

Karol MATUSZNY¹

Opiekun naukowy: Krzysztof PARCZEWSKI²

ANALIZA STATECZNOŚCI POJAZDÓW UŻYTKOWYCH PRZEPROWADZONA NA PODSTAWIE BADAŃ WÓZKA WIDŁOWEGO

Streszczenie: W pracy opisano problemy związane ze statecznością wózków widłowych. Problem jest o tyle istotny, że wózki widłowe pracują w różnych warunkach a ich celem jest przemieszczenie i podnoszenie ładunków. Warunki jakie musi spełniać wózek widłowy w zakresie stateczności są opisane w normie. Pomimo to zdecydowano się na przeprowadzenie badań i ich analizę po to, by określić zakres możliwości wózka widłowego. Analizę przeprowadzono w oparciu o badania a głównie posiłkując się ugięciami opon.

Słowa kluczowe: wózki widłowe, stateczność pojazdu, badania stateczności pojazdu, bezpieczeństwo użytkowania

COMMERCIAL VEHICLE STABILITY ANALYSIS BASED ON FORKLIFT TESTS

Summary: The paper describes problems related to the stability of forklifts. The problem is important because forklifts work in various conditions and their purpose is to move and lift loads. The stability conditions that a forklift truck must fulfill are described in the ISO-standard. Nevertheless, it was decided to conduct research and their analysis in order to determine the scope of the forklift truck's capabilities. The analysis was based on research, mainly using tire deflections.

Keywords: forklifts, vehicle stability, vehicle stability tests, safety of use

1. Wprowadzenie

Transport ciężkiego sprzętu przemysłowego to nie lada wyzwanie dla każdej firmy, która się w tym specjalizuje. Przemieszczanie linii produkcyjnych, pojedynczych

¹ Inż., Akademia Techniczno-Humanistyczna, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, email: karol.matuszny@gmail.com

² dr hab. inż. prof. ATH., Akademia Techniczno-Humanistyczna, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, email: kpraczewski@ath.bielsko.pl

maszyn czy innego rodzaju instalacji przemysłowych wymaga specjalistycznej wiedzy, odpowiedniego planowania, umiejętności logistycznych, wielu pozwoleń, a co najważniejsze dużego zaplecza technicznego. Stąd właśnie zaobserwowano wzrastający popyt na usługi relokacji maszyn i urządzeń. Profesjonalna relokacja nie sprowadza się tylko do samego transportu, obejmuje także: demontaż maszyn do postaci umożliwiającej bezpieczny transport, załadunek, rozładunek, ustawienie maszyn w docelowym miejscu, wykonanie wszystkich niezbędnych podłączeń i uruchomienie.

Kluczem sprawnie i bezpiecznie przeprowadzonej relokacji maszyn jest dobór odpowiedniego sprzętu. Podnośniki, zwyżki, wózki widłowe, dźwigi, sunnice samojezdne i wiele innych urządzeń to sprzęt, który jest najczęściej wykorzystywany podczas takiego przedsięwzięcia. Od każdego z tych urządzeń wymaga się jego niezawodności, zdolności do pracy w każdych warunkach, a przede wszystkim zapewnienia bezpieczeństwa podczas wykonywanych prac. Jednym z podstawowych urządzeń transportowych jest wózek widłowy. Wózek widłowy to urządzenie, bez którego relokacja maszyn i urządzeń w większości przypadków nie miałaby miejsca. Jego wszechstronność, możliwość manipulowania ładunkiem dzięki zastosowaniu odpowiedniego osprzętu bywa często niezastąpiona. Jest wykorzystywany podczas demontażu oraz montażu wielu urządzeń oraz maszyn, podczas załadunku oraz rozładunku maszyn z i na samochody ciężarowe. Wyróżnia się wózki o małych gabarytach i niewielkiej masie własnej, które są przeznaczone do przenoszenia niewielkich ciężarów np. 1,5 czy 2 tony w bardzo wąskich i ciasnych miejscach. Wyróżniamy również wózki o nieco większych gabarytach i masie własnej, których głównym zadaniem jest przenoszenie ciężarów rzędu od 5 do nawet 40-50 ton.

