

EXPERIMENTAL TEST ABOUT MANEUVERABILITY OF FOUR-AXLE VEHICLE FOR RIGID AND FLEXIBLE ROAD SURFACE

Przemysław Simiński

Military Institute of Armour and Automotive Technology
ul. Okuniewska 1, 05-70 Sulejówek, Poland
tel.: +48 22 6811204, fax: +48 22 6811073
e-mail: psim@witpis.mil.pl

Abstract

The paper refers to research about manoeuvrability of four-axle vehicle. Experiments were performed for rigid and flexible pavement. The analysis was based on experimental tests results. During researches, there was also made assessment of turn-radius reduction system effectiveness, which was an equipment of the vehicle, for each kind of pavement. The above shows that seeking new solutions that reduce a vehicle turning radius value makes sense, and in particular those which are used by fire department, military, technical services (technical emergency assistance, assembly vehicles, truck mounted crane, etc.), and municipal vehicles, as they are often used for works in hardly accessible urban area of seriously limited manoeuvred space.

The article presents measuring system, ground surface properties, the comparison of the trajectory course of the vehicle centre of mass during turning on the concrete ground surface and flexible for cases without applying of wheel brake and with applying of inner wheel brake.

Presented test results show that there is the possibility of reduction of the minimum- turning radius for vehicle with four axles and two with steered axles through asymmetric applying brake moment for wheels. However great tractive resistances during realization supported turn cause large loads of brake and driving systems.

Keywords: transport, multi-axial vehicles, testing, maneuverability, turning radius

BADANIA EKSPERYMENTALNE ZWROTNOŚCI POJAZDU CZTEROOSIOWEGO NA PODŁOŻU SZTYWNYM ORAZ PODATNYM

Streszczenie

Artykuł prezentuje wyniki badań zwrotności pojazdu czteroosiowego. Badania prowadzone były dla podłoża sztywnego oraz nawierzchni podatnej. Analizowano rezultaty badań eksperymentalnych. Podczas badań wykonywano ocenę skuteczności systemu redukcji promienia skrętu, w który wyposażony był pojazd dla różnych rodzajów podłoża. Przedstawiono w powyższy sposób poszukiwanie nowego sposobu na zredukowanie minimalnego promienia skrętu, co nabiera szczególnego znaczenia dla pojazdów wykorzystywanych przez straż pożarną, wojsko, służby techniczne (wozy zabezpieczenia technicznego, wozy ekip montażowych, ciężkie dźwigi, itp.), służby komunalne, które bardzo często pracują na terenie zurbanizowanym, gdzie szczególnie brakuje przestrzeni do wykonywania manewrów. Artykuł prezentuje układ pomiarowego, charakterystyki nawierzchni porównanie przebiegu trajektorii środka masy pojazdu, podczas skrętu na nawierzchni betonowej i podatnej dla sytuacji bez hamowania kół i z hamowaniem kół wewnętrznych.

Przedstawione wyniki badań wskazują, że istnieje możliwość redukcji minimalnego promienia skrętu dla pojazdu czteroosiowego z dwiema osiami kierowanymi poprzez asymetryczne przykładanie momentu hamującego do kół. Jednak znaczne opory ruchu podczas realizacji wspomaganego skrętu powodują duże obciążenia układów hamulcowego i napędowego.

Słowa kluczowe: transport, pojazdy wieloosiowe, badania, zwrotność, promień skrętu

1. Wstęp

Uzyskanie niskich wartości promienia skrętu jest utrudnione w pojazdach wieloosiowych takich jak opancerzone transportery kołowe i samochody dużej ładowności ze względu na ich gabaryty i liczbę osi. W wozach bojowych ponadto dąży się do obniżenia sylwetki pojazdu. Możliwość realizacji tego zamiaru kłóci się z tym powiększenie miejsca na nadkola tak by zapewnić więcej miejsca na skręt koła. Tymczasem większe rozmiary ogumienia zapewniają lepszą przejezdność w terenie. Zwiększając rozmiary ogumienia ogranicza się miejsce na skręt kół, jeśli zostanie ono zwiększone stanie się to kosztem pojemności wnętrza oraz podwyższenia sylwetki pojazdu. Konieczne staje się poszukiwanie innych możliwości zmniejszenia promienia skrętu niż powiększanie maksymalnego kąta skreślenia kół i zwiększając liczbę kierowanych osi.

