

ŚLASKI Grzegorz¹
GRZEŚKOWIAK Paweł²

MASY NIERESOROWANE – ANALIZA MAS ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH ZAWIESZEŃ SAMOCHODÓW OSOBOWYCH

W artykule przedstawiono wyniki pomiarów mas elementów zawieszeń 3 grup samochodów osobowych w celu określenia ogólnej masy nieresorowanej zawieszeń w tych grupach pojazdów i porównanie jej z możliwościami oszacowania tych mas przy wykorzystaniu zależności statystycznych przedstawionych w literaturze, dotyczących starszych konstrukcji samochodów osobowych. Przedstawiono również na podstawie przeprowadzonych badań procentowy udział w całkowitej masie nieresorowanej masy poszczególnych elementów.

UNSPRUNG MASSES – ANALYSIS OF MASS OF PARTS OF PASSENGER CARS SUSPENSIONS

This paper presents results of measurements of masses of suspension parts of 3 groups of cars (market segments). The measurements were done in order to find the whole unsprung mass of suspension in these groups of cars and to compare these results with possibilities to estimate value of unsprung mass using statistical formulas presented in literature, formulated on the base of the older cars. Also percentage of mass of particular part in whole unsprung mass is presented in the paper.

1. WSTĘP

Zawieszenie samochodu pełni kilka istotnych funkcji, powodujących, iż jego rolę można rozpatrywać w kilku obszarach. Podstawowe funkcje zawieszenia to:

- przeniesienie sił statycznych i dynamicznych pomiędzy nadwoziem pojazdu a nawierzchnią drogi – dotyczy to sił działających w różnych kierunkach, często rozpatrywanych jako wzdłużne, poprzeczne i pionowe,
- umożliwienie ruchu koła w pewnym, konstrukcyjnie określonym zakresie z utrzymaniem zaprogramowanej kinematyki, co z kolei jest związane z istotnością kątowych ustawień koła względem nadwozia i nawierzchni dla

¹dr inż., Politechnika Poznańska, IMRiPS, adiunkt, tel: 61 6652 222, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań,
e-mail: grzegorz@slaski.eu

² inż., Politechnika Poznańska, WMRiT, student, e-mail: pawel_grzeskowiak1@o2.pl

- uzyskania pożądanych dla kierowności samochodu wartości i kierunków sił w obszarze styku opony z nawierzchnią drogi,
- zapewnia uzyskanie odpowiednio zaprogramowanych zdolności wibroizolacyjnych zawieszenia z opanowaniem zachowania w obszarach rezonansowych.

Te różnorodne funkcje powodują, że analiza pracy zawieszenia jak i wynikające z niej wymagania konstrukcyjne dotyczą bardzo różnych zagadnień – z jednej strony są to zagadnienia wytrzymałościowe, z innej związane z kształtowaniem kinematyki, z jeszcze innej zagadnienia związane z kształtowaniem charakterystyk przenoszenia drgań wymagające odpowiedniego doboru parametrów układu drgającego.

Analiza zawieszonych pod kątem doboru parametrów układu drgającego była tematem wielu prac naukowych i badawczych w ostatnich kilkudziesięciu latach. Wiele z tych prac powstało ponad 20... 30 lat temu. Pozostają one nadal aktualne w sferze zależności fizycznych, wątpliwości pojawiają się w zakresie parametrów zawieszonych analizowanych i badanych pojazdów, co jest związane ze zmianami w typach i konstrukcjach obecnie stosowanych zawieszonych, które dodatkowo ze względu na zmianę technik konstruowania (optymalizacja komputerowa) mogą charakteryzować się innymi parametrami.

Parametry układu drgającego jakim jest zawieszenie samochodu to wartości mas – resorowanej i nieresorowanej, sztywności zawieszenia i opony oraz tłumienie zawieszenia i opony (ten ostatni parametr może być czasami pomijany, ze względu na niedużą wartość).

