

Analiza zwrotności pojazdu czteroosiowego

Zbigniew Lozia, Kamil Turski

Streszczenie

Artykuł przedstawia analizę zwrotności pojazdu kołowego czteroosiowego o różnej konfiguracji kół kierowanych i niekierowanych. Zastosowano model Ackermanna, a więc pominięto kąty bocznego znoszenia kół jezdnych, co jest uzasadnione ograniczeniem zakresu prędkości pojazdu do przedziału 0-20 km/h. W obliczeniach wykorzystano także wersję motocyklową modelu, co uprościło niezbędne zależności matematyczne. Jako miarę zwrotności przyjęto najmniejsze możliwe wartości zewnętrznego i wewnętrznego promienia skrętu oraz szerokość skrętu. Obliczenia wykonano dla danych modelu odpowiadających samochodowi Mercedes Benz Actros 4148 AK. Wskazano najbardziej korzystne i niekorzystne konfiguracje kół kierowanych i niekierowanych. Tekst artykułu wzbogacono materiałem ilustracyjnym.

Słowa kluczowe: zwrotność samochodu, pojazd wieloosiowy, model Ackermanna.

Wstęp

Pojazdy wieloosiowe są często wykorzystywane do transportu towarów i ludzi. Głównymi cechami, które je wyróżniają są duża ładowność i wymiary zewnętrzne. Pojazd ciężarowy powinien charakteryzować się dużą zwrotnością, zwłaszcza w warunkach miejskich, gdzie kierowca często jest zmuszony do zmiany kierunku jazdy. W pracy wykorzystano definicję zwrotności zaczerpniętą z pracy [1]: „zwrotność jest to zdolność pojazdu do wykonywania skrętów o małym promieniu”. Aby zwiększyć zwrotność należy zmniejszyć promień skrętu - promień toru ruchu środka masy pojazdu. Do oceny zwrotności korzysta się jednak z innych, bardziej przydatnych wielkości - „minimalnych promieni skrętu”. W literaturze [1, 2] definiuje się średnicę obrysową czyli średnicę okręgu opisanego przez rzut na jezdnie najbardziej na zewnątrz lub wewnątrz leżącego punktu pojazdu (względem chwilowego środka skrętu). Promienie obrysowe stanowią połowę tych średnic. Definiuje się także „najmniejszą szerokość skrętu” - najmniejszą odległość między dwiema równo oddalonymi płaszczyznami pionowymi, ustawionymi pod kątem prostym do siebie, między którymi pojazd może skręcić o 90° [1, 2]. Do analizy ilościowej wybrano pojazd Mercedes Benz Actros 4148 AK z zabudową wywrotki [3].

1. Racjonalne konfiguracje pojazdu czteroosiowego

Analizowane konfiguracje zostały wybrane na podstawie racjonalnych rozwiązań ze względów konstrukcyjnych i teorii ruchu samochodu. Nie są brane pod uwagę rozwiązania z jedną osią skrętną. Brak jest tego typu konstrukcji w rzeczywistości, ponieważ występowałyby w nich zwiększone zużycie ogumienia kół osi niekierowanych. Tabela 1 zawiera zestawienia wybranych konfiguracji pojazdu czteroosiowego.

2. Założenia dotyczące modelu

Przyjęto założenia upraszczające w celu umożliwienia wykorzystania uproszczonych zależności opisujących ruch pojazdu. Rozpatrywany jest ruch płaski na równej poziomej płaszczyźnie drogi. Nie jest uwzględniane boczne znoszenie

ogumienia, stosowany jest model analogiczny do modelu Ackermanna, także w wersji motocyklowej. Pojazd posiada płaszczyznę symetrii (pionową, wzdłużną). Rozważa się racjonalne z technicznego punktu widzenia konfiguracje układu kierowniczego pojazdu czteroosiowego. Środek masy pojazdu O_P i środki osi jezdnych (O_{12} , O_{34} , O_{56} , O_{78}) leżą na płaszczyźnie symetrii pojazdu. Pojazd rusza z maksymalnym kątem skrętu kół - nie uwzględnia się stanów przejściowych ruchu. Maksymalne wartości kątów skrętu kół jest określona na podstawie danych producenta pojazdu.