2. Stateczność pojazdów

Statecznością lub stabilnością układu mechanicznego nazywana jest jego skłonność do powracania do warunków równowagi statycznej, gdy został on z nich wytrącony. Jest to jedna z wielu definicji stateczności podana przez R. H. Canona jr [2]. Natomiast statecznością ruchu pojazdów, zwaną potocznie „dobrym trzymaniem się drogi” nazywana jest ich skłonność do samoczynnego utrzymywania kierunku ruchu nadanego przez kierowcę poprzez ustawienie kół osi skrętnej oraz skłonność do samoczynnego powracania do nadanego kierunku ruchu w razie wytrącenia z niego np. krótkotrwałym impulsem zewnętrznym. Utrzymywanie przez pojazd zadanego toru ruchu jest możliwe dzięki właściwościom określanym, jako stateczność kierunkowa, zależy ona od wielu czynników takich jak [4]: parametry układu kierowniczego, rodzaj i działanie zawieszenia, wielkość i rozkład mas pojazdu (w tym ładunku), wymiary główne pojazdu, stan i rodzaj ogumienia, prędkość jazdy. Kierowalność pojazdu jest to skłonność pojazdu do przyjmowania kierunku ruchu nadawanego mu przez kierowcę za pomocą koła kierownicy i utrzymywanie tego kierunku podczas jazdy ze średnią lub dużą prędkością przy jednoczesnym działaniu sił zewnętrznych. Z tej przyczyny rzeczywista zmiana parametrów ruchu pojazdu może się różnić od pożądanego [3].

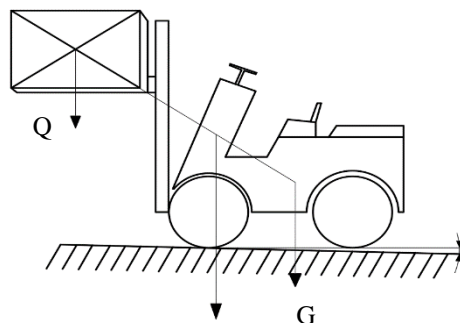
Definicje stateczności dzieli się na stateczność podłużną i poprzeczną, przy czym utrata stateczności poprzecznej powoduje przewrócenie pojazdu na bok wzdłuż linii łączącej zewnętrzne punkty zetknięcia się kół (z jednej strony pojazdu) z podłożem. Natomiast drugie z pojęć dotyczy parametrów analizy stabilności dynamicznej

pojazdów ciężkich. Jest szeroko stosowane w odniesieniu do pojazdów ciężarowych, dostawczych i typu SUV. Stateczność poprzeczną można zastosować w przypadku wózka widłowego. Utrata stateczności jest to gwałtownie narastające, niemożliwe do skorygowania przez kierowcę odchylenie od założonego toru jazdy w przypadku stateczności podłużnej lub przekroczenie dopuszczalnych wartości kąta przechyłu pojazdu w odniesieniu do stateczności poprzecznej. W przypadku samochodów ciężarowych i specjalistycznych szczególnie ważne są warunki przyczepności kół do jezdni, zagadnienia stateczności kierunkowej, której utrata wiąże się z gwałtowną i niekontrolowaną zmianą kierunku ruchu oraz stateczności poprzecznej, której utrata może prowadzić do przewrócenia danego pojazdu na bok [3].

2.1. Stateczność wózków widłowych

Wózki widłowe zaliczamy do grupy wózków podnośnikowych, które w Polsce podlegają pod dozór techniczny Urzędu Dozoru Technicznego. W materiałach szkoleniowych Urzędu Dozoru Technicznego możemy znaleźć następującą definicję wózka jezdniowego: „Wózki jezdniowe napędzane (z napędem silnikowym) są to środki transportu o ruchu przerywanym i o ograniczonym zasięgu, służące do poziomego lub poziomego i pionowego przemieszczania ładunków pojedynczych lub łączonych w jednostki ładunkowe oraz materiałów sypkich znajdujących się w odpowiednich pojemnikach” [5]. Pojazdy te są zwykle stosowane przy organizacji transportu bliskiego w centrach logistycznych lub halach magazynowych przy załadunkach i rozładunkach.

W przypadku wózków widłowych o wielkości udźwigu decyduje jego stateczność. Szczególny wpływ na zachowanie stateczności mają czynności transportowe, kiedy



Rysunek 1. Siły działające na wózek widłowy podczas podnoszenia ładunku

to ładunek jest niesiony na zębach widel lub innym osprzęcie roboczym przed polem swojego podparcia. Wynikają stąd zasadnicze zalety wózka widłowego jak łatwość samo-załadunku oraz możliwość sterowania ładunkiem. Równocześnie jednak takie usytuowanie ładunku upodabnia wózek widłowy do huśtawki, która, w każdej chwili, pod działaniem sił bezwładności pojawiających się w okresach nieustalonych ruchów, jak podnoszenie i opuszczanie ładunku, hamowanie, może znaleźć się w stanie równowagi chwiejnej.

