

Mariusz KOSOBUDZKI*

SKRĘCANIE USTROJU NOŚNEGO SAMOCHODU CIĘŻAROWO – OSOBOWEGO WYSOKIEJ MOBILNOŚCI PODCZAS JAZDY W ZRÓŻNICOWANYM TERENIE

Przedstawiono metodę rejestracji odkształceń ustroju nośnego samochodu ciężarowo – osobowego wysokiej mobilności w postaci skręcania ramy na przykładzie samochodu Honker 2000. Ten rodzaj odkształcenia decyduje o trwałości ustroju nośnego, a tym samym całego pojazdu. Badania przeprowadzono statycznie oraz dynamicznie podczas jazdy po różnych rodzajach nawierzchni. Otrzymane wyniki posłużą do symulacji trwałości zmęczeniowej tego elementu konstrukcyjnego.

***Słowa kluczowe:** ustrój nośny, skręcanie, samochód ciężarowo-osobowy wysokiej mobilności, Honker 2000*

WSTĘP

Realizowane przez wiele ośrodków akademickich badania ustrojów nośnych pojazdów kołowych już w latach 70. wykazały, że o trwałości tego elementu konstrukcyjnego decyduje jego wytrzymałość na zmienne w czasie odkształcenia skątne wywołane niesymetrycznym oddziaływaniem nierówności drogi [1, 2, 3, 4, 5]. Ponieważ jest to element w praktyce niewymienny, jego trwałość determinuje trwałość całego pojazdu. Stale aktualne pozostaje zatem poszukiwanie szybkich metod szacowania zakresu i dynamiki zmian kąta skręcenia ustroju nośnego.

1. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Obiektem badań doświadczalnych był samochód Honker 2000. Jest to podstawowy model pojazdu zaliczanego do grupy ciężarowo – osobowej wysokiej mobilności, jakie są eksploatowane w jednostkach wojska polskiego. Przeznaczony jest

* kpt. mgr inż. Mariusz KOSOBUDZKI – Instytut Dowodzenia Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych

do transportu do ośmiu żołnierzy w każdych warunkach drogowo – terenowych. Ogólny widok pojazdu przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Samochód ciężarowo – osobowy wysokiej mobilności Honker 2000

Źródło: Opracowanie własne

2. CHARAKTERYSTYKA USTROJU NOŚNEGO OBIEKTU BADAŃ

Ustrojem nośnym samochodu Honker jest podłużnicowa rama spawana o długości 4273 [mm], z rozstawem podłużnic 750 [mm], usztywniona pięcioma poprzeczkami oraz dodatkowo zderzakiem przednim [7]. Przekroje podłużnic i poprzeczek mają kształt prostokątny o wymiarach 50 [mm] x 100 [mm] i grubości ścianki profilu 4 [mm]. Węzły ramy, ze względu na technikę łączenia spawaniem, są niepodatne. Do podłużnic ramy przyspawano wsporniki do zamocowania elementów sprężystych i tłumiących zawieszenia oraz innych układów i mechanizmów pojazdu, w tym nadwozia. Ogólny widok podwozia pojazdu przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Podwozie samochodu Honker 2000

Źródło: Opracowanie własne

Cechą charakterystyczną tego typu ram jest ich duża sztywność skrętna i mała masa.

3. ZASTOSOWANA APARATURA POMIAROWA

Pomiar kąta skręcenia ramy w warunkach statycznego obciążenia nie jest dużym problemem i można go przeprowadzić w sposób bezpośredni, mierząc odpowiednio wyskalowanym miernikiem, np. przymiarem kreskowym, przemieszczenia końców podłużnic ramy. W warunkach dynamicznych, pomiaru przemieszczeń względnych końców podłużnic ramy trzeba dokonywać metodami pośrednimi [6]. W pomiarach tych wykorzystuje się specjalne układy, dla których źródłem danych są sygnały generowane przez odpowiednie czujniki. Takie czujniki dokonują konwersji mierzonej wielkości fizycznej na zmienny w czasie sygnał elektryczny, najczęściej napięciowy w procesie kondycjonowania. Nośnikiem danych w takim sygnale może zatem być amplituda jego napięcia, częstotliwość czy przesunięcie fazowe.