Podczas modelowania zawieszonych pojawia się problem zdefiniowania tych parametrów co może zostać zrealizowane dwoma technikami:

- poprzez matematyczną identyfikację parametryczną na podstawie wyników badań eksperymentalnych dynamiki modelowanego zawieszonych,
- poprzez wyznaczenie pojedynczych parametrów metodami badań laboratoryjnych: pomiaru charakterystyk sztywności zawieszonych i opony, zbadania charakterystyk tłumienia, wyznaczenia mas wchodzących w skład masy resorowanej i nieresorowanej.

Pierwsza metoda pozwala budować modele matematyczne o możliwie wiernym odzwierciedleniu zachowania się modelowanego zawieszonych w stosunku do wyników eksperymentalnych pracy tego zawieszonych. Nie zawsze jednak parametry modelu bezpośrednio przekładają się na wartości parametrów elementów i podzespołów konstrukcyjnych zawieszonych. Wynika to z uproszczenia relacji geometrycznych w modelu w stosunku do rzeczywistych rozwiązań zawieszonych, wynikających z potrzeby stosowania możliwie prostych modeli.

Z drugiej strony pojawia się potrzeba przełożenia wyników badań modelowych na rzeczywiste konstrukcje. W tych przypadkach korzystniejsze są modele bardziej skomplikowane, uwzględniające w większym stopniu nie tylko ogólną charakterystykę dynamiczną zawieszonych ale także szczegóły jego konstrukcji. Stosuje się wtedy często tzw. modele wielobryłowe (ang. multibody) budowane z wykorzystaniem specjalizowanych systemów komputerowych (MBS – Multi Body Systems).

Budując jednak bardziej skomplikowane modele staje się przed koniecznością znajomości większej ilości parametrów takiego modelu.

Niniejszy artykuł został poświęcony możliwościom oszacowania masy nieresorowanej zawieszonych poprzez pomiar mas składowych wchodzących w skład tej masy. W pracy

przedstawiono wyniki kilkudziesięciu pomiarów dotyczących elementów zawieszek kilku grup pojazdów.

Przedstawiono także oraz porównano uzyskane wyniki z zależnościami o charakterze statystycznym pozwalającym oszacować wielkość masy nieresorowanej na podstawie innych znanych parametrów samochodu, pochodzącymi z prac innych badaczy.

2. BADANIA EKSPERYMENTALNE MAS ELEMENTÓW MASY NIERESOROWANEJ

2.1 Obiekty badań

Do badań wykorzystano elementy popularnych na polskim rynku samochodów osobowych, dla których uzyskano także dane techniczne dotyczące procentowego rozkładu ich mas na poszczególne osie, w przypadku nieobciążonego pojazdu **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.** Po zweryfikowaniu danych, wytypowano siedem samochodów (**Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**), które zostały podzielone na cztery grupy. Samochody posegregowano wg wielkości - innymi słowy także wg segmentów handlowych, do których należą. Wszystkie badane pojazdy posiadają zawieszenie przednie z kolumnami typu McPherson, oprócz samochodu Peugeot 407, który ma zawieszenie z podwójnymi wahaczami poprzecznymi.

Tab. 1. Parametry samochodów dla których realizowano badania

Klasa	Marka	Model	Rok	Pojemność silnika	Masa [kg]	Rozkład masy własnej pojazdu przód / tył [%]
A	Fiat	Grande Punto	2005	1242 cc	1015	61,1 / 38,9
	Renault	Clio II Symbol 1.2 16v	2006	1149 cc	910	59,3 / 40,7
B	Citroen	C4 1.6 HDi 16V	2006	1560 cc	1293	62,9 / 37,1
	Renault	Megane II Hatchback 1.6 16v	2002	1598 cc	1175	60,9 / 39,1
C	Volkswagen	Passat Variant	2005	2,0 TDI	1572	56,4 / 43,6
	Peugeot	407 2.0	2004	1997 cc	1415	61,8 / 38,2
D	Renault	Scenic II 1.6 16v	2006	1598 cc	1320	59,1 / 40,9

2.2 Metodyka badań

Materiały do analizy zostały zebrane poprzez korzystanie z następujących źródeł:

- dane katalogowe producentów podzespołów pojazdów,
- dane uzyskane w wyniku pomiaru mas wybranych podzespołów zawieszek.