2.2. Siły działające na wózek widłowy podczas podejmowania ładunku

W przypadku podnoszenia ładunku o stateczności decyduje siła wypadkowa będąca sumą ciężaru własnego wózka G oraz ciężaru ładunku Q (rys. 1). Działające siły dynamiczne związane z hamowaniem ruchu podnoszenia lub opuszczania ładunku powodują pochylenie wózka o kąt $2,39^\circ$ - 4% . Przy najwyższym położeniu ładunku

środek ciężkości wypadkowej znajduje się w najwyższym punkcie – najbardziej niekorzystnym dla wózka w czasie podnoszenia ładunku.

2.3. Utrata stateczności wózka widłowego

Utrata stateczności jest najczęstszą przyczyną wypadków z udziałem wózków widłowych. Rozróżnia się utratę stateczności wózka podłużną i poprzeczną. Utrata stateczności podłużnej może nastąpić gdy:

- masa ładunku przekroczy dopuszczalny udźwig wózka,
- zostanie przekroczony punkt c (poza środkiem wideł) obciążenia zębów wideł,
- przy zbyt dużej prędkości pochylania masztu do przodu z ładunkiem znajdującym się na zębach wideł, szczególnie przy wysokim składowaniu,
- podczas zjazdu wózkiem z ładunkiem przodem ze wzniesienia,
- podczas gwałtownego hamowania wózka z ładunkiem,
- przy pobieraniu ładunku z podłoża przymarzniętego, przysypanego itp.,
- przy wjechaniu przednimi kołami do dużej wyrwy, dziury, rowu itp.

Utrata stateczności poprzecznej może nastąpić w następujących przypadkach:

- środek ciężkości ładunku nie będzie się znajdował w osi symetrii wózka,
- przy poprzecznym przesunięciu się ładunku,
- najechanie wózkiem na nierówność powodując jego pochylenie boczne,
- przebiecie pojedynczego koła wózka,
- zbyt niskie bądź nierówne ciśnienie w kołach wózka tej samej osi,
- jazda z ładunkiem lub bez ładunku z dużą prędkością.

Zagadnienia dotyczące badań stateczności wózków widłowych zostały zawarte w Polskiej Normie o oznaczeniu PN-ISO 5766.

3. Obiekt badań i sposób pomiaru

Jako obiekt badań wykorzystano wózek widłowy marki Hyundai 160D-9. Wózek jest własnością firmy „TOP” Techniczna Obsługa Przemysłu Sp. z o.o. z siedzibą w Bielsku-Białej.



Rysunek 2. Wózek widłowy Hyundai 160D-9

Parametry charakterystyczne wózka zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Specyfikacja robocza wózka [11]

Udźwig nominalny Q [kg]	16 000
Masa własna [kg]	19 843
Odległość od środka ciężkości ładunku do czoła widel c [mm]	600
Wysokość opuszczonego masztu [mm]	3250
Wysokość podnoszenia [mm]	3010
Wysokość wysuniętego masztu [mm]	4710
Całkowita długość [mm]	6430
Długość do czoła widel [mm]	5080
Całkowita szerokość [mm]	2497
Wymiary widel (wys./szer./dł.) [mm]	95 x 200 x 1800

Pojazd jest głównie wykorzystywany podczas relokacji maszyn i urządzeń na terenie województwa śląskiego jak i całego kraju.

Badania stateczności zostały przeprowadzone na terenie firmy TOP w nowo wybudowanej hali montażowej przy ul. Piekarskiej w Bielsku-Białej. Doświadczenie polegało na statycznej próbie podnoszenia ładunku w trzech różnych położeniach wózka widłowego, gdzie za pomocą odpowiedniej aparatury pomiarowej dokonano odczytu wychyleń oraz ugięcia kół wózka widłowego. Podczas badań, jako obciążenie wykorzystano stalowy korpus maszyny przemysłowej o wadze 8 ton. Do pomiarów stateczności wykorzystano aparaturę pomiarową w skład, której wchodziły czujniki pomiarowe ADXL 354 oraz ADXL 327 [13, 14], pozwalające na pomiar wymaganych parametrów ruchu (wychyleń) wózka, dwa czujniki laserowe Keyence IL-300 [15] pozwalające na pomiar ugięcia kół oraz aparatura służąca rejestracji i wizualizacji tych danych AD 32 (układ akwizycji danych) [12].

