

Article citation info:

Brukalski M. Analiza wpływu wybranych parametrów pojazdu na graniczne siły na kołach jezdnych pojazdu. The Archives of automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2017; 75(0): 0-00, <http://dx.doi.org/10.14669/AM.VOL76.ART0>

Analiza wpływu wybranych parametrów pojazdu na graniczne siły na kołach jezdnych pojazdu

Mateusz Brukalski¹

Politechnika Warszawska

Streszczenie

Zachowanie stateczności podczas ruchu pojazdu jest bardzo ważnym aspektem. Ma szczególne znaczenie z punktu widzenia bezpieczeństwa czynnego we współczesnych pojazdach. Istotnym zagadnieniem jest przy tym znajomość maksymalnych sił, jakie występują na styku kół z jezdnią. W niniejszym artykule podjęto próbę wyznaczenia wartości tych sił. Wykorzystano do tego algorytm obliczeniowy opracowany przy użyciu metody Dynamic Square Method (DSM). Jest to metoda służąca do określania granicznych sił na kołach pojazdu. Do analizy wykorzystano dwukołowy model pojazdu. Przy jego użyciu sporządzono charakterystykę granicznych sił wzdłużnych na kołach w zależności od przyspieszenia poprzecznego dla konkretnych danych pojazdu wzorcowego. Metodę DSM wykorzystano również do analizy wpływu zmiany parametrów takich jak: wysokość położenia środka masy i rozkład masy na osie na wartości tych granicznych sił wzdłużnych na kołach. W wyniku realizacji algorytmu DSM uzyskuje się charakterystyki w polu ograniczonym czworokątem i składające się z izolinii o stałych wartościach przyspieszeń poprzecznych osiągniętych dla danych sił wzdłużnych na kołach przedniej i tylnej osi. Analizując otrzymane wykresy można stwierdzić, jaki wpływ na uzyskane wartości sił wzdłużnych na kołach jezdnych pojazdu ma zmiana danego parametru.

Słowa kluczowe: dynamika pojazdu, siły wzdłużne i poprzeczne, siły przyczepności, przyspieszenie wzdłużne i poprzeczne, Dynamic Square Method.

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych, Instytut Pojazdów, Zakład Samochodów, ul. Narbutta 84, 02-524 Warszawa, e-mail: mbrukalski@simr.pw.edu.pl

1. Wstęp

Od dawna konstruktorzy pojazdów troszczyli się o bezpieczeństwo pasażerów. Obecnie szczególnie jest istotne bezpieczeństwo czynne, czyli zapobieganie ewentualnym kolizjom i wypadkom. Często dochodzi do nich, ponieważ kierowca przecenił możliwości pojazdu lub też nie dostosował swojego stylu jazdy do panujących warunków drogowych. Jeśli zostanie przekroczona maksymalna siła przyczepności na styku kół z jezdnią to pojazd może stracić stateczność i zbroczy z ustalonego przez kierowcę toru ruchu. W takiej sytuacji może dojść do tragicznego w skutkach wypadku.

Warto więc postawić sobie następujące pytanie: jakie mogą zostać osiągnięte graniczne siły napędowe (lub hamowania) na styku koła z jezdnią w danych warunkach ruchu i czy jest możliwy przy tym ruch krzywoliniowy pojazdu? Odpowiedź na to pytanie jest bardzo istotna. W niniejszym artykule podjęto próbę odpowiedzi na to pytanie i przedstawiono zastosowanie algorytmu wykorzystującego metodę Dynamic Square Method (DSM).

Jest to metoda pozwalająca wyznaczyć, jakie maksymalne siły wzdłużne mogą zostać zrealizowane i czy jest możliwe jeszcze przeniesienie siły poprzecznej, co pozwala na ruch krzywoliniowy pojazdu. Szczegółowy opis tego algorytmu został zawarty w [1], a w niniejszym artykule przedstawiono jego praktyczne zastosowanie. Skupiono się przy tym na analizie wpływu na wartości granicznych sił na kołach takich parametrów jak: stosunek wysokości środka masy i rozstawu osi oraz rozkład masy na poszczególne osie. W tym celu opracowano program symulacyjny wykorzystujący algorytm metody DSM. Do przeprowadzenia badań symulacyjnych wykorzystano dwukołowy model pojazdu.

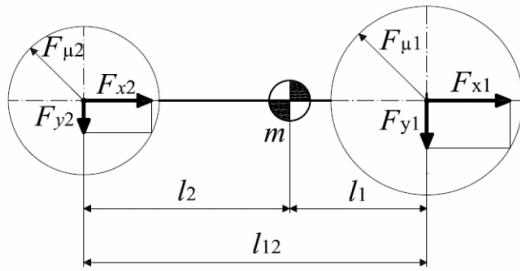
2. Krótkie przedstawienie metody Dynamic Square Method

Metoda Dynamic Square Method (DSM) służy do wyznaczania wartości granicznych sił na kołach w ruchu prostoliniowym i krzywoliniowym pojazdu. Pierwsze wzmianki o tej metodzie pojawiły się w 1995 r. i wykorzystywali ją M. Kato, K. Isoda i H. Yuasa [2]. Na metodę DSM w swoich artykułach powołuje się także M. Klomp [3, 4]. Metoda DSM została dokładnie opisana przez autora w [1]. Metoda DSM została także zastosowana przy opracowywaniu konstrukcji aktywnego tylnego mechanizmu różnicowego w sportowym modelu Mitsubishi [7]. Metoda ta jest także wykorzystywana do projektowania i sterowania aktywnych układów napędowych [5, 6].