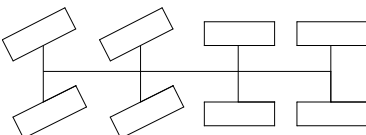
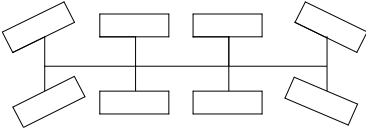
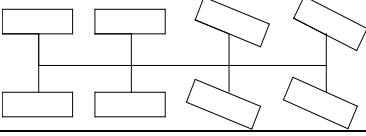
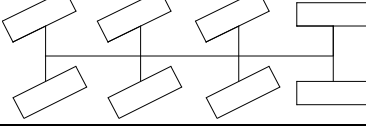
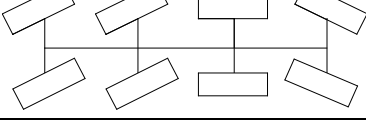
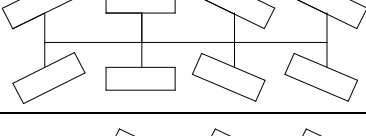
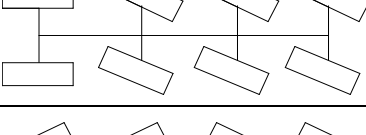
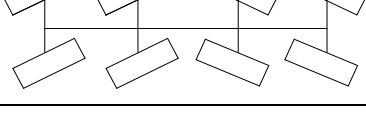
3. Model ruchu płaskiego pojazdu czteroosiowego

Na rysunku 1 przedstawiony jest pojazd czteroosiowy, który rusza do przodu skręcając w lewo. Posiada on dwie osie skrętne (pierwszą i drugą - konfiguracja 8W/4WS-1). Pokazano wymiary, które są potrzebne do określenia zwrotności pojazdu. Jest to model analogiczny do tzw. modelu Ackermanna [1] dla pojazdu dwuosiowego, ponieważ pojazd porusza się z niską prędkością i nie uwzględniono kątów bocznego znoszenia ogumienia. Wszystkie koła pojazdu poruszają się po współśrodkowych okręgach, dlatego kąty skrętu kół kierowanych są różne. Na rysunku 2 przedstawiono wersję motocyklową modelu pojazdu czteroosiowego, na przykładzie konfiguracji 8W/4WS-1.

4. Promień zawracania pojazdu i szerokość skrętu

Wybrane punkty charakterystyczne modelu pojazdu są położone w miejscach pojazdu, które są istotne do obliczenia największego promienia zawracania r_z najmniejszego wewnętrznego promienia zawracania r_w oraz określenia najmniejszej szerokości skrętu S_{Ps} . Algorytm obliczeń jest analogiczny do zawartego w publikacji [2]. Kluczowym dla obliczeń jest określenie położenia chwilowego środka obrotu O . Algorytm obliczeń zostanie przedstawiony dla konfiguracji 8W/4WS-1 (rys. 1 i 2). Znane jest położenie osi zastępczej C_{OLCOP} równoległej do trzeciej i czwartej osi jezdnych i leżącej pośrodku między nimi. Punkt C_0 jest środkiem tej osi zastępczej. Dzięki obliczeniu promienia r_{CO} wyznaczono promienie ruchu pozostałych punktów charakterystycznych.

Tab. 1. Zestawienie analizowanych konfiguracji pojazdu czteroosiowego

Lp.	Analizowane konfiguracje: schemat; oznaczenie	Opis, wymagania konstrukcyjne
1		8W/4WS-1 1 i 2 oś skrętna. Wskazane jest umieszczenie 3 i 4 osi blisko siebie.
2		8W/4WS-2 1 i 4 oś skrętna. Wskazane jest umieszczenie 2 i 3 osi blisko siebie.
3		8W/4WS-3 3 i 4 oś skrętna. Wskazane jest umieszczenie 1 i 2 osi blisko siebie.
4		8W/6WS-1 1, 2 i 3 oś skrętna.
5		8W/6WS-2 1, 2 i 4 oś skrętna.
6		8W/6WS-3 1, 3 i 4 oś skrętna.
7		8W/6WS-4 2, 3 i 4 oś skrętna.
8		8W/8WS 1, 2, 3 i 4 oś skrętna.