W tym drugim przypadku wykorzystano wagi elektroniczne o dwóch zakresach pomiarowych - do 10 kg i do 150 kg. Pomiary wykonywano z wykorzystaniem nowych podzespołów zawieszek, sprzedawanych jako części zamienne.

Problemem na jaki natrafiono podczas pomiarów była niedostępność wszystkich elementów zawieszek w przypadku wszystkich wytypowanych samochodów. Dla

oszacowania całkowitej masy nieresorowanej w takich przypadkach wykorzystano oszacowanie masy brakujących elementów poprzez statystyczną analizę mas takich elementów zmierzonych w przypadku pozostałych pojazdów i ich zależność od składowej części masy całego pojazdu przypadającej na dane zawieszenie

2.3 Szczegółowe wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów dla poszczególnych grup pojazdów przedstawiono w tabeli 2.

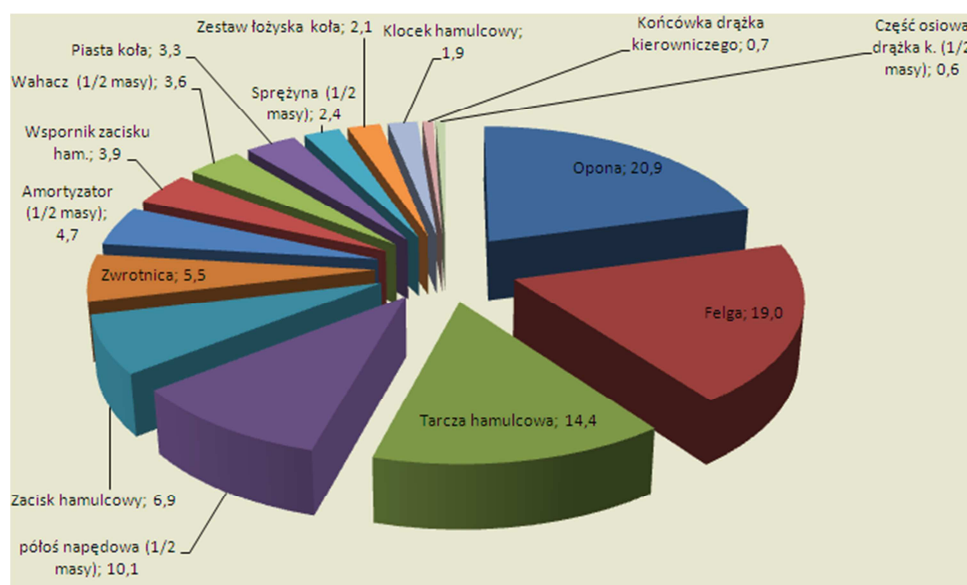
Tab. 2. Zmierzone i oszacowane masy elementów masy nieresorowanej