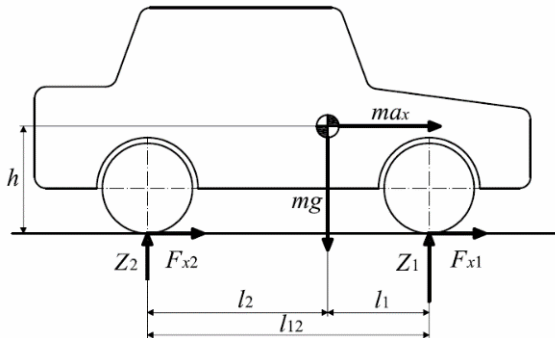
Do korzystania z metody DSM jest potrzebne wstępne założenie wartości sił wzdłużnych na kołach pojazdu. Na ich podstawie wyznacza się przyspieszenie wzdłużne i naciski dynamiczne pod kołami osi przedniej i tylnej. Dzięki czemu będzie możliwe wyznaczenie siły przyczepności każdej osi. Jeśli ta siła jest wystarczająco duża to możliwe będzie przeniesienie jeszcze siły poprzecznej, która umożliwi ruch krzywoliniowy pojazdu. Natomiast jeśli siła przyczepności będzie mniejsza niż założona siła wzdłużna to siła wzdłużna o takiej wartości nie będzie mogła być osiągnięta.

Algorytm metody DSM umożliwia budowanie wykresów poziomicowych przyspieszeń poprzecznych (lub sił poprzecznych) zależnych od sił wzdłużnych na kołach jezdnych pojazdu.

Do analizy algorytmu Dynamic Square Method wykorzystano dwukołowy model pojazdu (rys. 2.1 i 2.2).

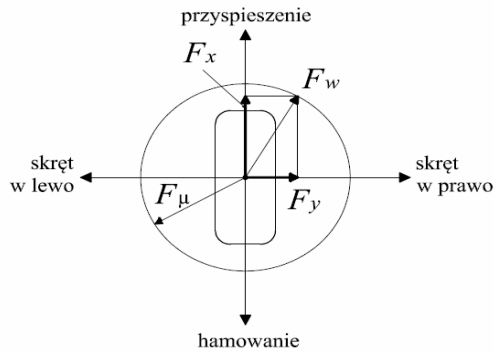


Rys. 2.1. Dwukołowy model pojazdu – widok z góry



Rys. 2.2. Dwukołowy model pojazdu – widok z boku

W przyjętym modelu założono izotropię przyczepności, tzn. współczynnik przyczepności przylgowej kół ma jednakowe wartości we wszystkich kierunkach ($\mu_{xm} = \mu_{ym} = \mu_m$), przy czym przyjęto, że współczynnik przyczepności kół osi przedniej μ_{m1} i tylnej μ_{m2} jest taki sam i wynosi μ_m . Izotropię przyczepności obrazuje koło przyczepności (rys. 2.3).



Rys. 2.3. Koło przyczepności

Na podstawie koła przyczepności (rys. 2.3) można wnioskować o wartości siły poprzecznej F_y zgodnie z następującą zależnością:

$$F_y = \sqrt{F_x^2 - F_z^2} \quad (2.1)$$

Bazując na obliczonych wartościach sił wzdłużnych $F_{x1(2)}$ dla obydwu osi (indeks 1 – oś przednia, indeks 2 – oś tylna) i poprzecznych na kołach danej osi $F_{y1(2)}$ można zbudować charakterystykę granicznych sił na kołach w zależności od przyspieszenia poprzecznego a_y pojazdu (patrz rys. 2.4). Do jej pełnego zobrazowania jest potrzebna znajomość przyspieszeń wzdłużnego a_x i poprzecznego a_y wynikających z działania sił wzdłużnych $F_{x1(2)}$ i poprzecznych $F_{y1(2)}$ na pojazd.

Przyspieszenie wzdłużne pojazdu a_x wynika z działania sił wzdłużnych na koła danej osi pojazdu i można je obliczyć korzystając z II prawa dynamiki Newtona:

$$a_x = \frac{\sum F_x}{m} = \frac{F_{x1} + F_{x2}}{m} \quad (2.2)$$

Natomiast przyspieszenie poprzeczne pojazdu a_y , występujące podczas ruchu krzywoliniowego oblicza się z następującej zależności²:

$$a_y = \min\left(\frac{F_{y1}}{m_1}, \frac{F_{y2}}{m_2}\right) \quad (2.3)$$

Wykres granicznych sił na kołach w przypadku pojazdu wzorcowego z napędem na cztery koła został sporządzony dla następujących danych zawartych w tabeli 2.1.

