

SYMULACYJNA OCENA PORÓWNAWCZA ZWROTNOŚCI SAMOCHODU OSOBOWEGO W RUCHU „DO PRZODU” I „DO TYŁU”

JANUSZ KULMA¹, ZBIGNIEW LOZIA²

Politechnika Warszawska

Streszczenie

Celem pracy jest porównanie zwrotności (zdolności do ruchu po torach o małych promieniach krzywizny) tego samego samochodu poruszającego się „do przodu” oraz „do tyłu”. Określenia te są ujęte w cudzysłowach, ponieważ ich znaczenie zależy od przyjętego punktu widzenia. W niniejszej pracy uważa się, że samochód porusza się „do przodu”, gdy wektor jego zadanej prędkości jest skierowany ku jego przodowi. Można również określić, że ruch „do tyłu” to ruch samochodu na biegu wstecznym, natomiast „do przodu” – na pozostałych biegach. Do zrealizowania celu pracy została wykorzystana metoda symulacyjna. Nie wykorzystywano modelu Ackermanna, lecz przestrzenny model dynamiczny, uwzględniający kąty bocznego znoszenia kół jezdnych. Badania wykonano dla następujących manewrów: ruch po torze o stałym promieniu na nawierzchni o dobrej przyczepności, ruch z „piłokształtnym” wymuszeniem na kole kierownicy oraz wjazd na stanowisko postojowe usytuowane równoległe do krawędzi jezdni. Prędkość pojazdu ograniczono do 40 km/h ze względu na charakter symulowanych manewrów (ocena zwrotności) oraz z tego powodu, że wyższe prędkości są trudne do osiągnięcia podczas ruchu samochodu na biegu wstecznym w warunkach rzeczywistych. Otrzymane wyniki wskazują na istotne różnice w zachowaniu się pojazdu w ruchu „do przodu” i „do tyłu”. Część z nich jest znana każdemu doświadczonemu kierowcy, co raczej tylko potwierdza przydatność zastosowanej metody symulacyjnej.

Słowa kluczowe: symulacja, zwrotność samochodu, cofanie

1. Wprowadzenie

Praca ta stanowi kontynuację rozważań i prezentacji wyników badań symulacyjnych opisanych w artykule: „Symulacyjna ocena porównawcza kierowności samochodu osobowego w ruchu „do przodu” i „do tyłu” [18]. W związku z tym niniejszy rozdział 1 (Wstęp), rozdział 2 (Model i program symulacyjny) i rozdział 3 (Dane pojazdu i opis symulowanych manewrów) zostały znacznie skrócone, wykorzystując fakt powiązania z pracą [18].

Celem pracy jest porównanie zwrotności samochodu poruszającego się „do przodu” oraz

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

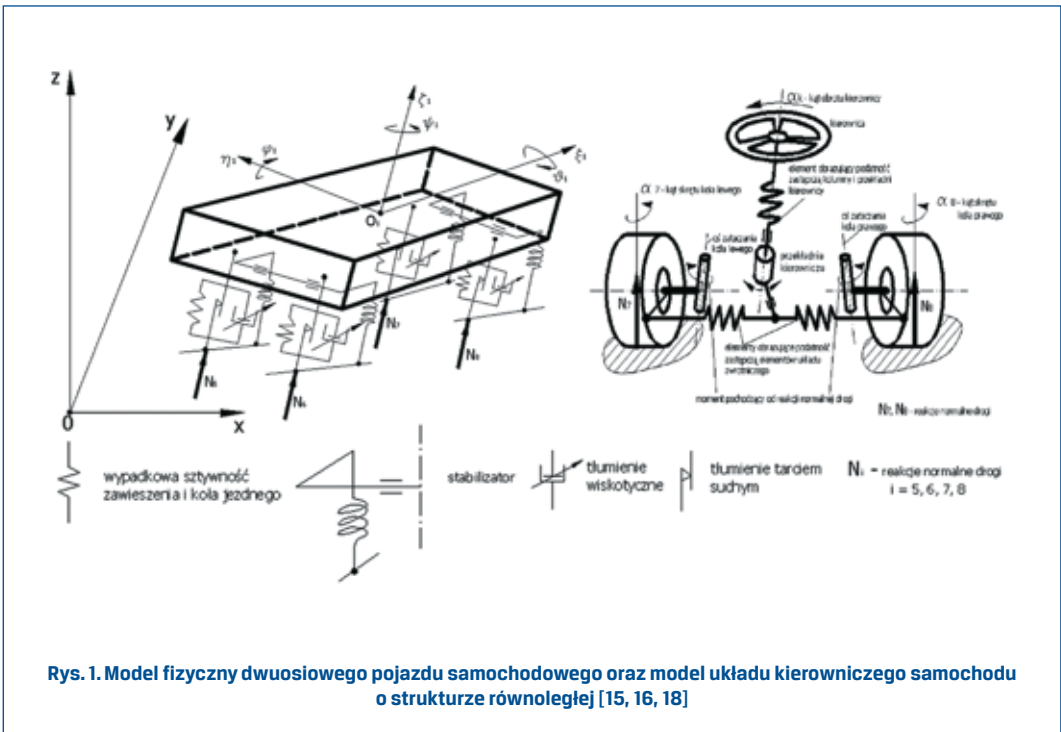
² Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, e-mail: lozia@wt.pw.edu.pl, tel. 22 234 82 46