	Fiat Grande Punto	Renault Clio III	Citroen C4	Renault Megane II	Volkswagen Passat Variant	Peugeot 407
	waga[kg]					
	<i>elementy kursywą – szacowane</i>					
	elementy pogrubione – zmierzone					
Opona	8,1	7,3	9,7	8,2	10,1	9,9
Felga	7,8	7,1	8,5	8,1	8,5	8,5
Tarcza hamulcowa	5,12	5,4	6,95	7,1	7,2	5,1
Półoś napędowa (1/2 masy)	<i>4</i>	<i>3,8</i>	<i>4,4</i>	<i>4,2</i>	<i>5</i>	<i>4,4</i>
Zacisk hamulcowy	<i>2,7</i>	<i>2,7</i>	3	3,02	3,2	<i>3</i>
Amortyzator (1/2 masy)	2	1,82	1,95	1,655	<i>2,25</i>	2,25
Zwrotnica	<i>1,75</i>	<i>1,5</i>	<i>2,3</i>	<i>2</i>	<i>2,5</i>	<i>4</i>
Wspornik zacisku ham.	<i>1,5</i>	<i>1,5</i>	<i>1,7</i>	<i>1,7</i>	<i>1,8</i>	<i>1,7</i>
Wahacz (1/2 masy)	1,355	1,25	2,2	1,25	1,465	1,605
Piasta koła	1,15	<i>1</i>	1,59	<i>1,4</i>	<i>1,7</i>	<i>1,7</i>
Sprężyna (1/2 masy)	0,85	0,78	1,1	1,005	1,06	1,225
Zestaw łożyska koła	0,7	0,75	0,9	0,75	<i>1</i>	<i>1,37</i>
Kłoczek hamulcowy	0,69	0,6	0,73	0,83	1,11	0,93
Część osiowa drążka k. (1/2 masy)	0,29	0,285	0,275	0,225	0,2	0,25
Końcówka drążka kierowniczego	<i>0,225</i>	<i>0,22</i>	<i>0,2</i>	<i>0,25</i>	<i>0,49</i>	<i>0,4</i>
RAZEM MASA NIERESOROWANA	38,2	36,0	45,5	41,7	47,6	46,3

Elementy składowe mas nieresorowanych zostały przedstawione w tabeli 2 z uszeregowaniem od elementów najcięższych do najlżejszych.

Elementami najcięższymi okazały się być elementy związane bezpośrednio z kołem jezdnym: opona, felga, tarcza hamulcowa wraz z hamulcem, oraz zwrotnica dając w sumie masy rzędu 30 kg przy średniej wartości masy nieresorowanej rzędu 42,5 kg.

Analiza wartości mas poszczególnych elementów pozwala także oszacować procentowy udział mas poszczególnych elementów w całkowitej masie nieresorowanej zawieszenia. Średnie udziały procentowe zostały przedstawione na wykresie na rysunku 1.



Rys.1. Uśredniony procentowy udział mas poszczególnych elementów w całkowitej wartości masy nieresorowanej badanych samochodów

Widać, że najistotniejszy składnik wnoszą opona, felga i tarcza hamulcowa. Tak duży udział procentowy felgi w całkowitej masie nieresorowanej powinien usprawiedliwiać częste stosowanie felg ze stopów metali lekkich. Jednak porównanie mas felg stalowych i ze stopów metali lekkich przedstawione w tabeli 3 na podstawie danych ze źródła [5] nie potwierdza ich niższej masy.

Tab. 3. Masy felg samochodowych

Marka	Sposób wykonania	rozmiar	masa [kg]
Compomotive MO	odlewny	16x6.5	7,89
Compomotive TH2	odlewny	16x6.5	8,21
AK Tires Monza	odlewny	16x6.5	6,58
TRM (Tire Rack Motorsports) F1	kuta	16x6.5	4,90
Volk TE37 Gravel	kuta	16x6.5	5,94
Volvo	stal	16x6.5	8,30
Opel	stal	16x6.5	8,70
Mondeo	stal	16x6.5	8,20

Przedstawione wyniki potwierdzone zostały także w kilku pomiarach wykonanych przez autorów, podczas których stwierdzono w zasadzie porównywalną masę obu rodzajów felg w przypadku popularnych samochodów.

3. SZACOWANIE MASY NIERESOROWANEJ

Analizując uzyskane wyniki można pokusić się o możliwość znalezienia relacji pomiędzy masą elementów nieresorowanych a masą przypadającą na daną oś pojazdu.