Badania, jak i tok kolejno wykonywanych czynności był realizowany zgodnie z wytycznymi znajdującymi się normie dotyczącej badań stateczności wózka widłowego. Wykonane pomiary przeprowadzono dla trzech zupełnie różnych położen wózka widłowego względem powierzchni, na której się on znajdował. Położenie pierwsze odpowiadało warunkom, gdy wózek znajdował się na płaskiej poziomej powierzchni. W drugim położeniu wózek był usytuowany wzdłużnie względem wzniesienia o kącie pochylenia $2^{\circ}40'$; a w trzecim położeniu wózek był usytuowany poprzecznie względem wzniesienia o kącie pochylenia $2^{\circ}40'$.

Podczas pomiarów środek układu współrzędnych wózka ustalono na wysokości osi kół przednich, przy czym oś X skierowana jest do przodu, oś Y w bok w stronę lewą a oś Z jest skierowana do góry.

Pomiary przeprowadzono dla położen:

- Pomiar I wózka bez obciążenia (widły położone na ziemi).
- Pomiar II wózka z nisko podniesionymi widłami bez ładunku.
- Pomiar III wózka z wysoko podniesionymi widłami z ładunkiem w pozycji poziomej.
- Pomiar IV powtórzony pomiar III.

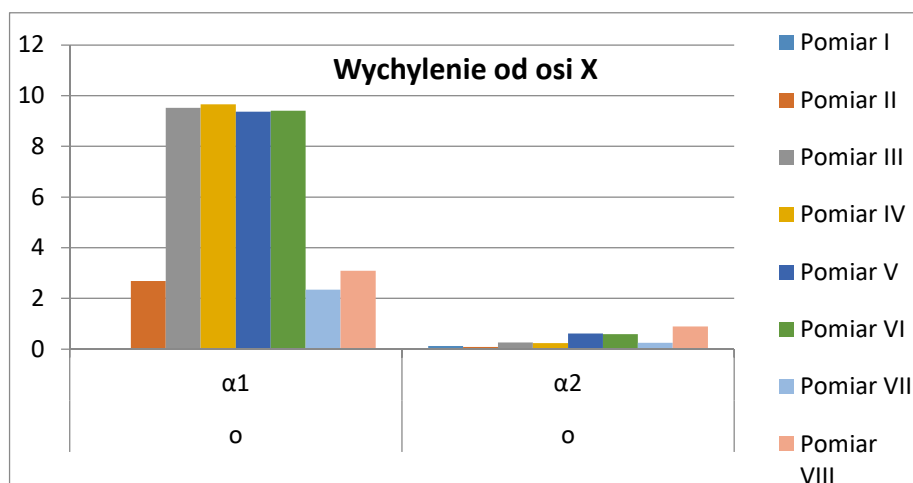
- Pomiar V wózka z wysoko podniesionymi widłami z ładunkiem w pozycji odchylonej od siebie o kąt 1° .
- Pomiar VI powtórzony pomiar V.
- Pomiar VII wózka bez obciążenia (widły położone na ziemi).
- Pomiar VIII wózka z nisko podniesionymi widłami bez ładunku.

Tabela 2 Oznaczenia badanych wartości:

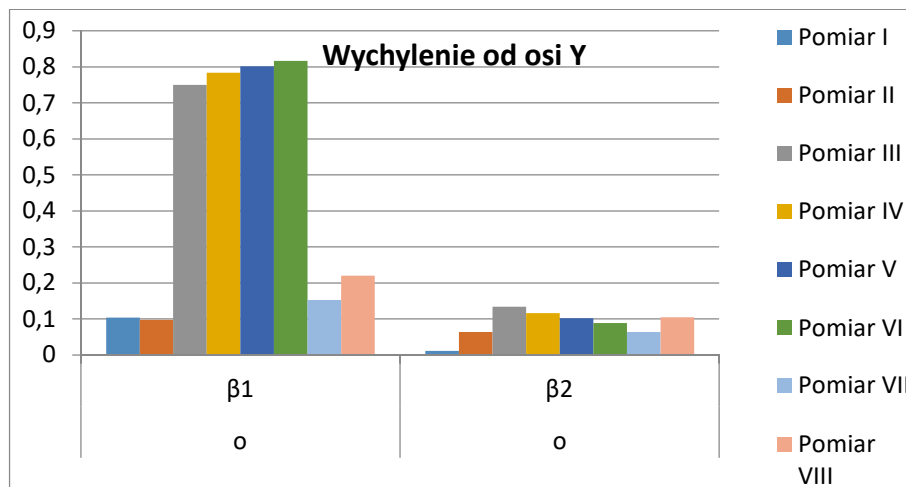
Lp	Badany Parametr	Oznaczenie	Jednostka
1	Ugięcie koła lewego	d_1	mm
2	Ugięcia koła prawego	d_2	mm
3	Wychylenie wzdłużne wózka	α_1	$^\circ$
4	Wychylenie poprzeczne wózka	β_1	$^\circ$
5	Wychylenie pionowe wózka	γ_1	$^\circ$
6	Wychylenie wzdłużne masztu	α_2	$^\circ$
7	Wychylenie poprzeczne masztu	β_2	$^\circ$
8	Wychylenie pionowe masztu	γ_2	$^\circ$