„do tyłu”. Pod pojęciem „zwrotność” autorzy rozumieją zdolność samochodu do ruchu po torach o małych promieniach krzywizny [1]. Daje to możliwość łatwego nim manewrowania. Badania tej cechy pojazdu są opisane w aktach normatywnych Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ - UNECE [2].

Badania samochodu prezentowane w niniejszej pracy były badaniami symulacyjnymi. Nie wykorzystywano modelu Ackermanna, lecz przestrzenny model dynamiczny, uwzględniający kąty bocznego znoszenia kół jezdnych. Mimo że badania były tylko symulacjami, to jednak dążono do jak najwierniejszego odwzorowania rzeczywistości i z tego powodu ograniczono zadaną prędkość ruchu samochodu do 40 km/h, ponieważ wyższe prędkości są trudne do osiągnięcia podczas ruchu samochodu „do tyłu” w warunkach rzeczywistych.

2. Model i program symulacyjny

Rysunek 1 przedstawia model fizyczny pojazdu dwuosowego [15, 16], którego opis zaprezentowano w pracy [18]. Założono, że nawierzchnia drogi jest równa, pozioma. Do opisu ruchu modelu przyjęto dziesięć niezależnych współrzędnych uogólnionych: współrzędne x_{O_1} , y_{O_1} , z_{O_1} punktu O_1 (środką masy pojazdu) w układzie inercyjnym $Oxyz$, kąt odchylenia bryły nadwozia (kąt kierunkowy) ψ_1 , kąt pochylenia wzdłużnego ϕ_1 i przechyłu bocznego ϑ_1 , bryły nadwozia oraz kąty obrotu kół jezdnych ϕ_5 , ϕ_6 , ϕ_7 i ϕ_8 .



Rys. 1. Model fizyczny dwuosowego pojazdu samochodowego oraz model układu kierowniczego samochodu o strukturze równoległej [15, 16, 18]

Symulacja niektórych manewrów wymaga opisu oddziaływania kierowcy. W „testach otwartych” (ang. „open loop test”) [15, 16] działania kierowcy są reprezentowane funkcjami czasowymi kąta obrotu kierownicy, siły nacisku na pedał hamulca, stopnia otwarcia przepustnicy, przełożenia skrzynki przekładniowej.

3. Dane pojazdu i opis symulowanych manewrów

Dane modelu symulacyjnego odpowiadały samochodowi osobowemu klasy średniej w stanie całkowicie obciążonym (około 1500 kg) [18]. W celu porównania zwrotności pojazdu w ruchu „do przodu” i „do tyłu” przeprowadzono symulacje trzech różnych manewrów. Pierwszym był ruch samochodu ze stałą prędkością po torze o stałym promieniu, na nawierzchni o dobrej przyczepności. Drugim manewrem był ruch z „piłokształtnym” wymuszeniem na kole kierownicy, zgodnie z Regulaminem 79 Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ - UNECE [2]. Trzecim był wjazd na stanowisko postojowe usytuowane równolegle do krawędzi jezdni.