Podobny sposób oceny wartości masy nieresorowanej przedstawiono w pracy [2]. Przedstawiono tam zależności, które pozwalają na oszacowanie wartości mas nieresorowanych dla pojedynczych kół poszczególnych osi pojazdów, uwzględniając rodzaj zawieszenia. Jedynymi informacjami jakimi musimy dysponować dla wykonania oszacowania są wartość masy przypadającej na daną oś w stanie nieobciążonym oraz rodzaj zawieszenia zastosowany z przodu i z tyłu pojazdu. Zależności te przedstawiono poniżej:

$$m_{1,f} = \frac{i_{m,f} m_{2,f}}{1+i_{m,f}} \cdot 0,5 \quad (1)$$

$$m_{1,r} = \frac{i_{m,r} m_{2,r}}{1+i_{m,r}} \cdot 0,5 \quad (2)$$

gdzie:

- $m_{1,f}$ - masa nieresorowana przedniego zawieszenia
- $m_{1,r}$ - masa nieresorowana tylniego zawieszenia
- $i_{m,f}$ $i_{m,r}$ - współczynniki dla poszczególnych rodzaju zawieszenia przedniego/ tylniego
- $m_{2,f}$ $m_{2,r}$ - masa pojazdu przypadająca na oś przednią/ tylnią w stanie nieobciążonym

Grupa zawiesznień	Współczynniki i_m
zawieszenie przednie	$i_{m,f} = 0,12$
nienapędzana oś tylna	$i_{m,r} = 0,13$
zawieszenie niezależne tylnych kół napędzanych	$i_{m,r} = 0,14$
tylny sztywny most napędowy	$i_{m,r} = 0,22$

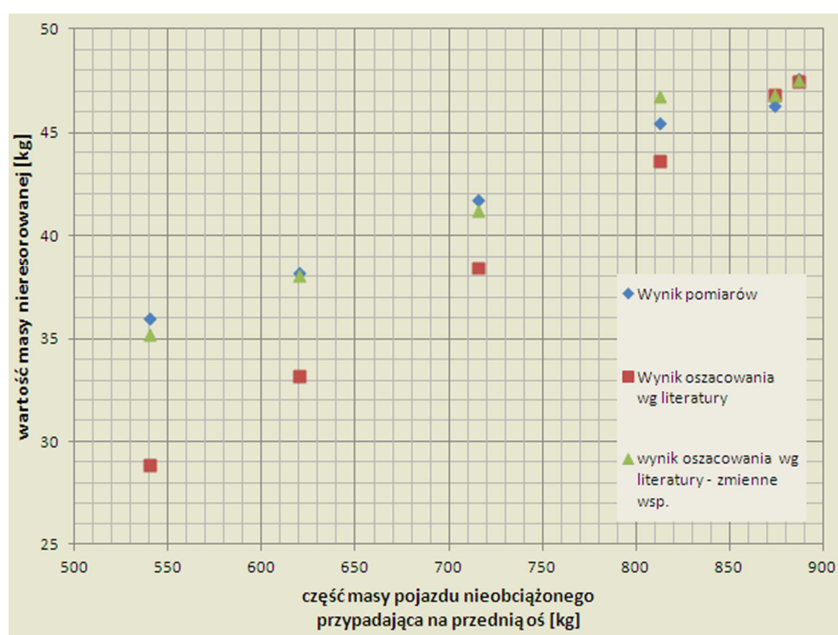
Podobne przybliżone szacunkowe współczynniki dla określenia wartości masy nieresorowanej w stosunku do masy przypadającej na jedno koło przedstawiono w pracy [1] - dla poszczególnych rodzajów zawiesznień zawierały one wartości w przedziałach:

- dla sztywnych mostów: 0,23 do 0,24,
- dla osi tylnych: 0,09 do 0,18 (większość w okolicach wartości 0,14)
- dla osi przednich: 0,10 do 0,20 (większość w okolicach wartości 0,12).

Podane wartości współczynników do obliczenia wartości masy nieresorowanej pozwalają stwierdzić, że stosunek masy resorowanej do nieresorowanej mieści się

w zakresie wartości od 4 w przypadku sztywnego mostu do 9 w najkorzystniejszej sytuacji. Dla wartości najczęściej spotykanych jest to stosunek w granicach 6...8. W publikacji [3] stwierdzono, iż w typowych współczesnych samochodach z niezależnymi zawieszzeniami stosunek masy resorowanej do nieresorowanej jest w przybliżeniu równy 8.