Tabela 1. Czujniki wykorzystane w pomiarach

<i>Czujniki przyspieszeń</i>	
	pojemnościowe 3701D1FA20G
Zakres mierzonych amplitud	do 29 [m/s²]
Czułość	10 [mV/m/s²]
Zakres pomiarowy	0÷500 [Hz]
Nieliniowość	≤ 1 [%]
Masa	17,5 [g]
<i>Czujnik przemieszczeń względnych</i>	
Typ czujnika	linkowy WDS-1000
Zakres mierzonych amplitud	do 30 [m/s²]
Czułość	1 [mV/V/mm]
Zakres pomiarowy	0÷1000 [mm]
Nieliniowość	≤ 1 [%]
Masa	270 [g]
<i>Półmostek tensometryczny</i>	
rezystancja tensometru: R=351,2 [Ω]	stała tensometru: k=2,15

Źródło: Opracowanie własne

Poszukiwaną wielkością były przemieszczenia podłużnic, których znajomość pozwoliła określić stopień skręcenia ramy. Stąd na miejsca zamontowania czujników tensometrycznych w postaci półmostków, naklejonych na podłużnice ramy, generujących sygnały liniowo zależne od ich odkształcenia wybrano cztery punkty na podłużnicach bezpośrednio nad osiami jezdnych pojazdu. Ze względu na łatwość przeprowadzenia pomiarów oraz zapewnienie możliwości wielokrotnego użycia czujników, wykorzystano również czujniki przyspieszenia, generujące zmienny w czasie sygnały napięciowe oraz czujniki linkowe przemieszczeń względnych. Szczegółowe dane wykorzystanych czujników przedstawiono w tabeli 1.

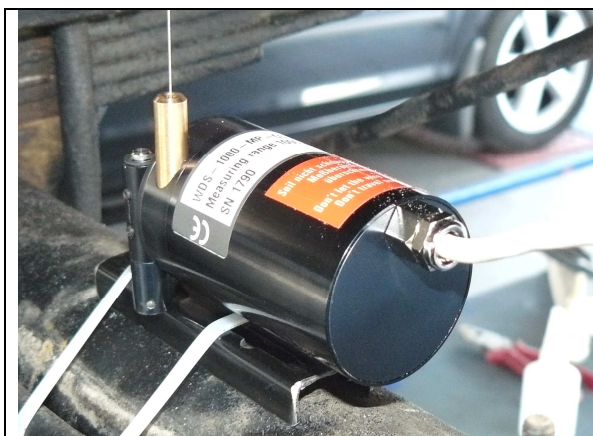
Tabela 2. Dane wykorzystanego rejestratora TEAC LX-10

<i>Ilość kanałów</i>	<i>Możliwe wartości próbkowania [kHz]</i>	<i>Zasilanie [V](DC)</i>	<i>Pobór prądu [W]</i>	<i>Ciężar [kg]</i>	<i>Rozdzielczość</i>	<i>Prędkość zapisu danych</i>
16	1,5, 3, 6, 12, 24,48, 96	11-30	40	3,8	24 bity	do 1.536 MB/s

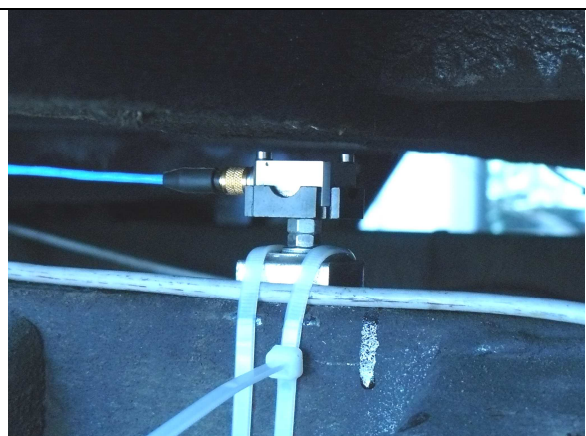
Źródło: Opracowanie własne

Sygnaly pomiarowe generowane przez czujniki przesyłane były do rejestratora, który poprawiał ich jakość poprzez dokonanie filtracji, odpowiednie wzmocnienie i zamianę sygnału z postaci analogowej na cyfrową.

