

# WYZNACZANIE WIELKOŚCI KINEMATYCZNYCH UKŁADU ZAWIESZENIA SZYBKOBIEŻNEGO POJAZDU GĄSIENICOWEGO

Jacek Gniłka, Tomasz Machoczek, Arkadiusz Mężyk

*Katedra Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej, Politechnika Śląska*

*jacek.gnilka@polsl.pl, tomasz.machoczek@polsl.pl, arkadiusz.mezyk@polsl.pl*

## Streszczenie

W niniejszym artykule przedstawiono proces badania własności dynamicznych zawieszenia szybkobieżnego pojazdu gąsienicowego. Poprzez zastosowanie metody fotogrametrycznej rejestracji obrazu wyznaczono wielkości kinematyczne wybranych punktów umiejscowionych na pojeździe. Dzięki komputerowej analizie zarejestrowanego obrazu otrzymano wybrane charakterystyki takie jak przemieszczenia, prędkości czy przyspieszenia markerów, które w dalszym etapie służą do określenia własności dynamicznych zawieszenia badanego pojazdu.

**Słowa kluczowe:** metoda fotogrametryczna, badanie zawieszenie pojazdu gąsienicowego

## DETERMINATION OF THE KINEMATIC MAGNITUDE OF TRACKED VEHICLE SUSPENSION

### Summary

This paper presents the process of researching the dynamic properties of the suspension of high-speed tracked vehicle. Through the use of photogrammetric methods for image registration determined kinematic quantities of selected points located on the vehicle. Through computer analysis of the recorded image was obtained selected characteristics such as displacement, velocity or acceleration of markers that in the next step are used to determine the dynamic properties of the suspension of the test vehicle.

**Keywords:** photogrammetric method, the study tracked vehicle suspension

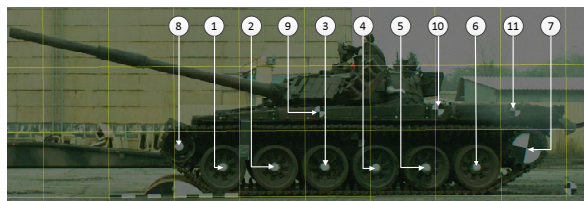
### 1. WSTĘP

Wyznaczenie wielkości kinematycznych wybranego pojazdu gąsienicowego jest zadaniem dzięki któremu możliwe jest poznanie jego własności zawieszenia. Przedstawione w artykule rezultaty badań wykorzystano do weryfikacji poprawności budowy wirtualnych modeli obliczeniowych, oraz do ustalenia wartości przyspieszeń oddziaływujących na załogę pojazdu.

Dopuszczalne wielkości przyspieszeń oddziaływujących na człowieka, załogę pojazdu określa norma ISO-2631 ustalająca wartości ekspozycji na drgania ogólne w kierunku pionowym ze względu na zmniejszenie wydajności pracy (granica uciążliwości), oraz ze względu na granicę szkodliwości.

Realizację eksperymentu, rozpoczęto od wyboru metody pomiarowej i określenia planu działania. Zdecydowano się na prowadzenie badań przy wykorzystaniu fotogrametrycznej metody rejestracji ruchu (zwanej

również wideorejestracją). Rejestrowane obrazy analizowano poklatkowo. W tym celu rozmieszczono na pojeździe 11 markerów odbijających światło. Markery umieszczono w punktach charakterystycznych dla pracy tego typu urządzeń mechanicznych. Pięć wybranych punktów związanych było z kadłubem pojazdu, z czego dwa określały położenie środków koła napędowego i napinającego. Sześć pozostałych markerów umieszczono w osiach kół jezdnych.



Rys. 1 Struktura rozmieszczenia markerów na pojeździe gąsienicowym

Tabela 1 Rozmieszczenie markerów

Numer markera	Rozmieszczenie markera
1, 2, 3, 4, 5, 6	środek geometryczny kolejnego koła jezdne
7	środek geometryczny koła napędowego
8	środek geometryczny koła napinającego
9	marker na kadłubie w odległości (-3347, 587) [mm] od koła napędowego
10	marker na kadłubie w odległości (-1445, 620) [mm] od koła napędowego
11	marker na kadłubie w odległości (-202, 625) [mm] od koła napędowego

Badania poligonowe przeprowadzone zostały z użyciem pojazdu o kryptonimie Wilk - prototyp wozu PT-91 Twardy.