Tab. 2.1. Dane pojazdu wzorcowego

Masa pojazdu m [kg]	1450
Masa przypadająca na przednią oś m_1 [kg]	870
Masa przypadająca na tylną oś m_2 [kg]	580
Współczynnik przyczepności przyłgowej μ_m [-]	1,0
Rozstaw osi l_{12} [m]	2,65
Odległość osi przedniej od środka masy l_1 [m]	1,06
Odległość osi tylnej od środka masy l_2 [m]	1,59
Wysokość środka masy h [m]	0,53

W tabeli 2.2 przedstawiono założone przedziały wartości sił wzdłużnych na kołach danej osi $F_{x1(2)}$. Dodatkowo wartości sił wzdłużnych na kołach $F_{x1(2)}$ odpowiadają siłom napędowym

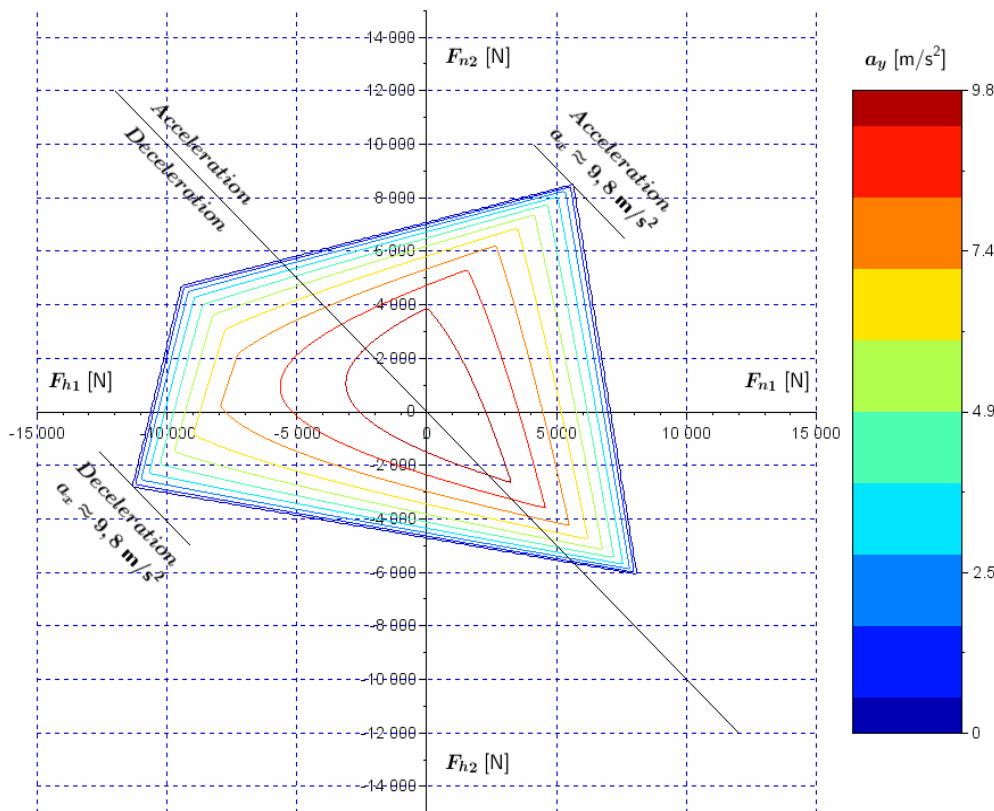
² Dokładny algorytm wyznaczania przyspieszenia poprzecznego przedstawiono w [1].

na kołach $F_{n1(2)}$. Natomiast ujemne wartości sił wzdłużnych na kołach $F_{x1(2)}$ są to siły hamowania na tych kołach $F_{h1(2)}$.

Tab. 2.2. Założone zakresy sił napędowych i hamowania dla pojazdu wzorcowego

Siła napędowa na kołach przednich F_{n1} [N]	(0; 12000)
Siła hamowania na kołach przednich F_{h1} [N]	(-12000; 0)
Siła napędowa na kołach tylnych F_{n2} [N]	(0; 12000)
Siła hamowania na kołach tylnych F_{h2} [N]	(-7000; 0)

Charakterystyka granicznych sił na kołach uzyskana dla modelu pojazdu wzorcowego (tab. 2.1 i 2.2) została przedstawiona w formie wykresu na rys. 2.4.



Rys. 2.4. Graniczne siły na kołach wyznaczone za pomocą metody DSM dla samochodu wzorcowego ($h/l_{12} = 0,2$; $\mu_m = 1,0$; $m_1/m_2 = 1,5$) [1]

Na rys. 2.4 pokazano zależność sił granicznych na kołach $F_{x1(2)}$ i przyspieszenia poprzecznego a_y pojazdu. Na podstawie uzyskanej charakterystyki można oszacować maksymalne wartości sił wzdłużnych możliwych do przeniesienia przez koła przednie F_{x1} i tylne F_{x2} podczas przyspieszania i hamowania, zarówno w ruchu prostoliniowym, jak i krzywoliniowym.