Dla zabezpieczenia czujników przed przemieszczeniem zostały one przytwierdzone jednorazowymi opaskami plastikowymi, tak jak pokazano na rysunku 3 i 4.



Rys. 3. Linkowy czujnik przemieszczeń względnych



Rys. 4. Pojemnościowy czujnik przyspieszeń

Źródło: Opracowanie własne

Czujniki były rozmieszczane na dwóch poziomach analizowanej konstrukcji [8]:

- poziom 1: czujniki mocowane do elementów nieresorowanych pojazdu;
- poziom 2: czujniki mocowane do ramy pojazdu (część masy resorowanej).

Na elementach nieresorowanych mocowano czujniki przemieszczeń, a na ramie pojemnościowe czujniki przyspieszeń.

Półmostki tensometryczne zostały naklejone na podłużnicach ramy nad osiami napędowymi w taki sposób, aby mogły rejestrować odkształcenia podłużnic wywołane działaniem sił tnących wywołujących skręcanie.

4. OTRZYMANE WYNIKI

W cyklu badań przeprowadzono stanowiskowe oraz poligonowe badania skręcania ustroju nośnego.

4.1. Statyczny test skręcania ustroju nośnego

Test przeprowadzono na stanowisku serwisowym stacji kontroli pojazdów w firmie Germaz we Wrocławiu. W czasie pomiarów podnoszono koło pojazdu na wysokość 65 i 130 [mm], obserwując wzajemne przemieszczenia wszystkich kół pojazdu w stosunku do ramy oraz zmianę w odkształceniach podłużnic rejestrowaną przez tensometry. Podnoszenie kolejnego koła odbywało się z przejściem przez punkt równowagi, kiedy wszystkie koła opierały się na poziomym podłożu. Wykonano również test skręcenia ramy wywołany jednoczesnym najechaniem na przeszkodę kołem prawym przednim i tylnym lewym. Wartości zarejestrowanych zmian odkształceń (po przeliczeniu z naprężeń) i przemieszczeń ramy przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Zarejestrowane wartości podczas testu

Podnoszenie koła lewego przedniego				
Przesunięcie koła [mm]	Rama: przesunięcie [mm]/zmiana naprężenia [MPa]			
	Prawy przód (PP)	Prawy tył (PT)	Lewy tył (LT)	Lewy przód (LP)
65	9,2/-11,1	-3,1/1,3	4,9/0,5	57,7/13,5
130	18,4/-22,2	-7,8/2,6	7,8/1	115/25,1
Współczynnik krotkości	2/2	2,5/2	1,6/2	2/1,9
Jednoczesne podniesienie koła prawego przedniego i lewego tylnego				
Przesunięcie koła [mm] / Rama: przesunięcie [mm]/zmiana naprężenia [MPa]				
Prawy przód	Prawy tył	Lewy tył	Lewy przód	
135/92,3/57,1	0/18,8/3,5	135/102,2/13,3	0/32,8/-36,9	
Kąt skreślenia ramy: $\approx 3^\circ$				