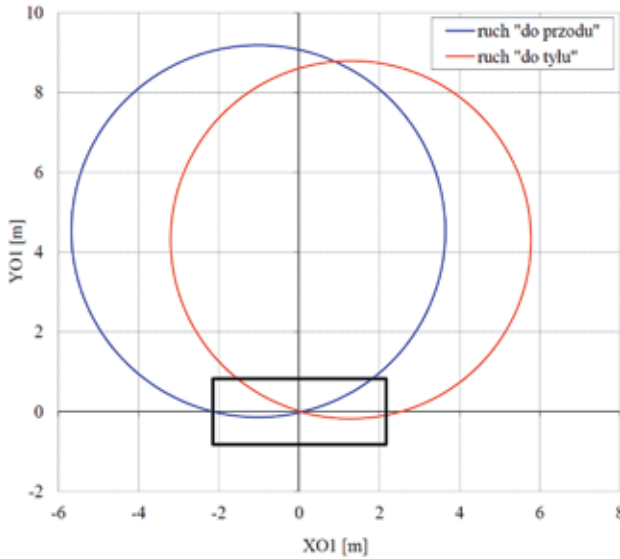
Symulacje, w zależności od manewru, przeprowadzane były dla różnych prędkości, dla suchej i mokrej nawierzchni drogi, dla ruchu samochodu „do przodu” i „do tyłu” [18].

4. Ruch samochodu ze stałą prędkością po torze o stałym promieniu na nawierzchni o dobrej przyczepności

Manewr ten był symulacją ruchu samochodu przy stałym kącie obrotu koła kierownicy. Zadana była jego maksymalna wartość (9,42 rad), od początku do końca trwania symulacji. Znak kąta obrotu koła kierownicy podczas ruchu „do tyłu” był przeciwny niż podczas ruchu „do przodu”.

Symulacje zostały przeprowadzone tylko dla prędkości 10 km/h i własności stycznych kół ogumionych odpowiadających suchemu asfaltobetonowi. Nie przeprowadzono w tym wypadku symulacji dla mokrego asfaltobetonu ani dla wyższych prędkości pojazdu, ponieważ chodziło o porównanie zachowania pojazdu, w ruchu „do przodu” i „do tyłu” przy małych wartościach kątów bocznego znoszenia. Dzięki temu możliwy był ruch pojazdu po torze o stałym promieniu krzywizny i powrót do położenia początkowego po osiągnięciu kąta odchylenia równego 2π rad.

Tor ruchu środka masy pojazdu zarówno podczas ruchu „do przodu”, jak i „do tyłu” został przedstawiony na rys. 2. Obrys pojazdu w położeniu początkowym (odpowiada ono w przybliżeniu położeniu końcowemu) został przedstawiony w uproszczeniu jako prostokąt o wymiarach odpowiadających szerokości i długości pojazdu.



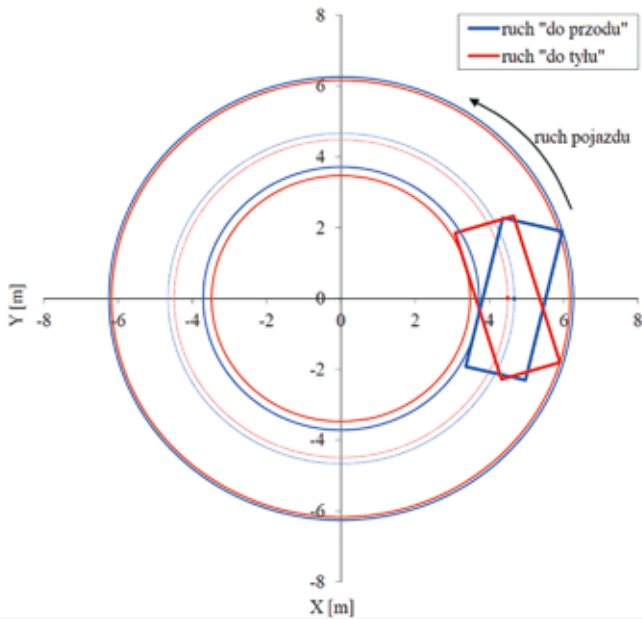
Rys. 2. Tor ruchu środka masy pojazdu przy stałej wartości kąta obrotu koła kierownicy

Przedstawione na rys. 2 tory ruchu środka masy pojazdu dla ruchu „do przodu” i „do tyłu” można by było uznać za symetryczne względem osi OY, gdyby nie różnica promieni zakreślonych okręgów. Aby ta różnica była bardziej widoczna, została przeprowadzona jeszcze jedna symulacja, w której zmieniono jedynie położenia początkowe pojazdu. Wyniki przedstawiono na rys. 3. Dzięki zmianie położenia początkowego udało się uzyskać tory ruchu środka masy pojazdu, tworzące współśrodkowe okręgi. Dodatkowo przedstawiono uproszczony obrys pojazdu zarówno dla ruchu „do przodu”, jak i „do tyłu” oraz okręgi, o najmniejszej i największej średnicy, zakreślone przez ten obrys.