Charakterystyka uzyskana przy użyciu DSM (rys. 2.4) pozwala więc określić maksymalne siły wzdłużne na kołach pojazdu $F_{x1(2)}$ i odpowiadające im możliwe do zrealizowania przyspieszenia poprzeczne pojazdu a_y .

Warto zauważyć, iż praktyczny sens ma tylko prawa górna część wykresu odpowiadająca rozpędzaniu pojazdu i lewa dolna część odpowiadająca hamowaniu pojazdu. Natomiast pozostałe części charakterystyki (tj. lewa górna i prawa dolna część) nie mają praktycznego sensu.

Linie nachylone pod kątem 45° przedstawiają stałe wartości sumy sił wzdłużnych na obu osiach. Maksymalną sumaryczną wartość sił napędowych na osiach obrazuje prawy górny róg wykresu (rys. 2.4), a maksymalną sumaryczną wartość sił hamowania dolny prawy róg wykresu. Wartości sił w tych punktach będą dalej nazywane maksymalnymi wartościami sił napędowych lub hamowania.

Maksymalne wartości sumarycznej siły napędowej ($a_x \approx 9,8 \text{ m/s}^2$) dla pojazdu z napędem na cztery koła lub maksymalne wartości sumarycznej sił hamowania ($a_x \approx -9,8 \text{ m/s}^2$) mogą zostać osiągnięte jedynie podczas ruchu prostoliniowego pojazdu ($a_y = 0 \text{ m/s}^2$). Wtedy to, cała siła przyczepności danej osi $F_{\mu1(2)}$ jest spożytkowana na siłę napędową lub hamowania. Zatem maksymalne wartości sił napędowych w ruchu prostoliniowym (patrz prawa górna część charakterystyki na rys. 2.4) na kołach przednich i tylnych pojazdu, które mogą być osiągnięte są następujące: $F_{n1} \approx 5700 \text{ N}$, $F_{n2} \approx 8500 \text{ N}$. Natomiast wartości sił hamowania na kołach przednich i tylnych wynoszą odpowiednio: $F_{h1} \approx -11\,400 \text{ N}$ i $F_{h2} \approx -2800 \text{ N}$.

Wykorzystując metodę DSM można zaobserwować, jaki wpływ na dynamikę pojazdu ma zmiana parametrów, takich jak np.:

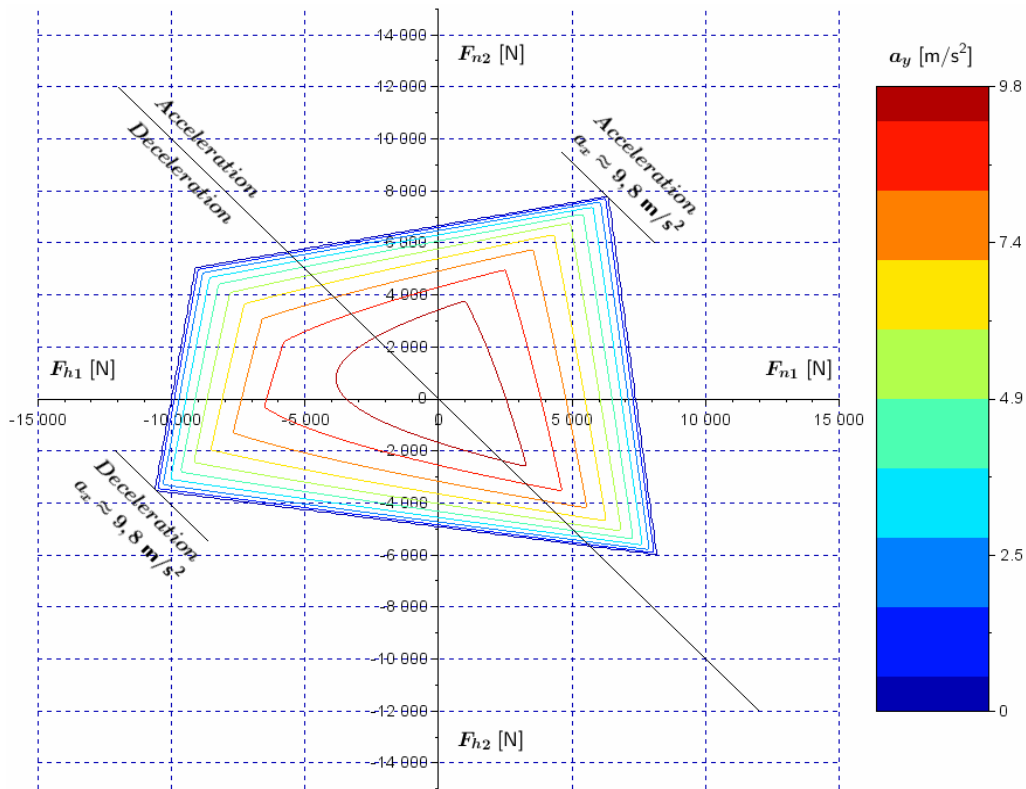
- stosunek wysokości środka masy i rozstawu osi pojazdu h/l_{12} ,
- stosunek rozkładu masy na koła przednie i tylne m_1/m_2 .