Masa bojowa pojazdu PT-91 szacowana jest w zależności od wyposażenia i wersji na około 46200 kg. W pojeździe w trakcie badań znajdowało się 400 l paliwa na 1600 l możliwego do zatankowania. Pojazd nie posiadał pancerza reaktywnego ERAWA, którego masa wynosi ok 1500 kg, oraz amunicji o szacowanej masie 1000 kg, dlatego szacowana masa pojazdu to 42600,4 kg. W tabeli poniżej podano zestawienie mas podzespołów pojazdu istotnych dla celów dalszych badań.

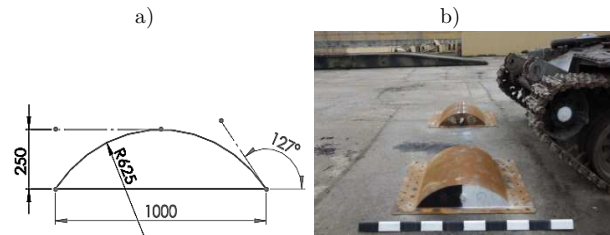
Tabela 2 Masy podzespołów modelu

Nazwa podzespołu	l. szt.	masa 1 szt. [kg]	łącznie masa [kg]
kadłub z wieżą i masą paliwa	1	35220,0	35020,0
koło napędowe	2	193,5	387,0
koło napinające	2	90,0	180,0
koło jezdne	12	102,8	1233,6
łącznik	6	5,0	30,0
wahacz	12	59,0	708,0
ramię tłumika	6	8,5	51,0
rolka	6	31,8	190,8
ogniwo gąsienicy	192	25,0	4800,0
			<b>42600,4</b>

## 2. STRUKTURA STANOWISKA POMIAROWEGO

Zaprojektowano i wykonano dwie przeszkody terenowe o profilu pokazanym na rys. 2. Konstrukcja składa się z blachy o grubości 5 mm, która stanowi osłonę przed ścieraniem przez najjeżdżące gąsienice pojazdu.

Wewnątrz zastosowano wypełnienie betonem dla zapewnienia możliwie wysokiej sztywności. Następnie przymocowano przeszkody do placu manewrowego o podłożu betonowym.

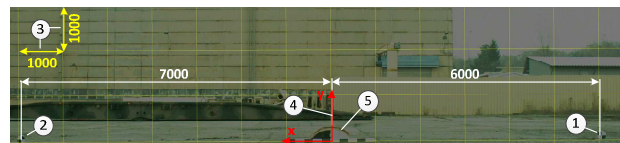


Rys. 2 Przeszkoda terenowa, a) geometria przeszkody, b) montaż przeszkód na placu badań

Stanowisko wykorzystywane podczas realizacji eksperymentu składało się z:

- 1) kamery typu PHANTOM V9.1 z obiektywem szerokokątnym,
- 2) stacji roboczej z oprogramowaniem przetwarzającej sygnały z kamery,
- 3) zestawu pasywnych markerów rozmieszczonych w wybranych punktach pojazdu,
- 4) toru pomiarowego z przeszkodą.

Ustalono obszar wideorejestracji, obejmujący dystans 6m przed i 7 m za przeszkodą, jak pokazano na rys. 3.



Rys. 3 Obszar wideorejestracji

- 1 początek pola rejestracji, 2 koniec pola rejestracji,
- 3 wymiar linii siatki, 4 układ współrzędnych, 5 przeszkoda terenowa

Wykorzystana w badaniach szybkoblatkowa kamera rejestrująca obraz typu PHANTOM V9.1 posiadała matrycę CMOS, 14-bitowy przetwornik klatek na sekundę przy rozdzielczość 1632 x 240 aktywnych pikseli. Kamera została ustawiona w odległości 22 m od przeszkody terenowej. Rejestracja odbywała się z częstotliwością 300 klatek na sekundę. Przesył informacji jak i sterowanie odbywało się poprzez magistralę Gigabit Ethernet. Zapis obrazu realizowany był do wbudowanej wewnętrznej pamięci DRAM.