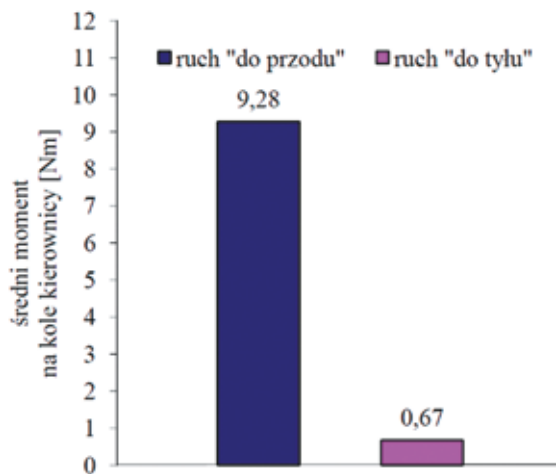
Na rysunku 4 przedstawiono wartości promieni okręgów zakreślonych przez środek masy pojazdu oraz jego obrys. Rysunek 5 prezentuje wartości średnie bezwzględnych wartości momentu na kole kierownicy. Różnice w uzyskanych wynikach, jeżeli chodzi o tor ruchu pojazdu, nie są duże, głównie ze względu na niską prędkość ruchu samochodu. Jednak są one zauważalne, na korzyść ruchu „do tyłu”. Różnica ta jest spowodowana innym położeniem chwilowego środka obrotu dla każdego z kierunków (a właściwie zwrotów) ruchu oraz odkształceniami elementów układu kierowniczego.

Znaczna różnica jest natomiast widoczna w przypadku momentu na kole kierownicy, tutaj jest on prawie czternastokrotnie mniejszy, gdy samochód porusza się „do tyłu”.

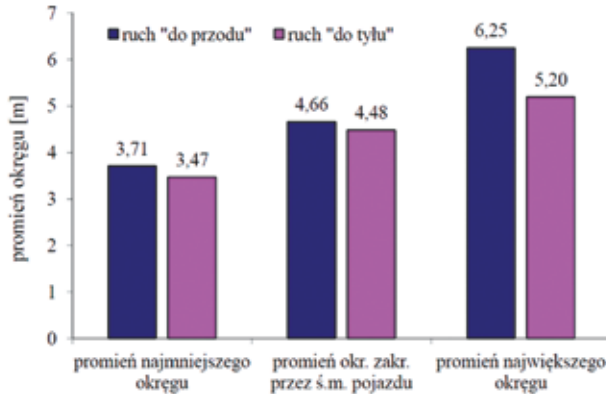
Mniejszy moment na kole kierownicy oznacza mniejsze odkształcenia w układzie kierowniczym, a więc danemu kątowi obrotu koła kierownicy odpowiadają większe kąty skrętu kół. Z tego wynikają mniejsze wartości promieni skrętu.



Rys. 3. Tor ruchu środka masy pojazdu przy stałej wartości kąta obrotu koła kierownicy, po zmianie położenia początkowego



Rys. 4. Wartości średnie bezwzględnych wartości momentu na kole kierownicy podczas ruchu po torze o stałym promieniu krzywizny



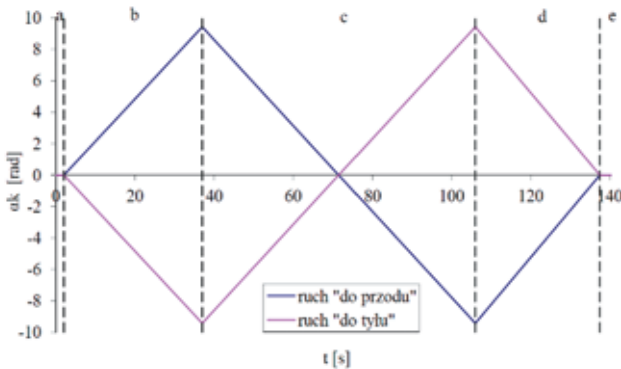
Rys. 5. Promienie zakreślonych okręgów podczas ruchu „do przodu” i „do tyłu”