3. Wpływ stosunku wysokości środka masy i rozstawu osi pojazdu na graniczne siły na kołach jezdnych.

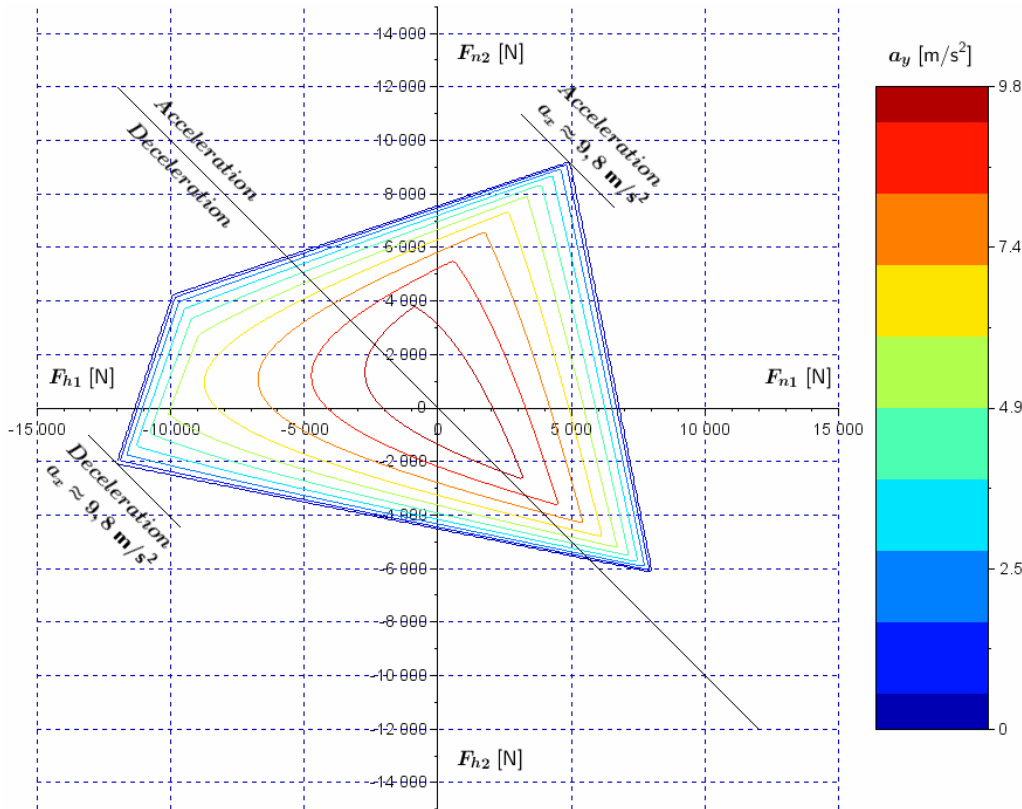
W tym punkcie zostanie przedstawiony wpływ stosunku wysokości środka masy i rozstawu osi pojazdu (h/l_{12}) na wartości granicznych sił wzdłużnych na kołach $F_{x1(2)}$.

Na rysunkach 3.1 i 3.2 przedstawiono charakterystyki granicznych sił na kołach $F_{x1(2)}$ dla dwóch różnych wartości $h/l_{12} = 0,15$ i $h/l_{12} = 0,25$ uzyskane za pomocą metody DSM.

Analizując rysunki 3.1 ($h/l_{12} = 0,15$), 2.4 ($h/l_{12} = 0,2$) i 3.2 ($h/l_{12} = 0,25$) i można ocenić wpływ stosunku wysokości środka masy i rozstawu osi (h/l_{12}) na rozwijane siły wzdłużne na kołach przednich F_{x1} i tylnych F_{x2} .



Rys. 3.1. Graniczne siły na kołach wyznaczone za pomocą metody DSM dla $h/l_2 = 0,15$ ($\mu_m = 1,0$; $m_1/m_2 = 1,5$)



Rys. 3.2. Graniczne siły na kołach wyznaczone za pomocą DSM dla $h/l_{12} = 0,25$ ($\mu_m = 1,0$; $m_1/m_2 = 1,5$)

Zmniejszenie stosunku h/l_{12} z 0,2 (pojazd wzorcowy) do 0,15 skutkuje tym, że podczas przyspieszania ($a_x \approx 9,8 m/s^2$) w trakcie jazdy na wprost (patrz prawy górny róg rys. 3.1) koła przednie mogą przenieść większą siłę napędową ($F_{n1} \approx 6400 N$) niż w przypadku pojazdu wzorcowego (patrz rys. 2.4). Natomiast siła napędowa na kołach tylnych ($F_{n2} \approx 7800 N$) jest mniejsza niż dla samochodu wzorcowego (patrz rys. 2.4). Natomiast zwiększenie stosunku h/l_{12} do 0,25 skutkuje tym, że podczas przyspieszania ($a_x \approx 9,8 m/s^2$) w ruchu prostoliniowym koła przednie mogą przenieść mniejszą siłę napędową ($F_{n1} \approx 4900 N$) niż w przypadku pojazdu wzorcowego i pojazdu ze zmniejszonym stosunkiem h/l_{12} (patrz prawy górny róg rys. 2.4, rys. 3.1 i rys. 3.2). Natomiast siła napędowa na kołach tylnych ($F_{n2} \approx 9300 N$) jest większa niż dla samochodu wzorcowego (patrz rys. 2.4).