2. Pojęcie zwrotności

Do podstawowych manewrów wykonywanych przez samochód należy zmiana kierunku jazdy. Ten manewr wynika z konieczności ominięcia przeszkód, a także z własności sieci drogowych, wymuszających inny niż prostoliniowy kierunek jazdy. Ruch płaski samochodu na łuku drogi, z punktu widzenia kinematyki, rozpatrujemy jako złożenie ruchu postępowego oraz ruchu obrotowego. Do cech charakteryzujących ten ruch należą: kierowalność i zwrotność. Definicję zwrotności zaczerpnięto z pracy [1]: „Zwrotność jest to zdolność pojazdu do wykonywania skrętów o małym promieniu.” Im mniejszy promień skrętu, tym większa jest zwrotność pojazdu.

Przez promień skrętu pojazdu rozumie się promień toru ruchu środka masy pojazdu. W wielu pracach promieniem skrętu pojazdu nazywany jest promień toru ruchu środka osi tylnej. Aby dokonać oceny zwrotności pojazdu należy zatem zmierzyć minimalny promień skrętu. Im mniejszy jest minimalny promień skrętu tym lepsza zwrotność pojazdu.

Informacje literaturowe oraz własne badania eksperymentalne, pozwoliły na wytypowanie, jako sposobu na polepszenie zwrotności pojazdów poruszających się na sztywnym podłożu, niesymetrycznego przykładania momentów działających na koła jezdne lewej i prawej strony pojazdu.

3. Poprawa zwrotności

Stosowanie mechanizmów skrętu, podobnie jak w pojazdach gaśnicowych, pociąga za sobą bardziej złożoną budowę układu napędowego. Dodatkowe przekładnie wpływają na obniżenie sprawności mechanicznej pojazdu.

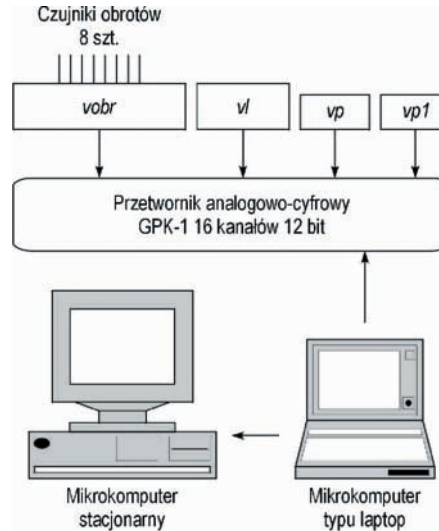
W kołowych ciągnikach rolniczych wykorzystuje się do zmiany jego kierunku ruchu między innymi hamowanie napędzanych kół jezdnych, znajdujących się po wewnętrznej stronie skręcającego ciągnika. Uzyskuje się to poprzez oddziaływanie na układ hamulcowy (brak jest dodatkowych przekładni mechanicznych), poprzez dwa pedały hamulcowe działające na poszczególne hamulce kół z odpowiedniej strony pojazdu.

Układy o podobnym działaniu znalazły zastosowanie w kilku prototypach kołowych wozów bojowych. W ich przypadku blokowaniu kół przeciwdziała układ ABS, w który wyposaża się nowoczesne kołowe wozy bojowe.

4. Przebieg i warunki badań

Obiekt badań stanowił prototyp pojazdu czteroosiowego, napędzany na wszystkie koła w konfiguracji 8×8. Pojazd wyposażono w układ redukcji promienia skrętu, działający na zasadzie uruchamiania (podczas wykonywania skrętu), hamulców na kołach jednej strony pojazdu.