5. Manewr z „piłokształtnym” wymuszeniem na kole kierownicy

Manewr ten, wykonany według normy Europejskiej Komisji Gospodarczej (ECE 79), zwany jest również parkingowym [2]. Służy do oceny zwrotności pojazdu. Na kole kierownicy pojazdu poruszającego się ze stałą prędkością, zadawane jest wymuszenie „piłokształtne”, którego przebieg w czasie przedstawia rysunek 6. Powodem, dla którego znaki kątów wymuszenia na kole kierownicy są różne (w ruchu „do przodu” czy „do tyłu”) jest chęć ułatwienia bezpośredniego porównania toru ruchu pojazdu.

Przebieg tego manewru dla ruchu „do przodu” jest opisany poniżej.

- Pojazd porusza się ze stałą prędkością z kołami ustawionymi do jazdy na wprost (rysunek 6, przedział a) – ten etap może zostać pominięty w rozważaniach.

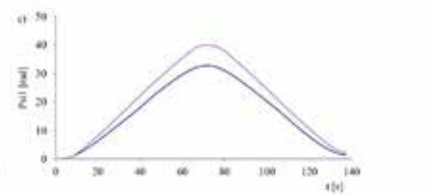
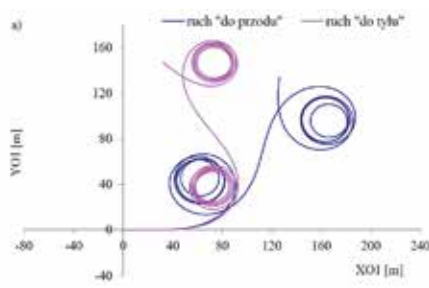
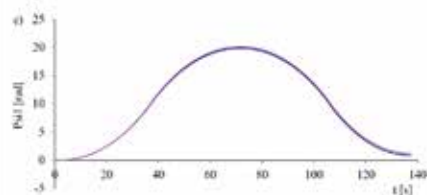
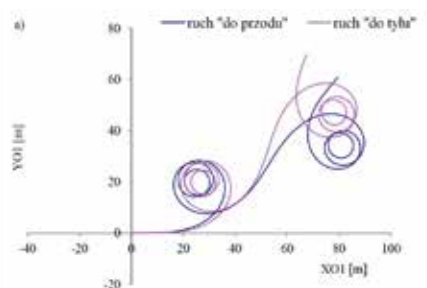


Rys. 6. Przebieg w czasie wymuszenia „piłokształtnego” na kole kierownicy z podziałem na poszczególne etapy manewru

- Kąt skrętu kół jest zwiększany przez obracanie kołem kierownicy w lewo, ze stałą prędkością, aż do osiągnięcia skrajnego lewego położenia (rysunek 6, przedział b).
- Koło kierownicy jest obracane ze stałą prędkością w prawo, aż do osiągnięcia prawego skrajnego położenia (rysunek 6, przedział c).
- Następuje ponowne ustawienie kół do jazdy na wprost przez obracanie kołem kierownicy w lewo, ze stałą prędkością (rysunek 6, przedział d).
- Pojazd porusza się z kołami ustawionymi do jazdy na wprost (rysunek 6, przedział e) – ten etap podobnie jak pierwszy również może zostać pominięty w rozważaniach.

Dla ruchu „do tyłu” wymuszenie jest symetryczne, w stosunku do opisanego powyżej, względem osi czasu.

Manewr ten został zasymulowany dla dwóch różnych prędkości (10 i 40 km/h), dwóch rodzajów nawierzchni (suchego i mokrego asfaltobetonu) oraz dla ruchu pojazdu „do przodu” i „do tyłu”, co daje w sumie osiem symulacji.