Rys. 4 Kamera rejestrująca obraz

W rezultacie przeprowadzonych badań otrzymano charakterystyki przemieszczeń, prędkości i przyspieszeń markerów.

### 3. PRZEBIEG BADAŃ DOŚWIADCZALNYCH

Badania doświadczalne obejmowały przejazdy przez przeszkodę z najazdem oboma gąsienicami na wprost. Prędkości przy których prowadzono badania to: 4, 8, i 13 km/h. Każdy z przejazdów został powtórzony trzykrotnie.



Rys. 5 Przebieg badań doświadczalnych

Wyznaczone na tej podstawie współrzędne wybranych, charakterystycznych punktów, poddano obliczeniom prowadzącym do określenia wartości bezwzględnych i względnych przemieszczeń, prędkości i przyspieszeń.

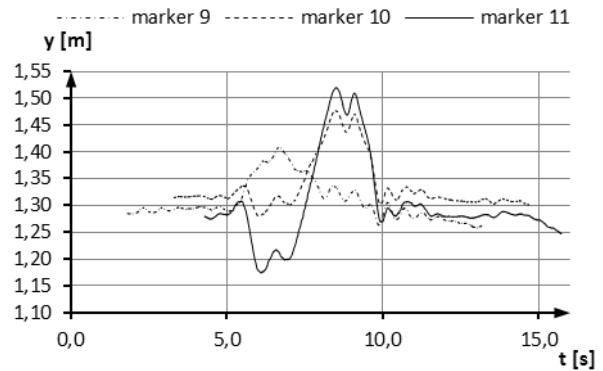
W celu wyznaczenia trajektorii markerów w przyjętym układzie współrzędnych (w poszczególnych chwilach czasowych), zdecydowano się na wykorzystanie systemu TEMA Automotive, dedykowanego do analizy ruchu w przemyśle samochodowym. Poprzez zastosowanie techniki progowania program znajduje różnicę pomiędzy barwami lub odcieniami szarości, które wyróżniają się na tle ciemnego odcienia pojazdu.

### 4. WYNIKI BADAŃ

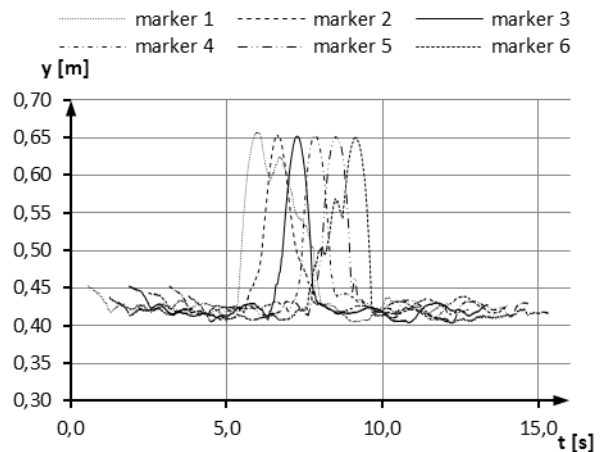
W wyniku prowadzonych działań związanych z eksperymentem na podstawie wielkości zmierzonych w trakcie doświadczenia uzyskano:

- średnią wartość prędkości przejazdu pojazdu przez przeszkodę,
- bezwzględne przemieszczenia, prędkości i przyspieszenia kół oraz korpusu względem globalnego układu współrzędnych,
- zmiany kątów nachylenia korpusu względem osi wzdluznej, poprzecznej i pionowej układów współrzędnych związanych z pojazdem.

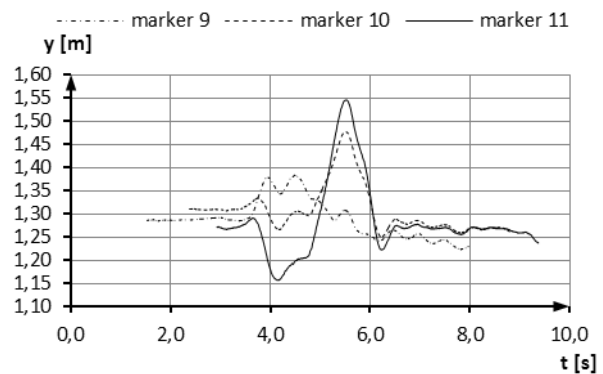
Wybrane wielkości zmierzone zaprezentowano poniżej na wykresach.