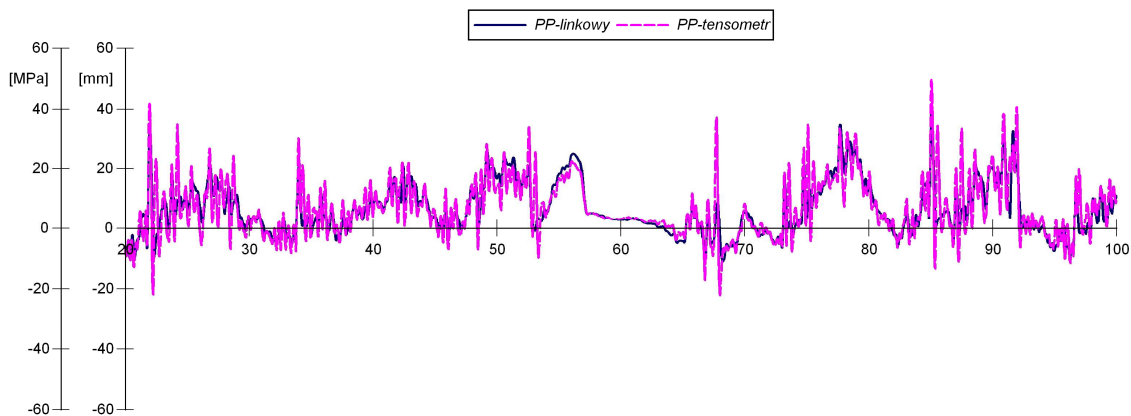
Źródło: Opracowanie własne

4.2. Badania w ruchu

Przeprowadzono eksperymentalne dynamiczne badania pojazdu poruszającego się po różnych nawierzchniach ulic Wrocławia oraz w Ośrodku Ćwiczeń Poligonowych w miejscowości Raków, należącym do Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych we Wrocławiu.

4.2.1. Uzyskane wyniki

Badania prowadzono, pokonując odcinki dróg o nawierzchni asfaltowo – brukowanej, szutrowej oraz bezdrożu. Na rysunku 5 przedstawiono fragment przebiegu naprężenia oraz przesunięcia względnego podłużnicy i osi jezdnej zmierzonych dla prawej przedniej strony pojazdu (PP) podczas jazdy po odcinku drogi z nawierzchnią asfaltowo – brukową w warunkach ruchu miejskiego z prędkością zmienną od 0÷50 km/h.



Rys. 5. Naprężenia w prawym przednim fragmencie podłużnicy i przesunięcia koła prawego przedniego

Źródło: Opracowanie własne

Różnice w wartościach wskazań czujników linkowych i tensometrów wynikają głównie z nieliniowej charakterystyki sprężysto – tłumiącej zawieszenia. Dodatkowo, na wartości wskazane przez czujnik tensometryczny mogą nakładać się drgania pochodzące od silnika i układu napędowego, a na wskazania czujnika linkowego chwilowa utrata przyczepności koła do podłoża. Podobne pomiary przeprowadzono

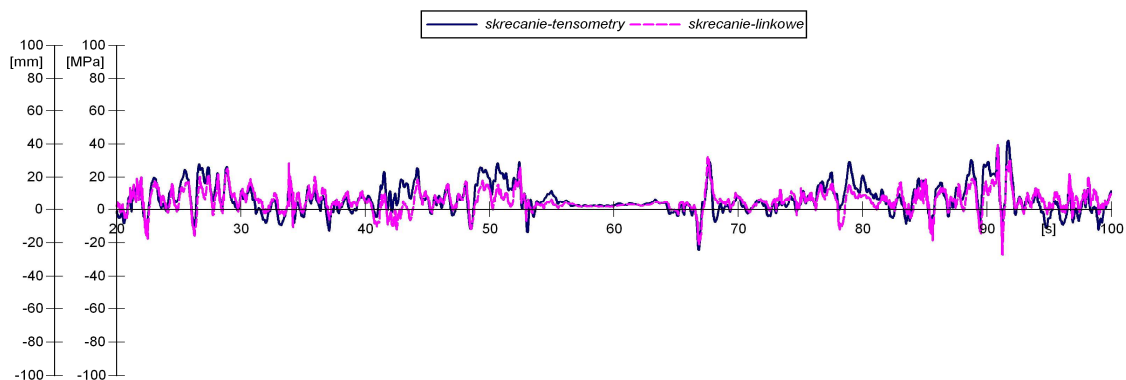
w pozostałych analizowanych punktach konstrukcji. Otrzymane wyniki średnich wartości przemieszczeń i zmian naprężeń wywołanych skruceniem ustroju nośnego zarejestrowane w czterech punktach w warunkach ruchu po różnych nawierzchniach przedstawiono na rysunkach 6-8. Wartości chwilowego naprężenia wywołanego skruceniem ramy występującego podczas ruchu pojazdu po nierównej nawierzchni wyznaczono na podstawie danych uzyskanych z czujników tensometrycznych według zależności:

$$\tau_{sr} = \tau_{pp} - \tau_{pt} + \tau_{lt} - \tau_{lp} \quad (1)$$

gdzie:

τ_{pp} , τ_{pt} , τ_{lt} , τ_{lp} to naprężenia zmierzone odpowiednio w prawej przedniej, prawej tylnej, lewej tylnej i lewej przedniej części podłużnicy ramy.

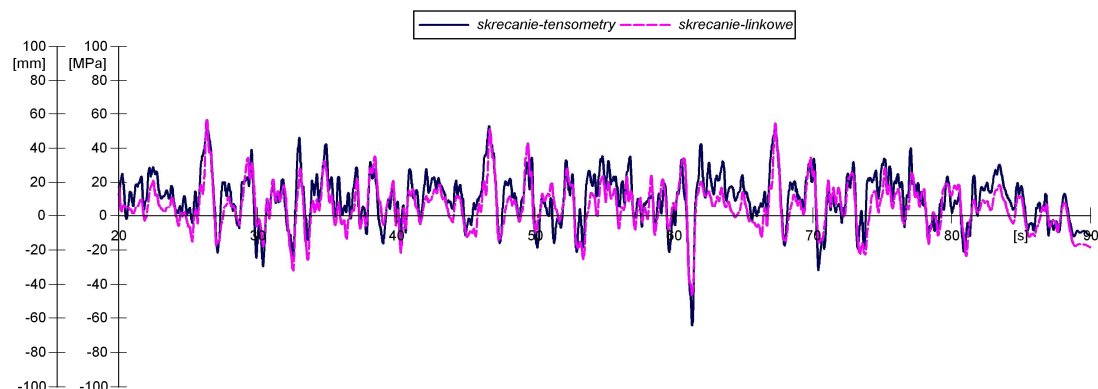
Według podobnej zależności wyznaczono chwilowe wartości skrucenia osi jezdnych. Uzyskane przebiegi przedstawiono na poniższych wykresach.



Rys. 6. Przebieg uśrednionego przemieszczenia wywołującego skrucenie ramy i naprężeń skręcających wywołanych tym przemieszczeniem zarejestrowanych podczas ruchu po drodze z nawierzchnią asfaltowo - brukową

Źródło: Opracowanie własne

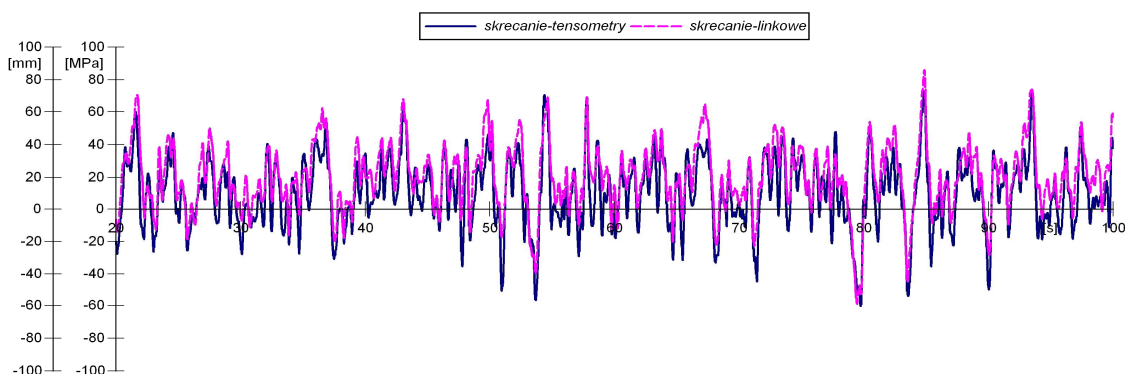
Można zaobserwować, że podczas ruchu pojazdu po nawierzchni asfaltowo – brukowej wartości skrucenia ramy zmieniają się w zakresie od – 15 do 46 mm (od – 31 do 57 MPa).