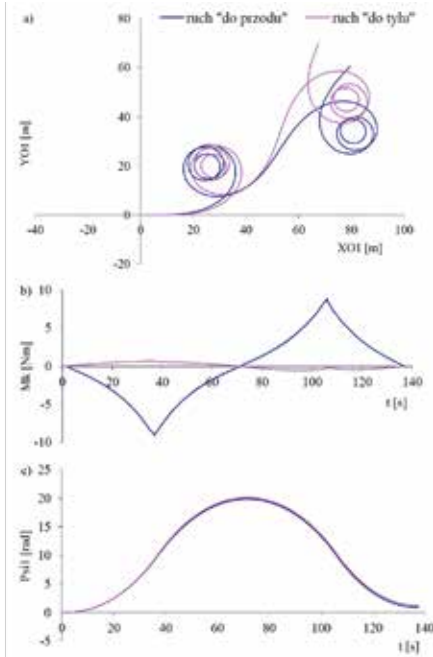
Rys. 7. Ruch samochodu z prędkością 10 km/h na suchym asfaltobetonie:

- tor ruchu środka masy pojazdu;
- przebieg momentu na kole kierownicy w funkcji czasu;
- przebieg kąta odchylenia pojazdu w funkcji czasu

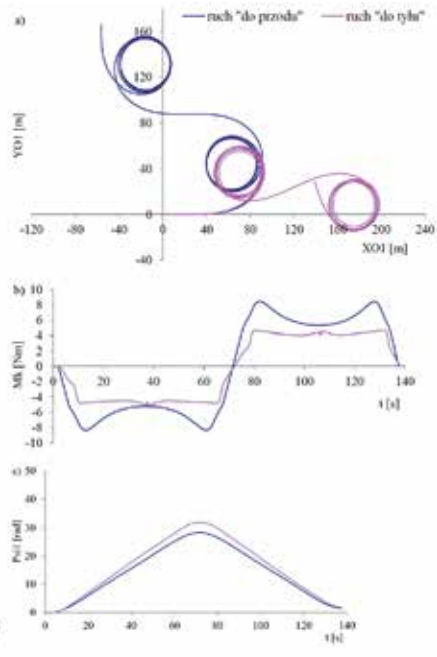
Rys. 8. Ruch samochodu z prędkością 40 km/h na suchym asfaltobetonie:

- tor ruchu środka masy pojazdu;
- przebieg momentu na kole kierownicy w funkcji czasu;
- przebieg kąta odchylenia pojazdu w funkcji czasu

Rysunki 7 - 10 przedstawiają wyniki dla ruchu samochodu na suchym i mokrym asfalcie. Są to tory ruchu środka masy pojazdu oraz przebiegi momentu na kole kierownicy i kąta odchylenia pojazdu w funkcji czasu.



Rys. 9. Ruch samochodu z prędkością 10 km/h na mokrym asfalcie:
a) tor ruchu środka masy pojazdu;
b) przebieg momentu na kole kierownicy w funkcji czasu;
c) przebieg kąta odchylenia pojazdu w funkcji czasu



Rys. 10. Ruch samochodu z prędkością 40 km/h na mokrym asfalcie:
a) tor ruchu środka masy pojazdu;
b) przebieg momentu na kole kierownicy w funkcji czasu;
c) przebieg kąta odchylenia pojazdu w funkcji czasu

Jako kryterium oceny ilościowej, wybrano sumaryczną liczbę pętli zakreślonych przez pojazd w trakcie symulowanego testu. Została wyznaczona na podstawie kąta odchylenia pojazdu, korzystając z zależności:

$$n_p = \frac{\Psi_{1\max}}{2\pi} + \frac{\Psi_{1\max} - \Psi_{1k}}{2\pi} \quad (5.1)$$

gdzie: n_p – sumaryczna liczba pętli zakreślonych przez pojazd;
 $\Psi_{1\max}$ – maksymalny kąt odchylenia pojazdu;
 Ψ_{1k} – końcowy kąt odchylenia pojazdu.

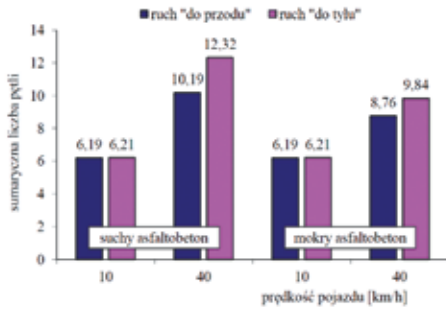
Pierwszy człon we wzorze (5.1) określa liczbę pętli zakreślonych podczas ruchu pojazdu „w lewo”, natomiast drugi podczas ruchu „w prawo”.

Wyniki zostały przedstawione w postaci wykresu na rysunku 11. Większa liczba pętli oznacza lepszą zwrotność pojazdu. Określono także promień najmniejszej pętli zakreślonej przez po-jazd, jako wartość średnią najmniejszych wartości promieni pętli, dla ruchu „w lewo” i „w prawo”. Wyniki obliczeń zostały przedstawione na rysunku 12. Mniejsze wartości tego para-metru oznaczają lepszą zwrotność pojazdu.