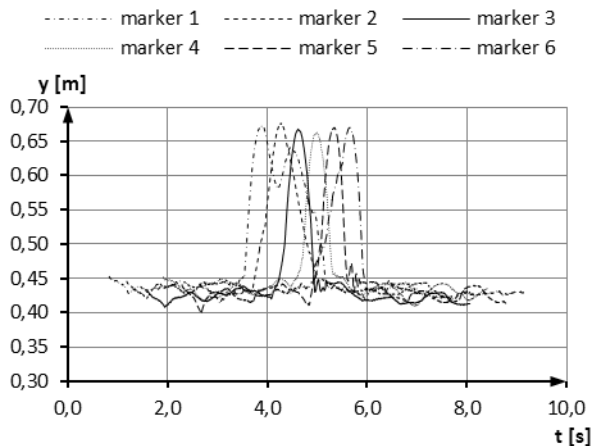
Rys. 6 Pionowe przemieszczenie markerów znajdujących się na kadłubie przy prędkości jazdy 4 km/h



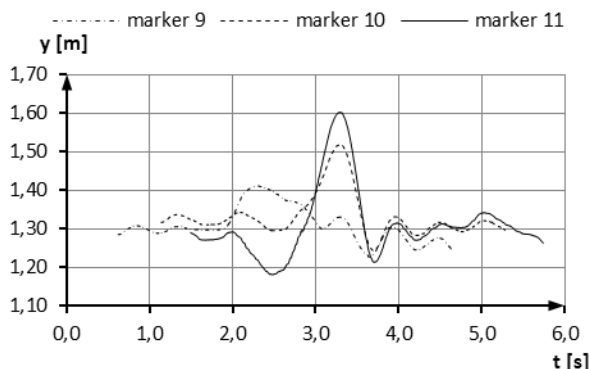
Rys. 7 Pionowe przemieszczenie markerów znajdujących się na kołach jezdnych przy prędkości jazdy 4 km/h



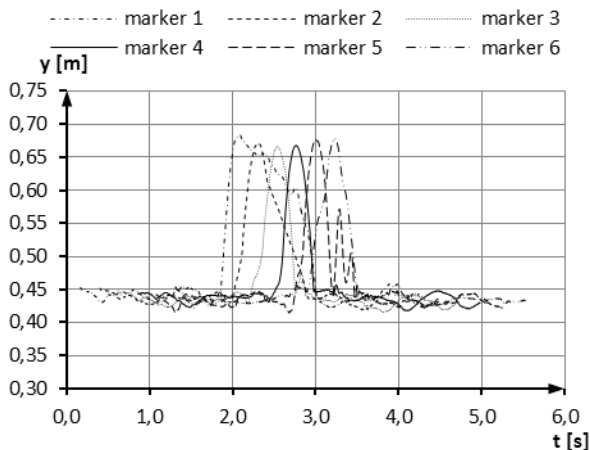
Rys. 8 Pionowe przemieszczenie markerów znajdujących się na kadłubie przy prędkości jazdy 8 km/h



Rys. 9 Pionowe przemieszczenie markerów znajdujących się na kołach jezdnych przy prędkości jazdy 8 km/h

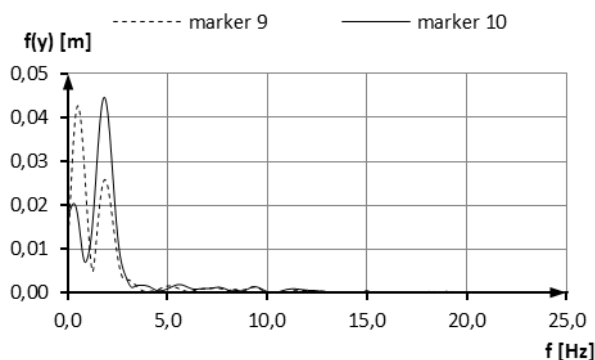


Rys. 10 Pionowe przemieszczenie markerów znajdujących się na kadłubie przy prędkości jazdy 13 km/h