4. Wyniki pomiarów

Podczas pomiarów przy pierwszym położeniu wózek stał na płaskiej poziomej powierzchni.

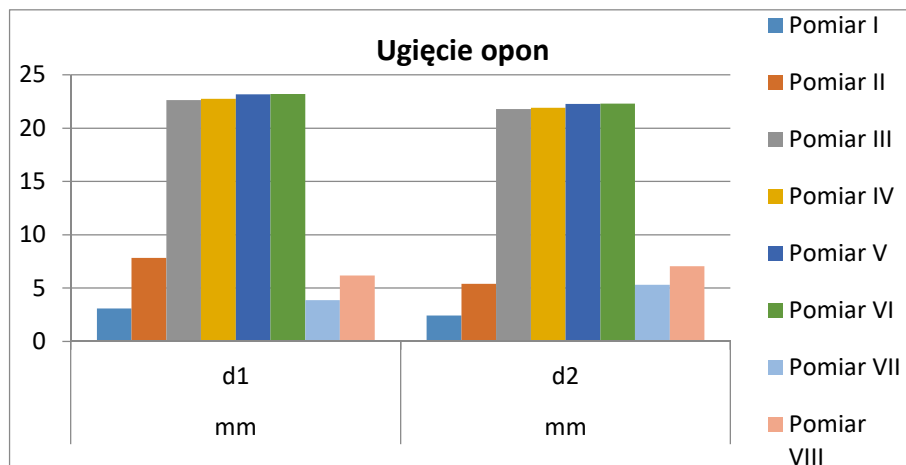


Rysunek 3. Kąty wychylenia wzdłużnego wózka i masztu



Rysunek 4. Kąty wychylenia poprzecznego wózka i masztu

Maszt jest automatycznie ustawiany w pionie, stąd jego wychylenia są wyraźnie mniejsze. Jest to wyraźnie widoczne na poniższych wykresach. Dla poziomego ustawienia wózka mierzone wielkości są małe.

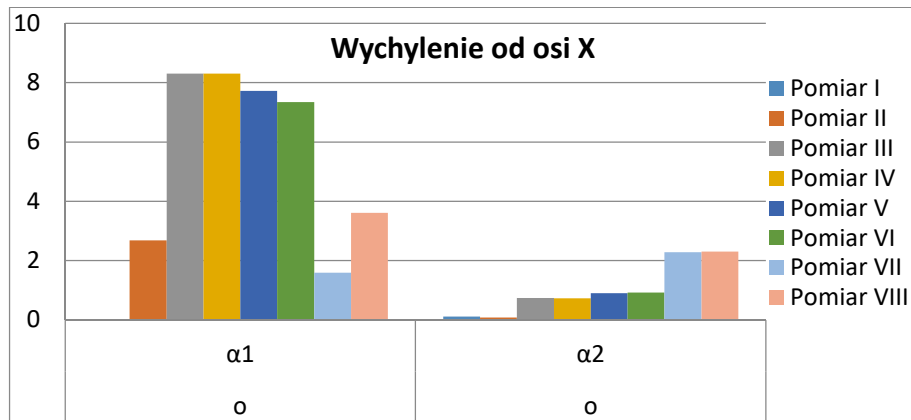


Rysunek 5. Ugięcia opon wózka

Ugięcia opon dla pierwszego pomiaru są widoczne już pod samym ciężarem wózka (około 2,5mm), po dołożeniu do tego ciężaru wideł, ugięcie to zwiększa się dwukrotnie. Podczas podnoszenia ładunku na zadaną wysokość i następnym jego odchyleniu ugięcie opon zwiększyło się do 22mm.