$$\operatorname{tg}\beta_{12} = \frac{L_{1CO}}{r_{CO}}$$

$$(1) \quad L_{PCO} = L_{ZT} + \frac{L_{34}}{2} \quad (4)$$

$$\operatorname{tg}\beta_{34} = \frac{L_{2CO}}{r_{CO}}$$

$$(2) \quad L_{LCO} = L - L_{PCO} \quad (5)$$

$$(3) \quad L_{1CO} = L_{LCO} - L_{ZP} \quad (6)$$

$$r_{CO} = \frac{L_{1CO}}{\operatorname{tg}\beta_{12}}$$

$$(4) \quad L_{2CO} = L_{1CO} - L_{12} \quad (7)$$

Wyznaczenie r_{CO} pozwala na obliczenie promieni: r_{COL} , r_{COP} , r_{C1} , r_{C2} , r_{C3} , r_{C4} , po których poruszają się punkty: C_{OL} , C_{OP} , C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , przedstawione na rys. 2.

$$r_{COL} = r_{CO} - \frac{B}{2} \quad (8)$$

$$r_{COP} = r_{CO} + \frac{B}{2} \quad (9)$$

$$r_{C1} = \sqrt{r_{COL}^2 + L_{LCO}^2} \quad (10)$$

$$r_{C2} = \sqrt{r_{COP}^2 + L_{LCO}^2} \quad (11)$$

$$r_{C3} = \sqrt{r_{COP}^2 + L_{PCO}^2} \quad (12)$$

$$r_{C4} = \sqrt{r_{COL}^2 + L_{PCO}^2} \quad (13)$$

Zewnętrzny promień zawracania (połowa zewnętrznej średnicy zawracania D_z) pojazdu czteroosiowego wyznaczono z zależności:

$$r_z = \max \{r_{COL}, r_{COP}, r_{C1}, r_{C2}, r_{C3}, r_{C4}\} \quad (14)$$

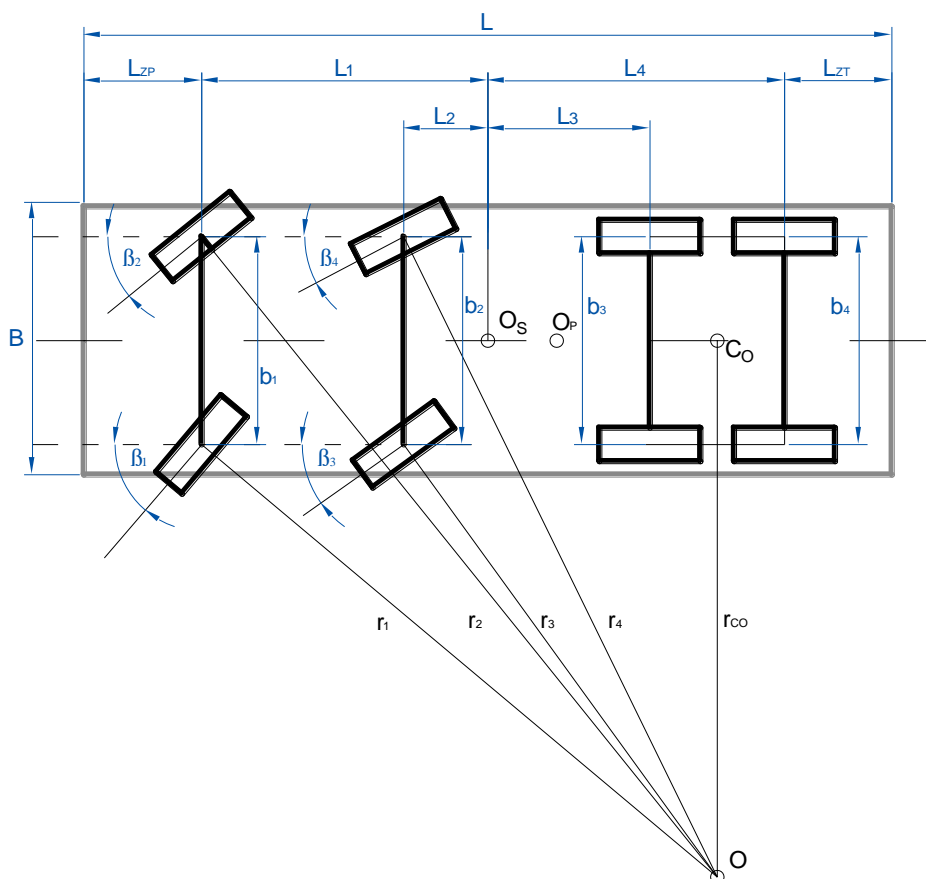
Wewnętrzny promień zawracania (połowa wewnętrznej średnicy zawracania D_w) pojazdu czteroosiowego wyznaczono z zależności:

$$r_w = \min \{r_{COL}, r_{COP}, r_{C1}, r_{C2}, r_{C3}, r_{C4}\} \quad (15)$$

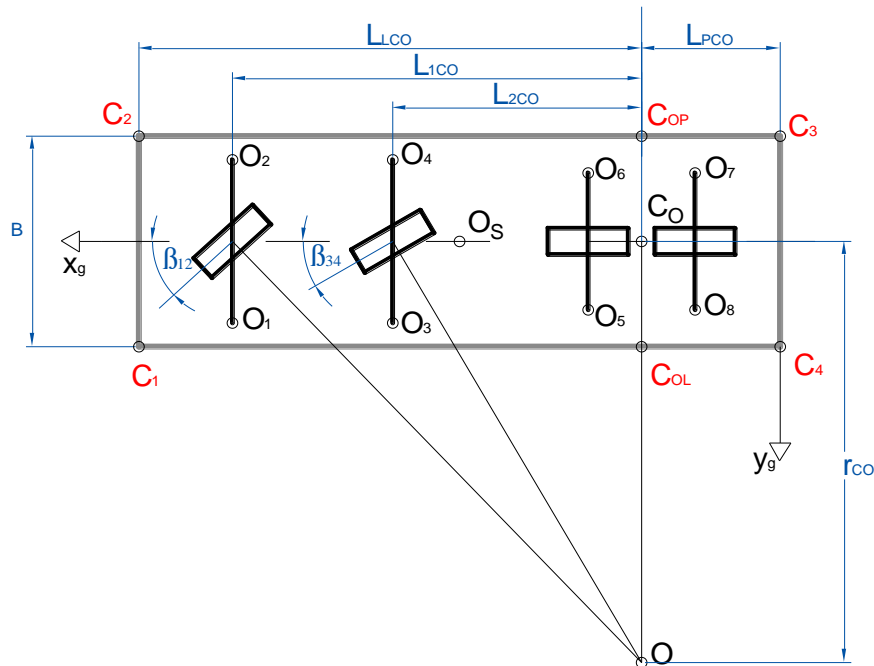
W celu wyznaczenia minimalnej szerokości pasa skrętu S_{ps} pojazdu czteroosiowego posłużono się schematem przedstawionym na rys. 3 i algorytmem wzorowanym na przedstawionym w pracy [2]. Wartość szerokości pasa skrętu zawiera się w przedziale od r_{COL} do r_{COP} . Obliczoną szerokość S'_{ps} należy powiększyć o szerokość wynikającą z zachodzenia tyłu pojazdu S_z .