Zmniejszenie stosunku h/l_{12} z 0,2 (pojazd wzorcowy) do 0,15 powoduje, że koła tylne pojazdu poruszającego się ruchem prostoliniowym podczas maksymalnego hamowania z opóźnieniem $a_x \approx 9,8 m/s^2$ (patrz lewy dolny róg na rys. 3.1) mogą przenieść większą siłę hamowania ($F_{h2} \approx -3500 N$) niż w przypadku pojazdu wzorcowego (patrz rys. 2.4). Natomiast siła hamowania na kołach przednich ($F_{h1} \approx -10700 N$) jest mniejsza niż dla samochodu wzorcowego (patrz rys. 2.4). Zwiększenie stosunku h/l_{12} z 0,2 (pojazd wzorcowy) do 0,25 powoduje, że koła tylne pojazdu poruszającego się ruchem prostoliniowym podczas maksymalnego hamowania z opóźnieniem $a_x \approx 9,81 m/s^2$ (patrz

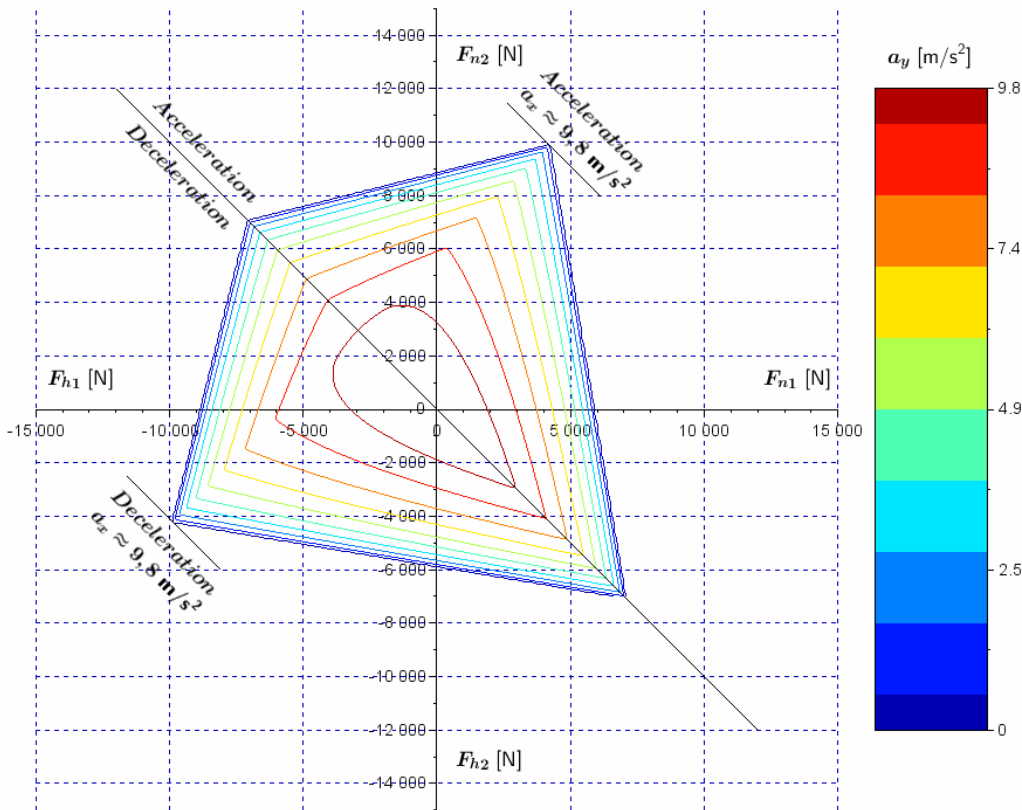
lewy dolny róg na rys. 3.2) mogą przenieść mniejszą siłę hamowania ($F_{h2} \approx -2000$ N) niż w przypadku pojazdu wzorcowego (patrz rys. 2.4). Przy czym siła hamowania na kołach przednich ($F_{h1} \approx -12\,200$ N) jest większa niż dla samochodu wzorcowego (patrz rys. 2.4).