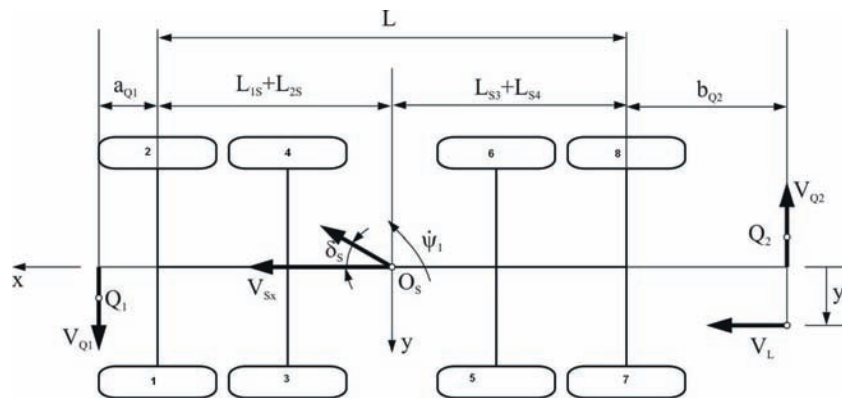
Do rejestracji przebiegów czasowych wybranych parametrów wykorzystano układ pomiarowy, składający się z 10 czujników (8 czujników prędkości obrotowej kół, 2 optycznych przetworników prędkości Correvit) przetwornika pozwalającego na rejestrację sygnałów w postaci wielkości fizycznych oraz mikrokomputera (rys. 1.). Rejestrowano 11 parametrów [2].



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego

Fig. 1. Measurement system

Przy pomocy optycznych czujników rejestrowano prędkość wzdłużną oraz prędkości poprzeczne przodu i tyłu pojazdu. Schemat rozmieszczenia czujników przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Schemat rozmieszczenia czujników prędkości

Fig. 2. Location for velocity sensors

- gdzie: V_L – prędkość wzdłużna w wybranym punkcie pojazdu, [m/s],
 V_{Sx} – prędkość wzdłużna środka masy pojazdu, [m/s],
 V_{Q1} – prędkość poprzeczna punktu przedniej części pojazdu, [m/s],
 V_{Q2} – prędkość poprzeczna punktu tylnej części pojazdu, [m/s],
 a_{Q1} – odległość czujnika Correvit od pierwszej osi, [m],
 b_{Q2} – odległość czujnika Correvit od czwartej osi, [m],
 δ_s – kąt znośny środka masy pojazdu, [rad].

Zarejestrowane wielkości pozwoliły na wykonanie obliczeń według poniższych wzorów:

$$\dot{\psi}_1 = \frac{V_{Q1} - V_{Q2}}{L + a_{Q1} + b_{Q2}}, \quad (1)$$

$$V_{sx} = V_L + y_L \dot{\Psi}_1 \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} \delta_s = - \frac{I}{(L + a_{Q1} + b_{Q2}) \cdot V_{sx}} \cdot \left[(L_{1s} + L_{2s} + a_{Q1}) \cdot V_{Q2} + (L_{s3} + L_{s4} + b_{Q2}) \cdot V_{Q1} \right], \quad (3)$$

$$r_\delta = \frac{V_{sx}}{\dot{\Psi}_1 \cos \delta_s}, \quad (4)$$

gdzie:

- $\dot{\Psi}_1$ – prędkość kątowna odchylenia (kierunkowa prędkość kątowna), przy obrocie w lewo jest ona dodatnia, [rad/s],
- y_l – odległość czujnika prędkości Correvit (mocowanego za pojazdem) od płaszczyzny symetrii pojazdu, [m].

Ponadto na każdym z kół znajdował się czujnik obrotów, pozwoliło to określić przebieg prędkości kątowej w funkcji czasu.

Badanie prowadzono na nawierzchni betonowej. W pierwszej części eksperymentu pojazd wykonywał skręt w lewo z maksymalnie skręconymi kołami kierowanymi. Następnie powtarzał ten manewr dodatkowo przyhamowując koła lewej strony (rys. 3).