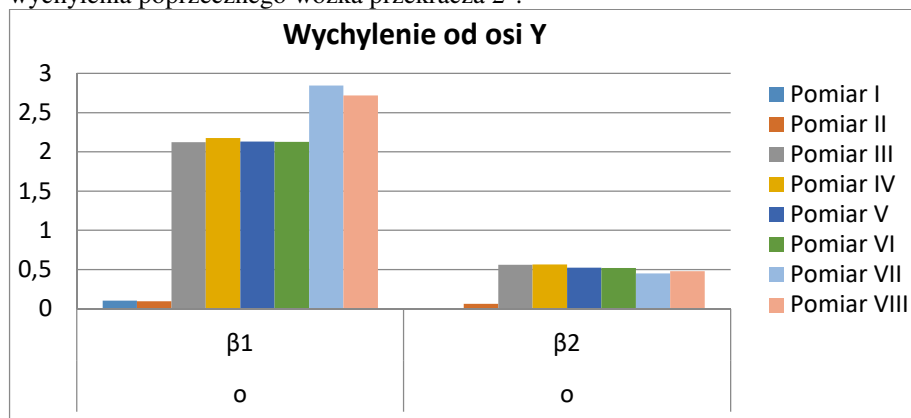
4.1. Wyniki badań stateczności wózka widłowego usytuowanego wzdłużnie na wzniesieniu

Na rysunkach przedstawiono kąty wychylenia wózka i masztu przy położeniu wózka na powierzchni o przechyle wzdłużnym $\sim 2,3^\circ$.

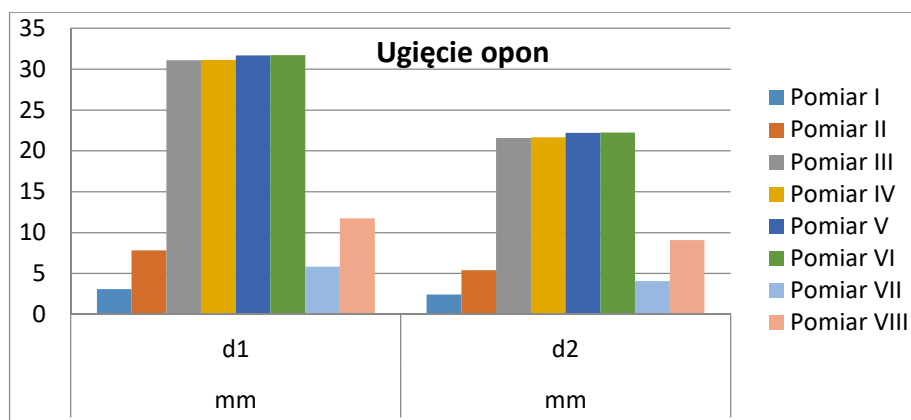


Rysunek 6. Kąty wychylenia wzdłużnego wózka i masztu

Podczas próby podnoszenia ładunku wzrosła, wspomniana wcześniej, wartość wychylenia poprzecznego wózka przekracza 2° .