Rys. 7. Przebieg uśrednionego przemieszczenia wywołującego skrucenie ramy i naprężeń skręcających wywołanych tym przemieszczeniem zarejestrowanych podczas ruchu po drodze z nawierzchnią szutrową

Źródło: Opracowanie własne

W czasie jazdy po nawierzchni szutrowej, która odpowiada warunkom jazdy po drodze polnej, skręcanie ramy zmienia się w zakresie od – 46 do 57 mm (od – 64 do 53 MPa).



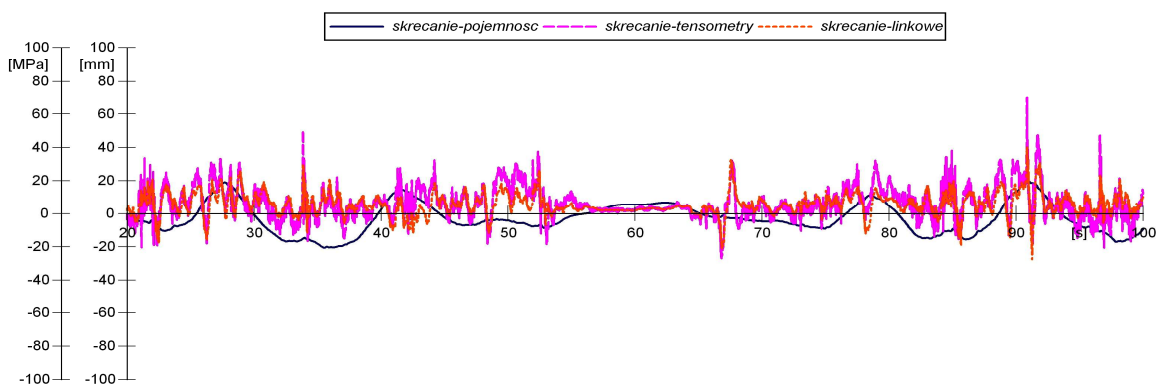
Rys. 8. Przebieg uśrednionego przemieszczenia wywołującego skręcenie ramy i naprężeń skręcających wywołanych tym przemieszczeniem zarejestrowanych podczas ruchu po bezdrożu

Źródło: Opracowanie własne

Podczas jazdy po bezdrożu, w warunkach jazdy terenowej, pomimo zmniejszenia prędkości do ok. 15-20 km/h, skręcanie ramy zmienia się od -108 do 86 mm (od – 69 do 73 MPa).