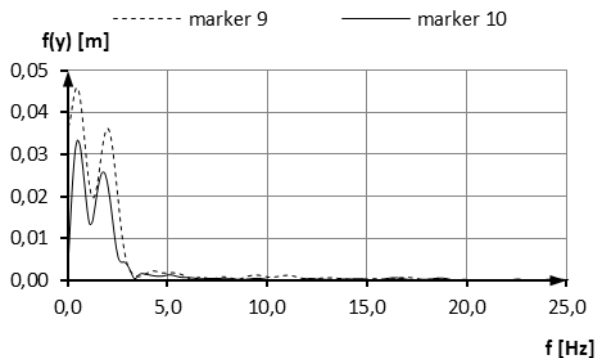


Rys. 11 Pionowe przemieszczenie markerów znajdujących się na kołach jezdnych przy prędkości jazdy 13 km/h

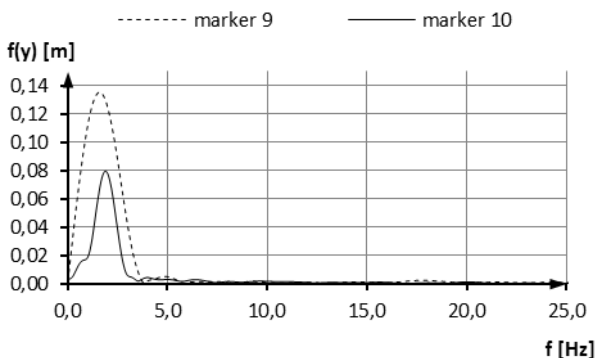
Na prezentowanych wykresach, szczególnie w przypadku trajektorii koła pierwszego, drugiego i szóstego, widać wpływ gąsienicy (rys. 7, rys. 9, rys. 11). Charakterystyki wspomnianych kół różnią się znacznie od pozostałych. Jest to spowodowane napinaniem i luzowaniem się gąsienicy w wyniku przemieszczeń kół środkowych. Napięta gąsienica powoduje przenoszenie obciążeń na wszystkie koła, a w szczególności na koła zewnętrzne.



Rys. 12 Charakterystyka częstotliwościowa pionowych przemieszczeń markera nr 9 i 10 przy prędkości jazdy 4 km/h



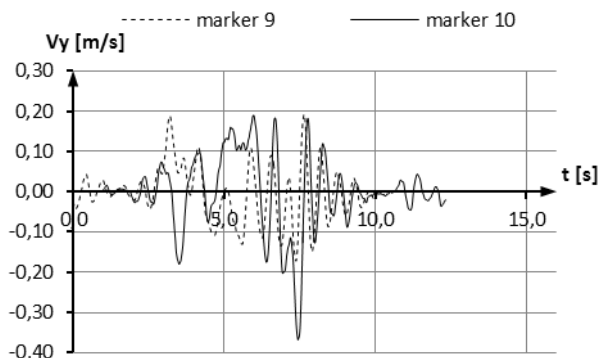
Rys. 13 Charakterystyka częstotliwościowa pionowych przemieszczeń markera nr 9 i 10 przy prędkości jazdy 8 km/h



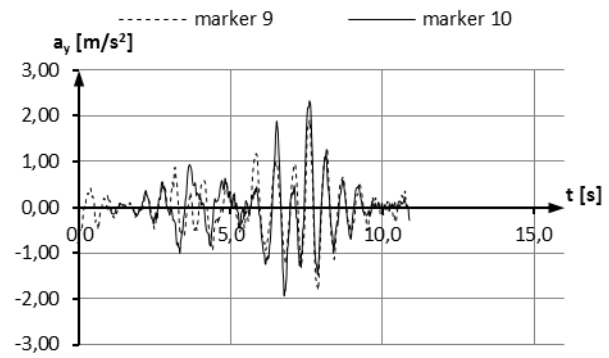
Rys. 14 Charakterystyka częstotliwościowa pionowych przemieszczeń markera nr 9 i 10 przy prędkości jazdy 13 km/h

Wraz ze wzrostem prędkości wymuszenia rośnie wartość amplitudy przemieszczenia masy resorowanej. Szczególnie jest to widoczne na wykresach 12 i 13. Szybka transformata Fouriera wykazała, iż w przypadku przejazdów z prędkościami 4 i 8 km/h uwidoczniły się 2 charakterystyczne częstotliwości rezonansowe, które mogą wynikać z ruchu gąsienicy i kołysania pojazdu w płaszczyźnie wzdłużnej i poprzecznej. Z analizy materiału filmowego wynika, iż druga częstotliwość o wartości ok 2 Hz związana jest z ruchem drgającym kadłuba pojazdu na kierunku pionowym.