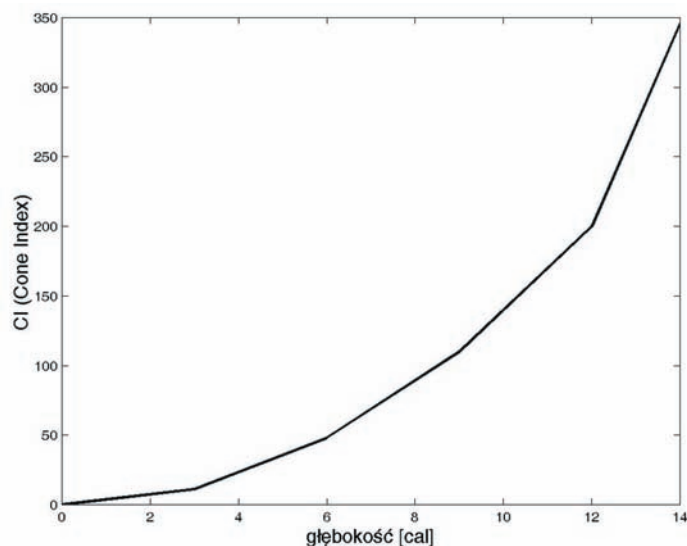
Rys. 3. Pojazd czteroosiowy podczas realizacji skrętu na nawierzchni betonowej

Fig. 3. Four-axial vehicle during steering on asphalt road surface

Znak ujemny promienia skrętu oznacza skręt w lewo. Znak dodatni: skręt w prawo. W tekście, pisząc o promieniu, wykorzystywany będzie moduł tej wartości a więc wartości dodatnie.

Badanie prowadzono na nawierzchni betonowej oraz podatnej, którym był wygładzony fragment drogi czołgowej. Do scharakteryzowania nawierzchni podatnej wykonano badania

polegające na określeniu jego nośności poprzez Cone Index (rys. 4). Nośność gruntu CI określano za pomocą stożka o kącie wierzchołkowym 30 stopni i polu podstawy 0,5 cala kwadratowego. Stożek zagłębiany w warstwie gruntu na głębokość ok. 15 cm rejestrując siłę potrzebną na zagłębianie go z prędkością ok. 1,2 cala na sekundę.



Rys. 4. Charakterystyka podatnej nawierzchni
 Fig. 4. Characteristic of flexible pavement

W pierwszej części eksperymentu pojazd wykonywał skręt w lewo z maksymalnie skreconymi kołami kierwanymi. Następnie powtarzał ten manewr dodatkowo przyhamowując koła lewej strony (rys. 5). Te same czynności wykonywano w drugiej części badania lecz wówczas nawierzchnie stanowił miękki grunt.

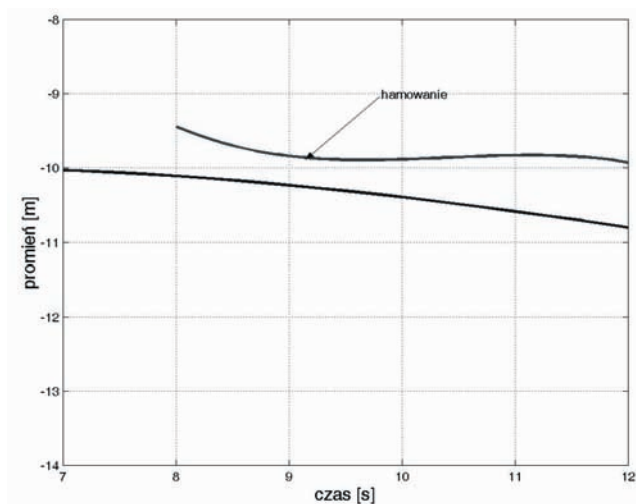


Rys. 5. Pojazd czteroosiowy podczas realizacji skrętu na nawierzchni podatnej
 Fig. 5. Four-axle vehicle during steering on flexible road surface

5. Wyniki badań

5.1. Skręt wykonywany na betonie

W przypadku realizacji skrętu, przy pełnym skręcie kół kierowanych w lewo, promień osiąga wartości powyżej 10 m (średnio 10,5m) - rys. 6. Wspomaganie skrętu przyhamowaniem kół pozwoliło ograniczyć promień skrętu poniżej tej wartości (średnio 9,9 m). Skuteczność układu osiągnęła 6,2%, bowiem tyle wynosiła średnio redukcja promienia.