$$S_{PS} = S'_{PS} + S_z \quad (16)$$

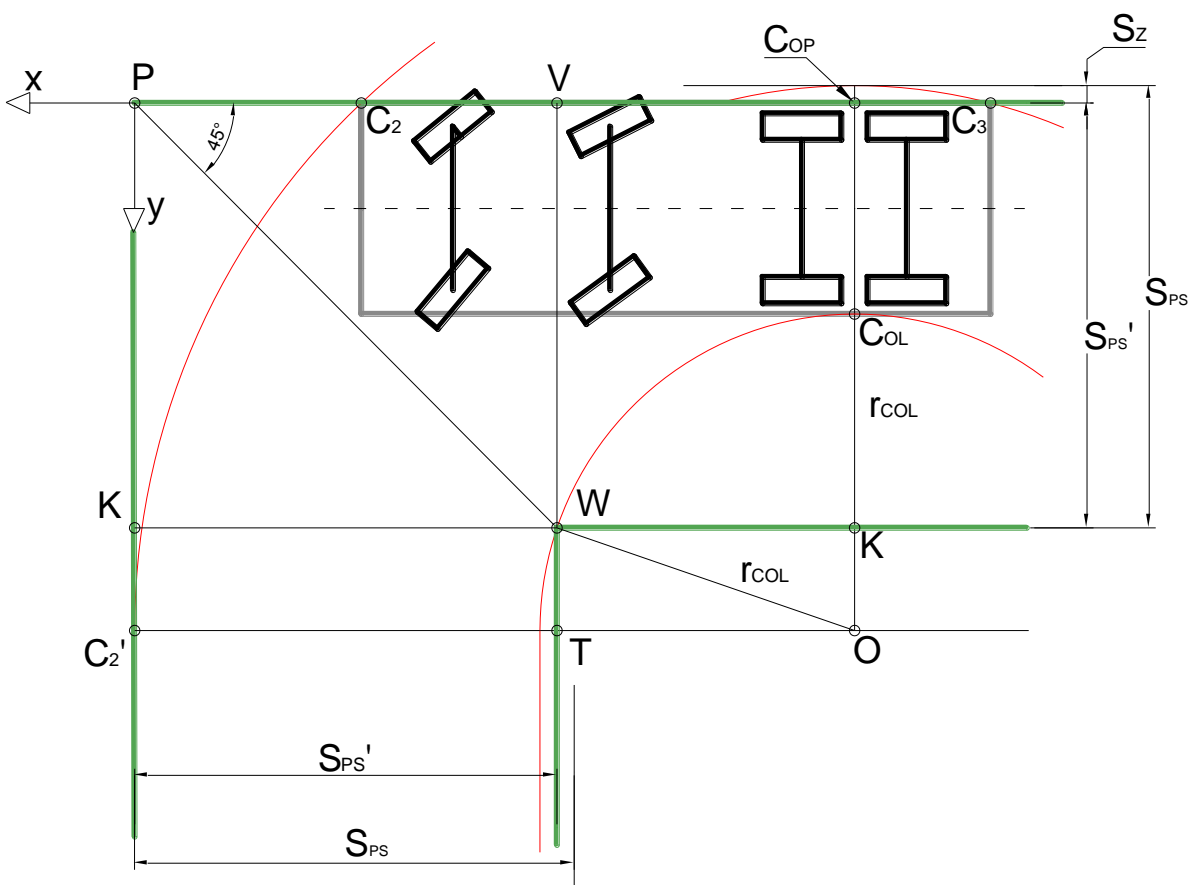
$$S_z = r_{C3} - r_{COP} \quad (17)$$



Rys. 1. Graficzne przedstawienie wymiarów pojazdu czteroosiowego, na przykładzie konfiguracji 8W/4WS-1. Opis oznaczeń: O - chwilowy środek obrotu; O_P - środek masy pojazdu; O_S - geometryczny "środek" pojazdu; C_O - punkt przecięcia promienia r_{CO} z płaszczyzną symetrii; r_{CO} - promień biegnący od chwilowego środka obrotu do przecięcia z płaszczyzną symetrii, prostopadły do niej [m]; B - szerokość pojazdu [m]; L - długość pojazdu [m]; L_1 , L_2 , L_3 , L_4 - odległość od geometrycznego "środka" pojazdu O_S do kolejnych osi jezdnych [m]; L_{ZP} - zwis przedni pojazdu [m]; L_{ZT} - zwis tylny pojazdu [m]; b_1 , b_2 , b_3 , b_4 - rozstaw kół kolejnych osi jezdnych [m]; β_1 , β_2 , β_3 , β_4 - kąt skrętu kolejnych kół [rad]; r_1 , r_2 , r_3 , r_4 - promienie skrętu środków kolejnych kół [m].