4.2.2. Szacowanie skręcenia ramy na podstawie zmierzonych przyspieszeń podłużnic

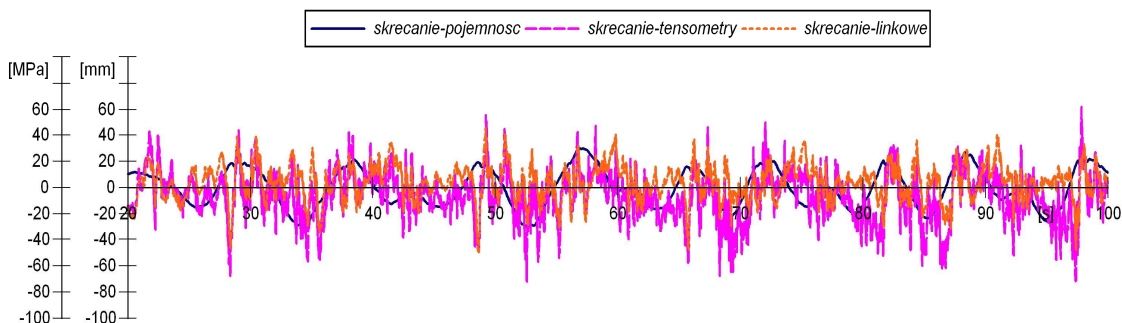
Wykorzystanie tensometrów do pomiaru odkształceń, a pośrednio naprężeń jest metodą sprawdzoną i dającą wiarygodne wyniki. Podstawowa trudność przy jej stosowaniu polega na jednorazowym wykorzystaniu tensometra i pracochłonnemu naklejaniu go na analizowany element. Spróbowano więc przeprowadzić oszacowanie przemieszczeń z wykorzystaniem zarejestrowanych przebiegów przyspieszeń. Czujniki do pomiaru tej wielkości dają się łatwo mocować i można je wielokrotnie wykorzystać. Przykładowe przebiegi skręcania ustroju nośnego wyznaczone na podstawie przyspieszeń nałożono na przebiegi zmian naprężenia i przemieszczenia względnego i przedstawiono na rysunkach 9-11.



Rys.9. Przebieg uśrednionego przemieszczenia wywołującego skręcenie ramy i naprężeń skręcających wywołanych tym przemieszczeniem zarejestrowanych podczas ruchu po drodze z nawierzchnią asfaltowo - brukową

Źródło: Opracowanie własne

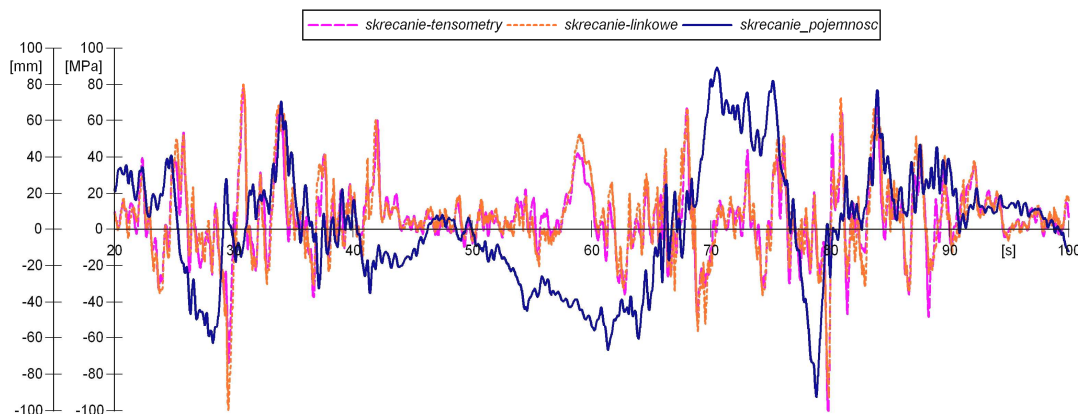
Otrzymane przebiegi przemieszczeń wywołujących skręcanie ustroju nośnego są wynikiem podwójnego całkowania przyspieszeń z usunięciem trendu.



Rys. 10. Przebieg usrednionego przemieszczenia wywołującego skręcanie ramy i naprężeń skręcających wywołanych tym przemieszczeniem zarejestrowanych podczas ruchu po drodze z nawierzchnią szutrową

Źródło: Opracowanie własne

Dostępny w programie FlexPro algorytm usunięcia trendu jest wydajny przy dużych wartościach przyspieszeń, co odpowiada jeździe po drodze z nawierzchnią asfaltową, czy dobrej drodze polnej, ale dla ruchu z małymi prędkościami nie w pełni usuwa linie trendu.



Rys. 11. Przebieg usrednionego przemieszczenia wywołującego skręcanie ramy i naprężeń skręcających wywołanych tym przemieszczeniem zarejestrowanych podczas ruchu po bezdrożu

Źródło: Opracowanie własne

Obliczone maksymalne wartości kąta skręcenia ramy zostały przedstawione w tabeli 4.