Rysunek 7. Kąty wychylenia poprzecznego wózka i masztu

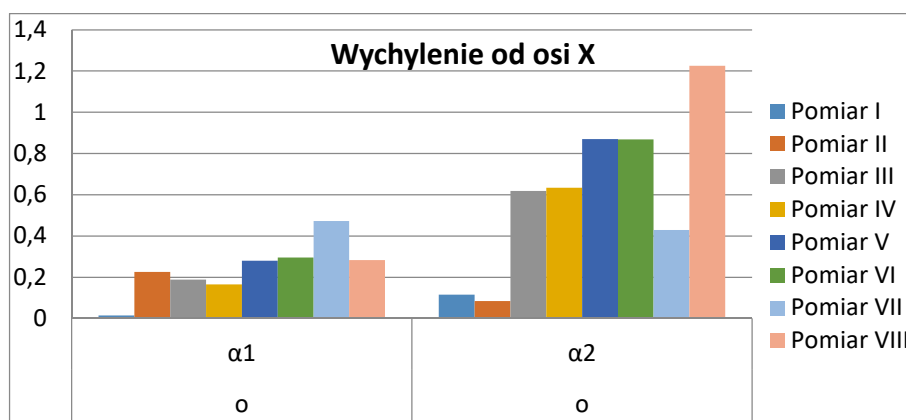


Rysunek 8. Ugięcie opon wózka

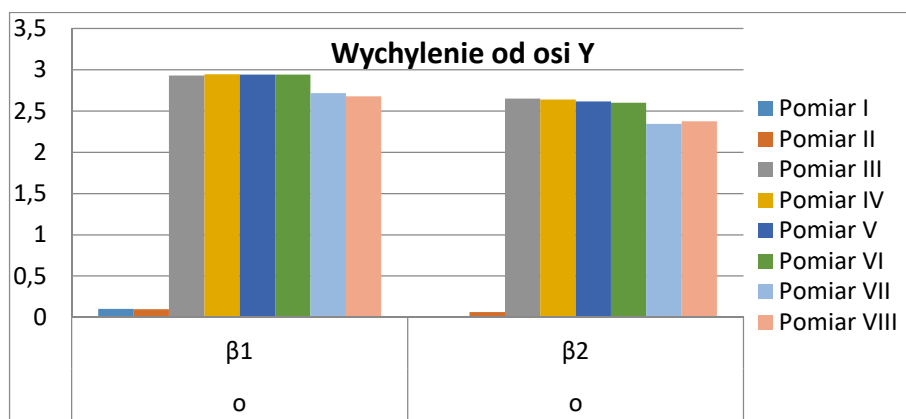
Wartości ugięcia opon wykazują różnicę pomiędzy lewym, a prawym kołem równą ~10 mm podczas podnoszenia i odchylenia ładunku. Podobnie jak w przypadku wychylenia poprzecznego wózka różnica ta może pochodzić od nieosiowo ustawionego ładunku na widłach, który przeważa na lewą stronę. Dodatkowo niewielkie pochylenie terenu zwiększa różnicę ugięcia opon. Maksymalne ugięcie opon w tej próbie jest równe 32 mm podczas odchylenia ładunku od siebie. Pomimo niezauważalnej gołym okiem nierówności powierzchni, na której były prowadzone badania, różnice te musiały występować, czego skutkiem było zwiększone ugięcie lewej opony.

4.2. Wyniki badań stateczności wózka widłowego usytuowanego na wzniesieniu bokiem

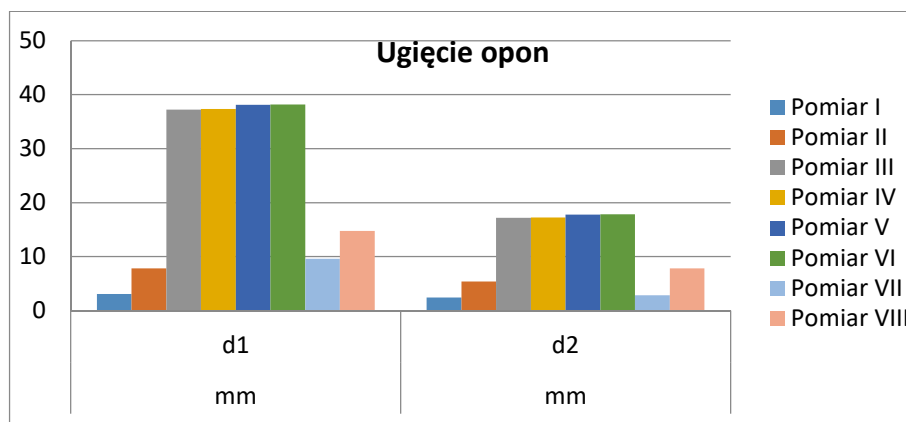
Na rysunkach przedstawiono kąty wychylenia wózka i masztu przy położeniu wózka na powierzchni o przechyle poprzecznym ~2,3°.



Rysunek 9. Kąty wychylenia wzdłużnego wózka i masztu



Rysunek 10. Kąty wychylenia poprzecznego wózka i masztu



Rysunek 11. Ugięcie opon wózka

5. Podsumowanie i wnioski

Podczas przeprowadzonych badań stateczności wszystkie próby były wykonywane przy zmniejszonym o połowę obciążeniu nominalnym. Pomimo to, udało się ocenić stateczność wózka, głównie na podstawie obciążeń poszczególnych opon. Podczas analiz przyjęto liniowe odkształcenia opon w funkcji obciążenia. Przeprowadzone badania pozwalają nie tylko na ocenę stateczności, ale również na określenie „zapasu”, jaki wynika z konstrukcji wózka. Co więcej, badania pozwoliły na wykazanie potencjału roboczego, jakim dysponuje wózek podczas prac przeładunkowych na wzniesieniu przodem lub bokiem.