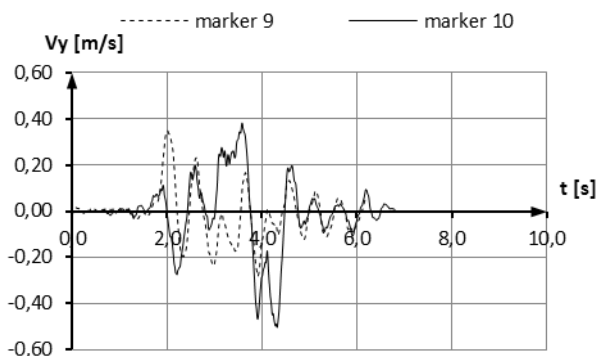
Efekt ten nie został zobrazowany podczas przejazdu z prędkością 13 km/h, ze względu na znaczną efektywność elementów tłumiących działających w funkcji prędkości.



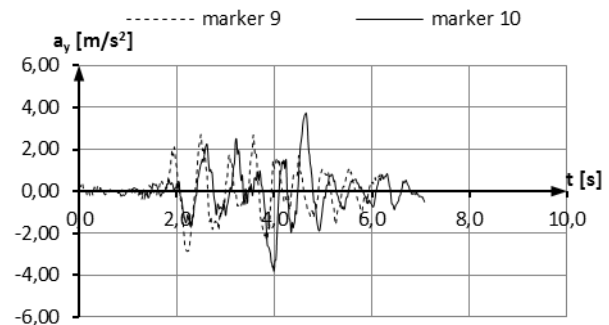
Rys. 15 Charakterystyka prędkości w kierunku pionowym markera nr 9 i 10 przy prędkości jazdy 4 km/h



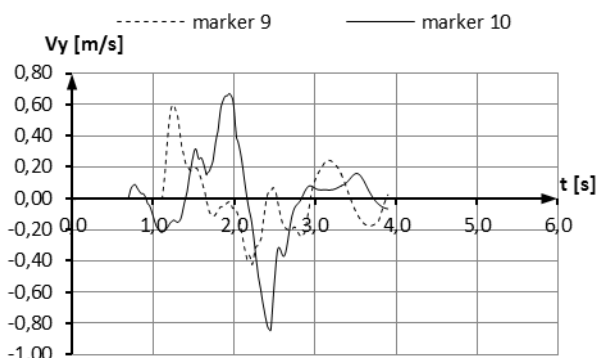
Rys. 18 Charakterystyka przyspieszeń w kierunku pionowym markera nr 9 i 10 przy prędkości jazdy 4 km/h



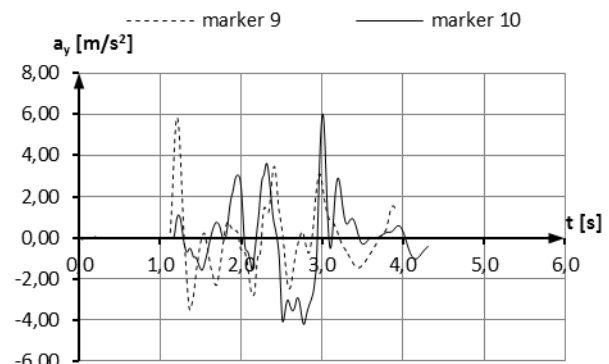
Rys. 16 Charakterystyka prędkości w kierunku pionowym markera nr 9 i 10 przy prędkości jazdy 8 km/h



Rys. 19 Charakterystyka przyspieszeń w kierunku pionowym markera nr 9 i 10 przy prędkości jazdy 8 km/h



Rys. 17 Charakterystyka prędkości w kierunku pionowym markera nr 9 i 10 przy prędkości jazdy 13 km/h



Rys. 20 Charakterystyka przyspieszeń w kierunku pionowym markera nr 9 i 10 przy prędkości jazdy 13 km/h

Wraz ze wzrostem prędkości wymuszenia wzrastają maksymalne wartości prędkości masy resorowanej. Przebiegi markerów nr 9 i 10 podczas najazdu pojazdu na przeszkodę wykazują przeciwne zwroty prędkości. Na tej podstawie można stwierdzić, iż środek ciężkości znajduje się pomiędzy nimi. Dalsza analiza prędkości wykazuje, iż po przejeździe przez przeszkodę, zwroty prędkości stają się zgodne i przesunięte w fazie, co wynika z odległości ich rozmieszczenia. Po przejeździe przez przeszkodę wartości prędkości markerów nr 9 i 10 są zbliżone, gdyż kadłub pojazdu wykazuje przewagę drgań na kierunku pionowym.