Tabela. 4. Maksymalny chwilowy kąt skręcenia ramy występujący podczas ruchu pojazdu

Źródło sygnału pomiarowego	Rodzaj nawierzchni		
	Asfalt-bruk	Szuter	Bezdroże
Tensometry	0,5	0,6	0,9
Czujniki linkowe	0,9	1,2	2,2
Czujniki przyspieszeń	0,4	0,6	2

Źródło: Opracowanie własne

WNIOSKI

Na podstawie przedstawionych powyżej obliczeń, można wysunąć następujące wnioski:

- kąt skręcenia ramy zmieniał się w zakresie od $0,4^\circ$ do $2,2^\circ$. Wartość kąta wzrastała wraz ze wzrostem nierówności nawierzchni drogi i prędkości ruchu;
- wyznaczone dynamicznie wartości kąta skręcenia ramy nie osiągnęły wartości skręcenia statycznego. Pokonywanie przeszkód terenowych o wysokości rzędu 130 mm nie wystąpiło.

Różnice w wartościach skręcenia ramy wynikają z następujących czynników:

- czujniki linkowe rejestrowały przemieszczenia względne; dla dużych prędkości ruchu podczas pokonywania nierówności o małych wysokościach nadwozie, które charakteryzuje się masą o rząd wielkości większą niż zawieszenie, wykonuje minimalne przemieszczenia. Tylko podczas pokonywania zakrętów, co było poprzedzone hamowaniem, widać wyraźnie przemieszczenia nadwozia w postaci analizowanego skręcania ramy;
- wartości przyspieszeń, które po podwójnym scałkowaniu dają przemieszczenia, mogą być wykorzystane w szacowaniu amplitudy skręceń ustroju nośnego. Dla wyznaczenia dokładnych wartości przemieszczeń należy poszukiwać wydajnych algorytmów całkowania numerycznego połączonych z usuwaniem linii trędu.

LITERATURA

- [1] Bąk R., Burczyński T., *Analityczno – eksperymentalny sposób badania trwałości ram samochodowych*, [w:] „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej”, Mechanika 53(439)/1975.
- [2] Jacenko N., *Drgania, wytrzymałość i przyspieszone badania samochodów ciężarowych*, WKiŁ, Warszawa 1975.
- [3] Romanów F., Słomka A., Teisseyre J., *Skręcanie ram samochodowych o zmiennej szerokości*, [w:] *Prace Naukowe I KiEM Politechniki Wrocławskiej*, nr 17/1972.
- [4] Prochowski L., *Obciążenia dynamiczne układu nośnego pojazdu mechanicznego*, Wojskowa Akademia Techniczna, Dodatek do biuletynu nr 12/1982.
- [5] Rusiński E., *Zasady projektowania konstrukcji nośnych pojazdów samochodowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002.
- [6] Tumański S., *Technika pomiarowa*, WNT, Warszawa 2007.
- [7] Kosobudzki M., Jamroziak K., *Budowa ustrojów nośnych i zawiesznień samochodów ciężarowo – osobowych wysokiej mobilności Sił Zbrojnych RP*, [w:] „Zeszyty Naukowe WSOWL”, Nr 2(152)/2009.
- [8] Kosobudzki M., Kowalczyk M., Stańco M., *Akwizycja wymuszeń działających na ustrój nośny pojazdu od układu jezdnego*, [w:] „Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze”, Nr 3(5)/2009.

THE TORSION OF THE LOAD-CARRYING STRUCTURE OF HIGH MOBILITY VEHICLE ON THE MOVE IN VARIOUS ROAD CONDITIONS

Summary

The article contains an analysis of the torsion of the load-carrying structure of a high-mobility vehicle driven in various road conditions. This kind of deformation determines the total durability of the frame. The analysis was conducted in static and dynamic conditions during a drive on various surfaces. The results can be used in further calculations to simulate the durability of the frame.

Key words: *load-carrying structure, torsion, high-mobility vehicle, Honker 2000*

Artykuł recenzował: prof. dr hab. inż. Tadeusz SMOLNICKI, prof. nadzw. PWr