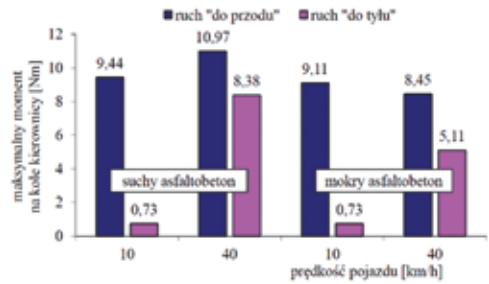
Najbardziej wyraźne różnice wyników symulacji są widoczne dla przebiegów czasowych momentu na kole kierownicy (rysunki 7b i 8b oraz 9b i 10b). Dla prędkości 10 km/h główną rolę odgrywa stabilizacja kół kierowanych, wynikająca z kątów ustawienia kół (głównie kąta wyprzedzenia osi zataczania – osi sworznia zwrotnicy). W trakcie ruchu „do tyłu” działanie to ma charakter destabilizujący – stąd różnica w znaku i module momentu. Dla prędkości 40 km/h rośnie rola momentu stabilizującego opony (niezależnego od kąta wyprzedzenia) – przebiegi czasowe momentu na kole kierownicy nie różnią się już tak bardzo.

Chociaż moment na kole kierownicy nie charakteryzuje zachowania pojazdu, to jednak w warunkach rzeczywistych jest on istotny dla przebiegu manewru, ponieważ przy dużych wartościach może on znacznie utrudnić lub nawet uniemożliwić kierowcy jego wykonanie. Znak wartości momentu na kole kierownicy zmieniał się w trakcie trwania manewru, więc brana była pod uwagę jego wartość bezwzględna. Na rys. 13 i 14 zostały przedstawione, w postaci wykresów, wartości momentu maksymalnego na kole kierownicy oraz jego wartości średnie. Przy obliczaniu wartości średniej brane były pod uwagę tylko fazy „b”, „c” i „d” manewru, ponieważ w trakcie faz „a” i „e” wartość momentu na kole kierownicy była bliska zeru.

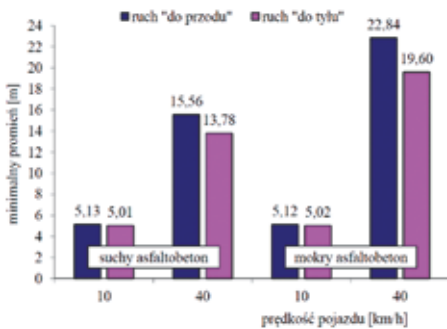
W przypadku wszystkich symulacji wyniki wskazują na lepszą zwrotność samochodu w trakcie ruchu „do tyłu”. Duże różnice występują jednak dopiero przy prędkości 40 km/h, natomiast przy 10 km/h można uznać je za pomijalnie małe. Wartość momentu na kole kierownicy jest w każdym przypadku większa podczas ruchu „do przodu” i różnica ta jest bardziej widoczna przy prędkości 10 km/h niż przy 40 km/h. Niska wartość momentu na kole kierownicy z jednej strony ułatwia manewr, ponieważ kierowca nie musi wkładać dużo wysiłku fizycznego w jego wykonanie. Jednak z drugiej strony, bardzo niska wartość tego momentu pogarsza ocenę zachowania pojazdu przez kierowcę (kierowca „nie czuje pojazdu”), co wpływa na bezpieczeństwo ruchu.



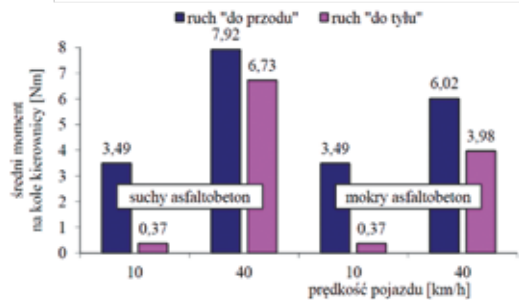
Rys. 11. Sumaryczna liczba pętli w zależności od prędkości pojazdu i rodzaju nawierzchni



Rys. 12. Promień najmniejszej pętli w zależności od prędkości pojazdu i rodzaju nawierzchni