4. Wpływ stosunku rozkładu masy na osie przednią i tylną na graniczne siły na kołach jezdnych pojazdu

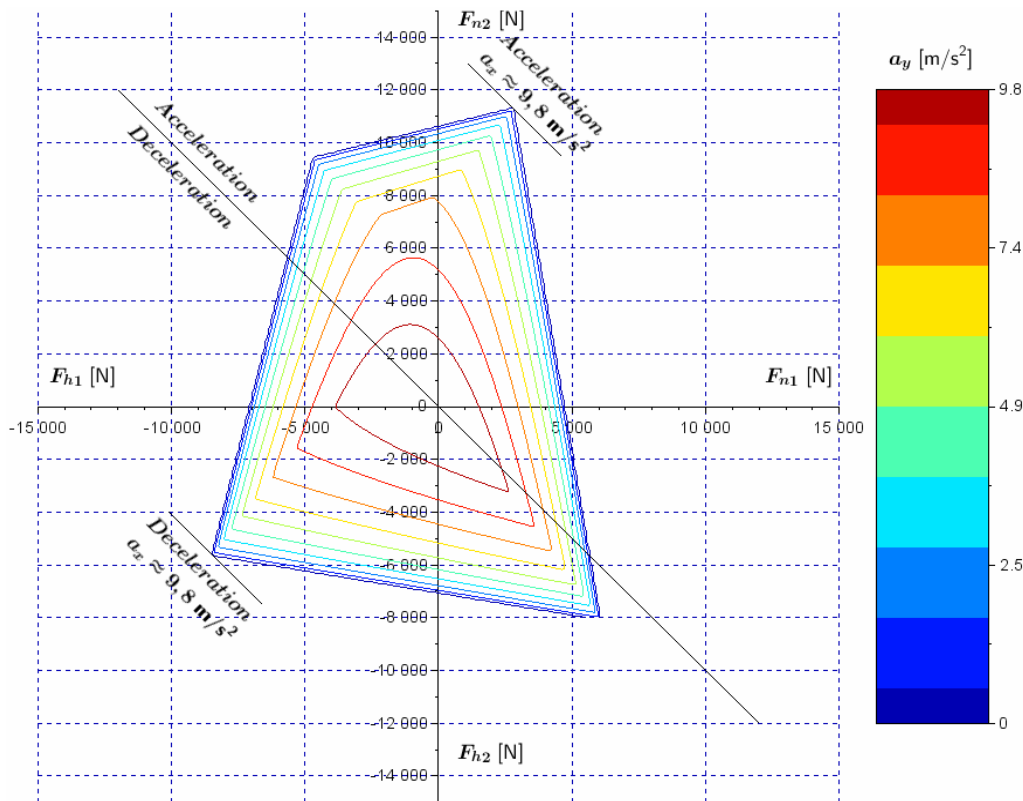
W tym rozdziale zostanie przedstawiony wpływ stosunku rozkładu masy na osie przednią i tylną (m_1/m_2) na wartości granicznych sił wzdłużnych na kołach pojazdu $F_{x1(2)}$.

Na rysunkach 4.1 i 4.2 przedstawiono uzyskane za pomocą DSM charakterystyki granicznych sił na kołach $F_{x1(2)}$ dla dwóch różnych rozkładów mas na osie $m_1/m_2 = 1,0$ (50% masy przypadającej na oś przednią i tylną) i $m_1/m_2 = 0,67$ (40% masy przypadającej na oś przednią i 60% na oś tylną).

Analizując rysunki 4.2 ($m_1/m_2 = 0,67$), 4.1 ($m_1/m_2 = 1,0$) i 2.4 ($m_1/m_2 = 1,5$) można ocenić wpływ rozkładu masy na osie m_1/m_2 na rozwijane siły wzdłużne na kołach przednich F_{x1} i tylnych F_{x2} .



Rys. 4.1. Graniczne siły na kołach wyznaczone za pomocą metody DSM dla rozkładu masy na osie $m_1/m_2 = 1,0$ ($h/h_2 = 0,2, \mu_m = 1,0$)



Rys. 4.2. Graniczne siły na kołach wyznaczone za pomocą metody DSM dla rozkładu masy na osie $m_1/m_2 = 0,67$ ($h/h_2 = 0,2$, $\mu_m = 1,0$)

Zmiana stosunku rozkładu mas przypadających na przednią i tylną oś z $m_1/m_2 = 0,67$ (pojazd wzorcowy) na $m_1/m_2 = 1,0$ powoduje, że podczas maksymalnego przyspieszenia ($a_x \approx 9,8 \text{ m/s}^2$) i jeździe na wprost (patrz prawy górny róg rys. 4.1) koła przednie mogą przenieść mniejsze siły napędowe ($F_{n1} \approx 4300 \text{ N}$), a koła tylne większe ($F_{n2} \approx 9900 \text{ N}$) w stosunku do pojazdu wzorcowego (patrz rys. 2.4). Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku pojazdu o stosunku mas $m_1/m_2 = 0,67$ i poruszającego się w tych samych warunkach. Wtedy to koła przednie przeniosą mniejszą siłę napędową ($F_{n1} \approx 3000 \text{ N}$), natomiast na kołach tylnych będzie mogła być ona większa ($F_{n1} \approx 11\,200 \text{ N}$) w stosunku do pojazdu wzorcowego (rys. 2.4).