1. Badania stateczności wózka widłowego znajdującego się na płaskiej poziomej nawierzchni.
Nie odnotowano, żadnych skrajnych wychyleń wózka, a sądząc po ugięciu kół przednich i optymalnym zachowaniu kół tylnych, co zostało poddane analizie, wózek jest w stanie przekroczyć swój udźwig nominalny przy jednoczesnym zachowaniu stateczności. Świadczy to o tym, że konstrukcyjnie wózek jest przygotowany do naprawde wysokich wychyleń wzdłużnych, które głównie są spowodowane ugięciem przednich opon. Aczkolwiek duży ciężar przeciwwagi oraz długi rozstaw osi wózka, nie pozwala na oderwanie się od podłoża kół osi tylnej.
2. Badania stateczności wózka widłowego znajdującego się wzdłużnie na wzniesieniu. Biorąc pod uwagę zachowanie wózka podczas podnoszenia ładunku, wartości wychyleń wzdłużnych oraz analizę ugięcia opon, wózek zachowuje swoją stateczność oraz w pełni wykorzystuje swoje parametry dotyczące udźwigu nominalnego i wysokości podnoszenia.
3. Badania stateczności wózka widłowego znajdującego się bokiem na wzniesieniu. Po przeprowadzeniu analizy obciążeniowej kół stwierdzono, że

przy podnoszeniu przez wózek ładunku o wadze równej nominalnemu udźwignowemu wózka, wychylenia boczne zwiększą się nieznacznie. Ale istnieje pewien wyjątek od tych założeń. Każdy ładunek podejmowany przez wózek widłowy posiada swój indywidualny środek ciężkości. Podnoszenie ładunku o wadze 16 000 kg z nisko położonym środkiem ciężkości na wysokości np. 500 mm nie odpowiada podnoszeniu ładunku o wadze 16 000 kg z wysoko położonym środkiem ciężkości na wysokości np. 1500 mm. Podsumowując, pozytywne wyniki badań stateczności wózka widłowego nie są jedynym wyznacznikiem jego parametrów określających cechy użytkowe takie jak udźwign nominalny czy wysokość podnoszenia.

LITERATURA

1. Serwis internetowy:
https://www.wkl.com.pl/fragmenty_ksiazek/1469_organizacja_transportu.pdf , 01.10.2020.
2. CANON R.H. Jr: Dynamika układów fizycznych, Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa 1973.
3. PARCZEWSKI K.: Analiza możliwości wykorzystania modelu fizycznego pojazdu do oceny stateczności ruchu pojazdów wielkogabarytowych, Wydawnictwo ATH, Bielsko-Biała, 2014r.
4. ANDRZEJEWSKI R.: Stabilność ruchu pojazdów kołowych, WNT Warszawa 1997.
5. BUZIŃSKA T.: Obsługa wózków jezdniowych UDT II WJO, Przedsiębiorstwo Naukowo – Badawczo – Usługowe BT.
6. Serwis internetowy:
<https://www.spare.com.pl/porady-techniczne/wozki-jezdniowe-wozki-widlowe-charakterystyka> , 01.10.2020.
7. Serwis internetowy:
<https://cwwbblum.com/czym-wozek-widlowy-definicja/>, 01.10.2020.
8. Serwis internetowy:
<http://www.centrumszkolen.net/kursy-na-wozki-widlowe/>, 01.10.2020.
9. NIEOCZYM A., BRUMERČÍK F.: Maszyny i urządzenia transportu bliskiego, Politechnika Lubelska. Wydział Mechaniczny, Lublin 2015.
10. Polski Komitet Normalizacyjny PN-ISO 5766, Wózki jezdniowe. Wózki podnośnikowe widłowe i platformowe z masztem wewnętrznym. Badania stateczności.
11. Hyundai Heavy Industries Operator's Manual Forklift Truck 160D-9 2016r.
12. Grapol Electronic: Układ Pomiarowy AD 32, Dokumentacja techniczno ruchowa, Warszawa 2012r.
13. Serwis internetowy:
<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL327.pdf> , 01.10.2020.

14. Serwis internetowy:

<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL354.pdf>, 01.10.2020.

15. Serwis internetowy:

<https://www.keyence.eu/plpl/products/measure/laser-1d/il/specs/>, 01.10.2020.