Po wykonaniu obliczeń z użyciem wartości współczynnika $i_{m,f} = 0,12$ i porównaniu z wyznaczonymi w wyniku pomiaru masami dokonano porównania, które przedstawiono w postaci wykresu na rysunku 2.



Rys.2. Porównanie wartości mas nieresorowanych wyznaczonych podczas badań oraz oszacowanych na podstawie zależności literaturowych

Przedstawione porównanie wskazuje, że w dosyć dobry sposób, szczególnie w przypadku pojazdów większych i cięższych oszacowanie w postaci wzoru (1) jest zupełnie dobre. Warto zwrócić uwagę na niedoszacowanie zależnością (1) wartości mas nieresorowanych samochodów lekkich przy wykorzystaniu wartości współczynnika $i_{m,f} = 0,12$. Znacznie bliższe zmierzonym wartościom byłoby oszacowanie z wartością $i_{m,f} = 0,14...0,15$ dla samochodów klasy B, oraz wartością $i_{m,f} = 0,13$ dla samochodów klasy C. Wtedy uzyskano by zgodność kilkuprocentową, tak jak dla oszacowania z wartością $i_{m,f} = 0,12$ dla samochodów klasy D. Wyniki te także zawarto na wykresie na rysunku 2.

Porównując wartości oszacowania z zależności publikowanymi kilkadziesiąt lat temu z wartościami uzyskanymi w pomiarach stwierdzić można, iż w przypadku samochodów popularnych wartości mas nieresorowanych pozostają zbliżone pomimo rozwoju konstrukcji samochodów.

4. WNIOSKI

Przystawione w niniejszym artykule wyniki badań są przydatną wskazówką dla osób modelujących zawieszenie dla potrzeb oceny dynamiki, szczególnie pionowej, w zakresie oszacowania wartości masy nieresorowanej. Znajomość tego parametru wśród pozostałych niezbędnych parametrów jest warunkiem możliwości wykorzystania modelu do uzyskania wiarygodnej oceny ilościowej.

Przedstawienie wartości mas poszczególnych elementów, jest wartościową wskazówką z kolei o rozkładzie mas pomiędzy poszczególne elementy i jest przydatne podczas modelowania zawieszonych z wykorzystaniem programów do modelowania trójwymiarowego oraz programów do modelowania dynamiki systemów wielobryłowych.

Porównanie uzyskanych wyników pomiarów z wartościami oszacowań pozwoliło zweryfikować poprawność tych oszacowań i uznać je za nadal poprawne pomimo tworzenia tych zależności w oparciu o starsze konstrukcje pojazdów. Jednocześnie jednak zawarto wskazówki dotyczące wartości przyjmowanych wartości współczynników wskazując przyjęcie ich większych wartości w przypadku samochodów mniejszych (klasa B) i mniejszych wartości w przypadku samochodów – większych (klasa D).

Należy zwrócić jednak uwagę, iż zawsze oszacowanie to będzie miało charakter statystyczny i pozwoli ustalić wartość masy nieresorowanej na zasadzie podobieństwa do innych zbliżonych konstrukcji.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Mitschke M.: *Dynamika samochodu – Drgania*. WKiŁ, Warszawa, 1989,
- [2] Reimpel J., Betzler J.: *Podwozia samochodów- podstawy konstrukcji*. WKiŁ, Warszawa 2008,
- [3] Williams, R. A. 1997, Automotive active suspensions Part 1: basic principles. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 211(6): 415-426
- [4] *Technical Specifications of Cars* , www.motorsportlari.net, data dostępu 01.03 – 10.03.2011.
- [5] *Wheel weight list*, www.wheelweights.net, data dostępu 17.05.2011