Analiza przebiegu wartości przyspieszeń w badanym zakresie prędkości wymuszenia wykazała, iż wraz ze wzrostem prędkości przejazdu pojazdu, wzrastają wartości pionowych przyspieszeń kadłuba do wartości międzyszczytowej  $10 \text{ m/s}^2$  występującej przy prędkości 13 km/h. Można wywnioskować, że wraz ze wzrostem prędkości jazdy wartość pionowych przyspieszeń będzie wzrastać, co staje się negatywnym czynnikiem oddziaływania na organizm człowieka. W praktyce należy uwzględnić powyższy wniosek na etapie projektowania i modyfikacji pojazdu, aby jego częstotliwość drgań własnych nie przekraczała wartości 2 Hz, przy krótkotrwałych występujących przyspieszeniach do wartości około 3 g w zakresie prędkości, z jaką może pojazd się poruszać.

## 5. WNIOSKI

Prędkość przejazdu pojazdu przez przeszkodę wpływa w bezpośredni sposób na wartości przyspieszeń masy resorowanej (kadłuba). Im prędkość wymuszenia jest większa, tym większe są przyspieszenia kadłuba, ale mniejsze przemieszczenia liniowe i kątowe.

Oddziaływanie na korpus pierwszych trzech par kół jezdnych, które wyznaczono dla przyjętego pierwszego, lokalnego układu współrzędnych, jest różne od oddziaływania kolejnej trójki pary kół mierzonego względem

drugiego, lokalnego układu współrzędnych. Jest to dowodem na specyficzne położenie środka ciężkości kadłuba, który przesunięty jest w tył pojazdu.

Z uwagi na ograniczony obszar wideorejestracji, w celu dokładnego zobrazowania zachowania się pojazdu przy dużych prędkościach zalecane jest zastosowanie sprzężenia większej liczby kamer. Nie zaleca się zwiększania odległości jednego rejestratora obrazu od badanego obiektu ponieważ powoduje to zmniejszenie dokładności pomiarowej (liczba pixeli/metr).

*Praca naukowa realizowana w ramach:*

*umowy 2828/B/T00/2010/40, finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2011 – 2014 jako projekt badawczy o numerze O N501 282840; oraz umowy 5621/B/T02/2011/40, finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2011 – 2013 jako projekt badawczy o numerze N N509 562140.*

## Literatura

---

1. Mężyk A., i inni. Modelling and Investigation of Dynamic Parameters of Tracked Vehicles. *Mechanics and Mechanical Engineering* Vol. 15, No. 4 (2011) 115–130.
2. Kciuk S. Kształtowanie charakterystyk dynamicznych zawieszonych szybkojezdnych pojazdów gąsienicowych. Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji - Państwowego Instytutu Badawczego, Radom 2013.
3. Gniłka J., Machoczek T., Mura G. Komputerowe wspomaganie modelowania własności dynamicznych zawieszonych pojazdów gąsienicowych. Gliwice 2013, ISSN 0860-8369, str. 17- 25
4. ISO 2631-5:2004 Mechanical vibration and shock evaluation of human exposure to whole-body vibration- Part 5: Method for Vibration Containing Multiple Shocks. International Organization for Standardization, Geneva.
5. ISO 2631-1:1997 Mechanical vibration and shock evaluation of human exposure to whole-body vibration- Part 1: General Requirements. International Organization for Standardization, Geneva
6. Park M., Fukuda T., Kim T., Maeda S. Health Risk Evaluation of Whole-body Vibration by ISO 2631-5 and ISO 2631-1 for Operators of Agricultural Tractors and Recreational Vehicles, *Industrial Health* 2013, 51, 364–370