Rys. 2. Graficzne przedstawienie motelu motocyklowego pojazdu czteroosiowego, na przykładzie konfiguracji 8W/4WS-1

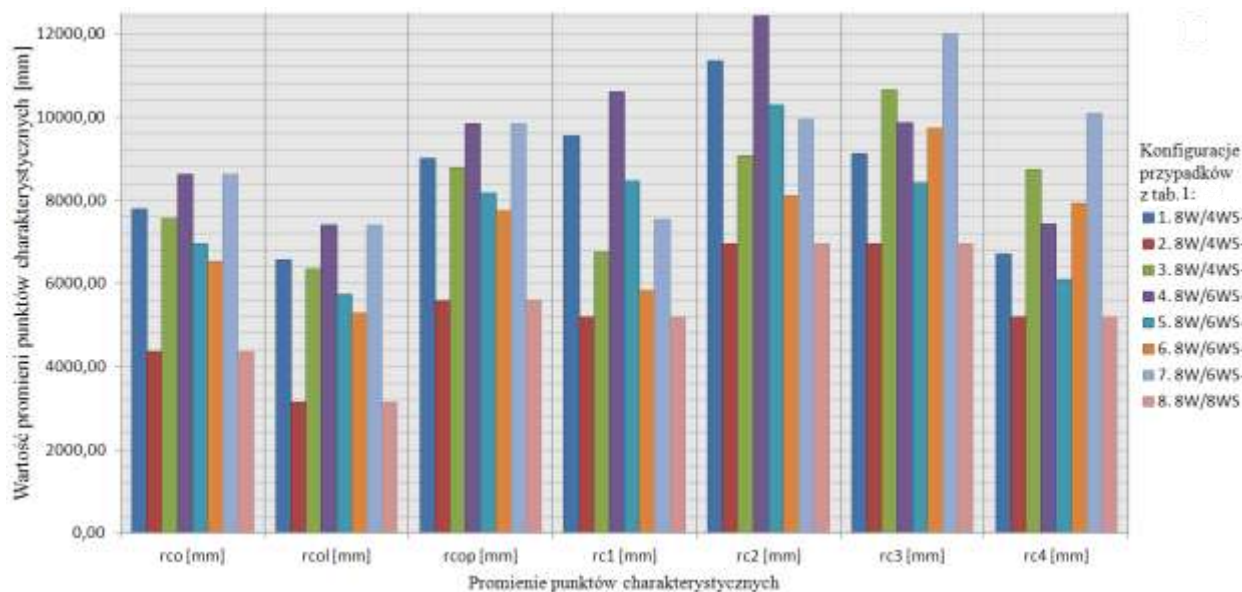


Rys. 3. Schemat służący do obliczenia szerokości skrótu pojazdu czteroosiowego, na przykładzie konfiguracji 8W/4WS-1

