na zakrętach, na odcinkach drogi prostej, podczas zawracania. We wnioskach przedstawiono propozycje zaleceń w celu poprawy bezpieczeństwa.

Słowa kluczowe: podnośnikowe wózki wysokiego składowania, prędkość jazdy, bezpieczeństwo

Results of measurements and analyses of reach fork-lift truck speed in the context of safety

Abstract

The paper presents the method of measuring and analyzing of speed of the electric fork-lift truck not equipped with the driving speed indicator. The paper also presents the results of an analysis of mean and maximal speed of the truck in normal use in warehouse during driving on different parts of the road, for example turns, stretches of straight road, U-turns. The conclusions propose recommendations aimed at improving safety.

Key words: reach fork-lift truck, driving speed, safety.

LITERATURA

- [1] A. Saulewicz, P. Tomczuk i inni. *Badanie i analiza prędkości ruchu podnośnikowych wózków jezdniowych w rzeczywistych warunkach eksploatacji*. CIOP-PIB, Warszawa, 2011 r.
- [2] <http://www.safework.sa.gov.au> „Forklift Safety – Reducing the Risk” – artykuł na stronie internetowej australijskiej instytucji ochrony pracy, z 2010 r.
- [3] <http://www.cisco-eagle.com>, Scott Stone „11% of Forklifts Are Involved In Accidents – What Can You Do?” – artykuł na stronie internetowej firmy Cisco-Eagle USA, z 14.01.2011r.