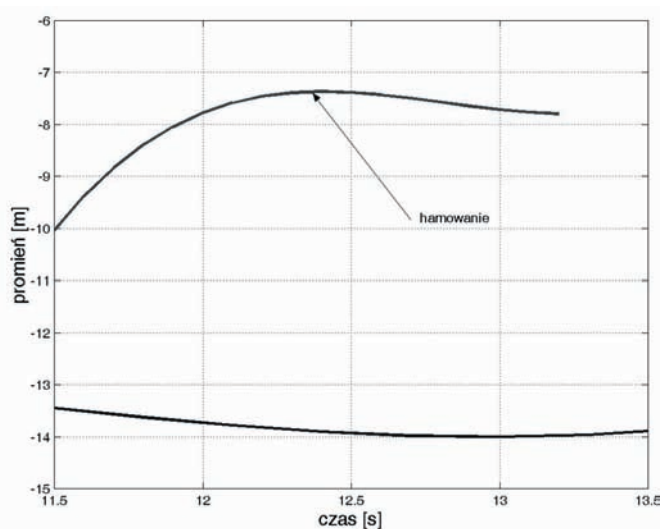


Rys 6. Porównanie przebiegu trajektorii środka masy pojazdu, podczas skrętu na nawierzchni betonowej, dla sytuacji bez hamowania kół i z hamowaniem kół wewnętrznych

Fig. 6. Comparison of results turning radius, between steering on asphalt road surface with turn-radius reduction system effectiveness and without system

5.2. Skręt na nawierzchni podatnej

Wartość promienia skrętu dla skrętu bez przyhamowania zawiera się od 12.5 m do 14m (średnio 13,3m) - rys.14. Włączenie układu redukcji promienia skrętu pozwala obniżyć tę wartość poniżej 7,5 m (średnio 7,9 m) - rys. 7. Na miękkim podłożu układ wykazuje się większą skutecznością niż na nawierzchni betonowej (średnio 40%). Jego skuteczność będzie zależeć od rodzaju i stanu nawierzchni.



Rys. 7. Porównanie przebiegu trajektorii środka masy pojazdu, podczas skrętu na nawierzchni podatnej, dla sytuacji bez hamowania kół i z hamowaniem kół wewnętrznych

Fig. 7. Comparison of results turning radius, between steering on flexible surface with turn-radius reduction system effectiveness and without system

Różnice w prędkościach kątowych kół na tej samej osi wynikają z działania „hamulca skrętu”. Różnice między prędkościami na kołach poszczególnych osi są także wynikiem zmieniającego się współczynnika przyczepności oraz wzrostu oporów ruchu, ponieważ pojazd zacieśniając skręt swoimi kołami powodował „płużenie” warstwy ziemi (rys. 8). Powstałe w ten sposób bruzdy miały wysokość od 25 do 45 cm. Powstawanie bruzd ziemi, śladu ścieranych opon (na betonie) świadczą, że siły występujące w płaszczyźnie styku koła z nawierzchnią przyjmują wartości powodujące powstanie momentu skręcającego bryłę pojazdu.



Rys. 8. Ślad po wykonaniu skrętu z wykorzystaniem przyhamowania
 Fig.8. Trace by vehicle which steering with turn-radius reduction system effectiveness

6. Podsumowanie

Przedstawione wyniki badań wskazują, że istnieje możliwość redukcji minimalnego promienia skrętu dla pojazdu czteroosiowego z dwiema osiami kierowanymi, poprzez asymetryczne przykładanie momentu hamującego do kół. Stosowanie takich układów pozwala obniżyć promień skrętu, lecz zależy to między innymi od rodzaju nawierzchni. Jak pokazują przedstawione wyniki badań skuteczność tego układu zależy od rodzaju nawierzchni, ale nawet na nawierzchni o dużym współczynnikiem przyczepności jest on efektywny. Znaczne opory ruchu podczas realizacji wspomaganego skrętu, powodują duże obciążenia układów hamulcowego i napędowego. Wydaje się celowym wprowadzenie układów redukujących minimalny promień skrętu, do pojazdów wykorzystywanych w sektorze przemysłu, straży pożarnej wojsku, zwłaszcza do pojazdów wieloosiowych.

Literatura

- [1] Arczyński, S., *Teoria ruchu samochodu*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej 1984.
- [2] Simiński, P., *Badania zwrotności pojazdów w trakcie ruchu po sztywnym podłożu*, Rozprawa doktorska, Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej 2005.