Podczas intensywnego hamowania z opóźnieniem $a_x \approx 9,8 \text{ m/s}^2$ (patrz lewy dolny róg rys. 4.1) zmiana stosunku rozkładu mas przypadających na przednią i tylną oś z $m_1/m_2 = 1,5$ (pojazd wzorcowy) na $m_1/m_2 = 1,0$ powoduje, że koła tylne pojazdu poruszającego się ruchem prostoliniowym, mogą uzyskać większą siłę hamowania ($F_{h2} \approx -4300 \text{ N}$) w stosunku do pojazdu wzorcowego (patrz rys. 2.4). Natomiast mniejsza masa statyczna przypadająca na oś przednią powoduje to, że podczas hamowania koła tej osi mogą przenieść mniejszą siłę hamowania ($F_{h1} \approx -9900 \text{ N}$) niż w przypadku samochodu wzorcowego (rys. 2.4). Dla rozkładu mas $m_1/m_2 = 0,67$ pojazdu poruszającego się ruchem prostoliniowym z maksymalnym możliwym do osiągnięcia opóźnieniem w danych warunkach ($a_x \approx 9,8 \text{ m/s}^2$) są możliwe do osiągnięcia następujące maksymalne siły

hamowania: na kołach przednich $F_{h1} \approx -9400$ N i tylnych $F_{h2} \approx -4800$ N (patrz prawy dolny róg rys. 4.2). W porównaniu do pojazdu wzorcowego (patrz rys. 2.4) siły hamowania na kołach przednich są mniejsze, natomiast na kołach tylnych większe w stosunku do pojazdu wzorcowego.

5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wykorzystanie metody DynamicSquare Method (DSM) do analizy wpływu parametrów pojazdu na graniczne siły na kołach jezdnych pojazdu.

Przeprowadzono analizę granicznych sił na kołach uwzględniając zmianę takich parametrów jak: stosunek wysokości środka masy i rozstawu osi, rozkład masy na osie. Z analizy przedstawionych przykładów wynika duża przydatność DSM do analizy granicznych sił wzdłużnych $F_{x1(2)}$, czyli sił napędowych $F_{n1(2)}$ i hamowania $F_{h1(2)}$ w zależności od przyspieszeń poprzecznych a_y , zarówno w ruchu prostoliniowym, jak i krzywoliniowym.

Wzrost stosunku wysokości środka masy i rozstawu osi powoduje zwiększenie siły napędowej na kołach osi tylnej i zmniejszenie na kołach osi przedniej w stosunku do pojazdu wzorcowego. Wartość siły hamowania kół osi przedniej jest większa w stosunku do pojazdu wzorcowego, natomiast siła hamowania kół tylnych jest mniejsza niż w pojeździe wzorcowym.

Spadek stosunku wysokości środka masy i rozstawu osi powoduje zmniejszenie siły napędowej na kołach osi tylnej i zwiększenie na kołach osi przedniej w stosunku do pojazdu wzorcowego. Wartość siły hamowania kół osi przedniej jest mniejsza w stosunku do pojazdu wzorcowego, natomiast siła hamowania kół tylnych jest większa niż w pojeździe wzorcowym.

Spadek stosunku rozkładu masy na koła przednie i tylne powoduje zmniejszenie siły napędowej na kołach osi przedniej i zwiększenie na kołach osi tylnej w stosunku do pojazdu wzorcowego. Wartość siły hamowania kół osi przedniej jest mniejsza w stosunku do pojazdu wzorcowego, natomiast siła hamowania kół tylnych jest większa niż w pojeździe wzorcowym.

The full text of the article is available in Polish online on the website <http://archiwummotoryzacji.pl>.

Tekst artykułu w polskiej wersji językowej dostępny jest na stronie <http://archiwummotoryzacji.pl>.

Literatura

- [1] Brukalski M. Introduction to dynamic square method. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów. 2015; 3(103): pp. 29-35.
- [2] Kato M, Isoda K, Yuasa H: Study on vehicle dynamics in marginal condition using dynamic square method. SAE Technical Paper. 1995; nr 9531020: pp. 69-74.
- [3] Klomp M. Passenger Car All-Wheel Drive Systems Analysis. Degree Project University of Trollhättan/Uddevalla. Szwecja: 2004.

- [4] Klomp M. On Drive Force Distribution and Road Vehicle Handling-A Study of Understeer and Lateral Grip. Chalmers University of Technology. Szwecja: 2007.
- [5] Sawase K, Ushiroda Y, Inoue K. Effect of the Right-and-left Torque Vectoring System in Various Types of Drivetrain. SAE Technical Paper. 2007; 2007-01-3645: pp.1-8. doi:10.4271/2007-01-3645.
- [6] Sawase K, Ushiroda Y. Improvement of Vehicle Dynamics by Right-and-Left Torque Vectoring System in Various Drivetrains. Mitsubishi Motors Technical Review. 2008; nr 20: pp.14-20
- [7] Ushiroda Y, Sawase K, Takahashi N, Suzuki K, Manabe K. Development of Super AYC. Technical Review. 2003; nr 15: pp. 73-76.