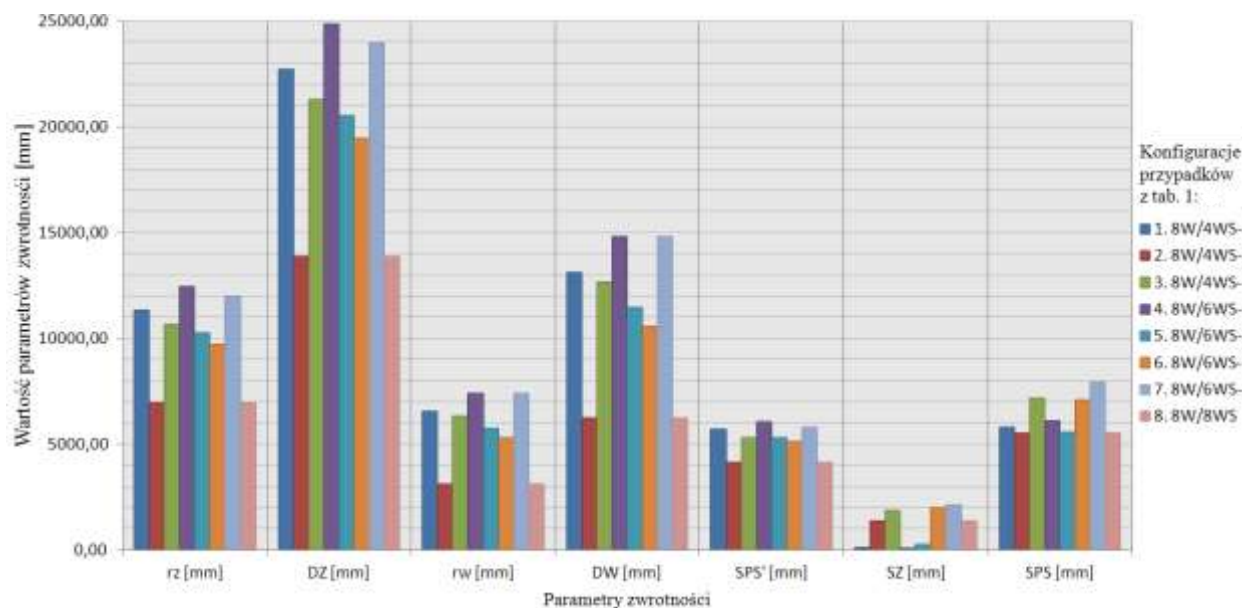
5. Wyniki obliczeń

Obliczenia wykonano dla danych pojazdu Mercedes Benz Actros 4148 AK [3]. Przedstawiono je na rys. 4 i 5. Rys. 4 obrazuje wartości promieni charakterystycznych dla analizowanych 8 konfiguracji osi skrętnych. Wyniki różnią się od siebie o około 40%. Tak duża różnica wynika z różnych położenia chwilowego środka obrotu O dla danej konfiguracji, którego umiejscowienie jest kluczowe dla obliczeń. Rys. 5 przedstawia wartości parametrów zwrotności dla wszystkich 8 konfiguracji osi skrętnych. Najmniejszym promieniem wewnętrznym i promieniem zewnętrznym charakteryzuje się konfiguracja 2

(8W/4WS-2) oraz 8 (8W/8WS). Wynoszą one $r_w=3128,8$ mm, $r_z=6940,5$ mm; tyle samo dla obu przypadków. Te konfiguracje posiadają także najmniejszą wartość szerokości pasa skrętu, która wynosi $S_{ps}=5524,2$ mm. Natomiast najmniejszą szerokość zachodzenia pojazdu występuje dla konfiguracji 4 (8W/6WS-1) i wynosi $S_z=24,9$ mm. Najlepsza zwrotność konfiguracji 2 (8W/4WS-2) oraz 8 (8W/8WS) wynika z położenia chwilowego środka obrotu pojazdu O, który umiejscowiony jest (chodzi tu o kierunek wzdłuż pojazdu) na wysokości jego geometrycznego środka Os.



Rys. 4. Wartości promieni punktów charakterystycznych (C_0 , C_{0L} , C_{0P} , C_1 , C_2 , C_3 , C_4) dla ośmiu konfiguracji kół skrętnych; samochód Mercedes Benz Actros 4148 AK



Rys. 5. Wartości parametrów zwrotności (r_z , D_z , r_w , D_w , S'_{ps} , S_z , S_{ps}) dla ośmiu konfiguracji kół skrętnych; samochód Mercedes Benz Actros 4148 AK

Bibliografia

1. Arczyński St., *Mechanika ruchu samochodu*, WNT, Warszawa, 1994.
2. Lozia Z., Pudło J., *Niekompatybilność wymiarowa elementów infrastruktury drogowej miast i autobusów, jako możliwe zagrożenie bezpieczeństwa ruchu pojazdów*. Paragraf na drodze. Numer specjalny, październik 2011 r. Wydawnictwo

Instytutu Ekspertyz Sądowych w Krakowie. ISSN 1505-3520. Str. 283-297.

3. <http://www.mercedes-benz.pl/> (data dostępu 04.11.2013)

Analysis of four-axle road vehicle manoeuvrability

Abstract

The article presents an analysis of a four-axle vehicle maneuverability with different configurations of steered wheels. A model of Ackermann was applied and therefore omitted the lateral slip angles of wheels, which is a reasonable limitation of the speed range of the vehicle to 0-20 km/h. The calculations used a version of the motorcycle model, which simplified the necessary mathematical relationships. As far as maneuverability adopted the smallest possible value of the external and internal turning radius and a 90 deg turn width. The calculations were performed for the data corresponding to the model of truck Mercedes Benz Actros 4148 AK. Indicated the most favorable and unfavorable configurations of steered wheels. The text of article is enriched by illustrative material.

Key words: road vehicle agility, multi-axle vehicle, Ackermann model.

Autorzy:

Prof. dr hab. inż. **Zbigniew Lozia** - Politechnika Warszawska
Inż. **Kamil Turski** - Politechnika Warszawska