Rys. 13. Wartość maksymalna wartości bezwzględnej momentu na kole kierownicy w zależności od prędkości pojazdu i rodzaju nawierzchni



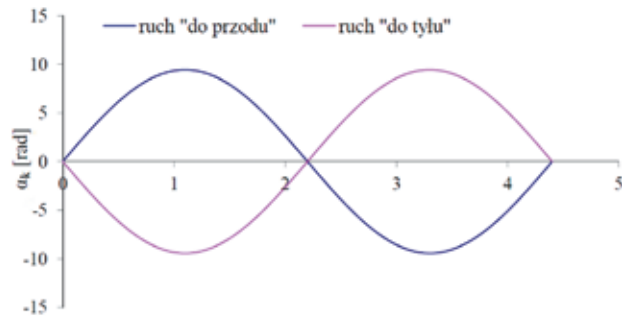
Rys. 14. Wartość średnia wartości bezwzględnej momentu na kole kierownicy w zależności od prędkości pojazdu i rodzaju nawierzchni

6. Wjazd na stanowisko postojowe usytuowane równoległe do krawędzi jezdni

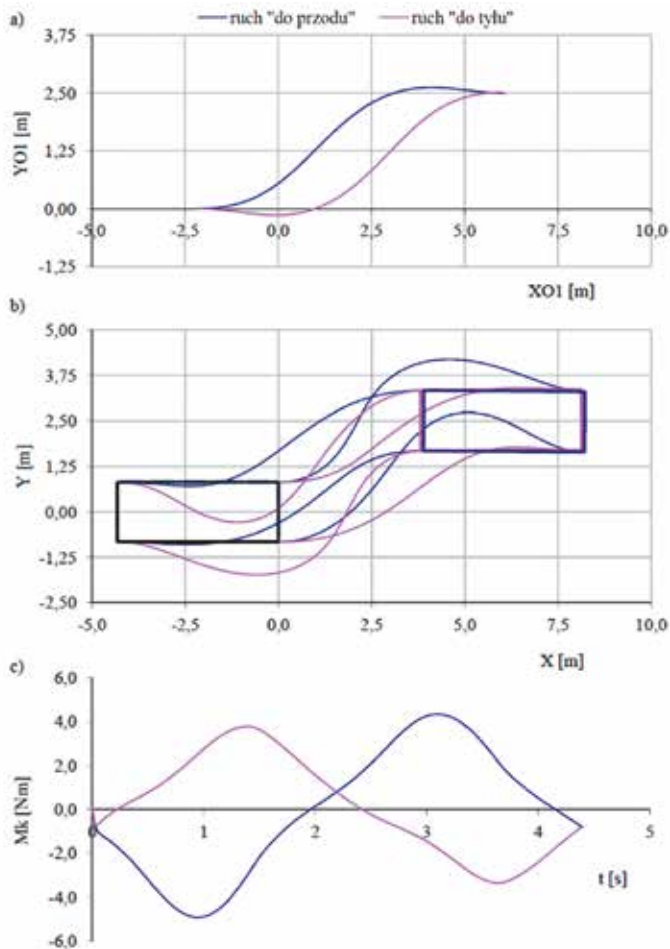
Manewr ten jest wykonywany przy niskiej prędkości (przyjęto wartość $2 \text{ m/s} = 7,2 \text{ km/h}$). Do jego wykonania kierowca obraca kierownicą z dużymi kątami. Ze względu na niską prędkość pojazdu, ograniczono się jedynie do symulacji ruchu po suchym asfalcie (zmiana rodzaju nawierzchni ma dla niskich prędkości pomijalnie mały wpływ na wyniki symulacji). Kąty bocznego znoszenia były bardzo małe. Oceniano głównie tor ruchu wybranych punktów pojazdu, w tym jego uproszczonego obrysu.

Parametry symulacji zostały tak dobrane, aby osiągnąć przemieszczenie poprzeczne środka masy pojazdu o $2,5 \text{ m}$ w stosunku do położenia początkowego. Rysunek 15 przedstawia wymuszenie na kole kierownicy w postaci jednego okresu sinusoidy, stosowane zazwyczaj przez kierowców w tego typu manewrze.

Na rysunku 16 zobrazowano tor ruchu środka masy pojazdu i jego uproszczonego obrysu oraz przebieg momentu na kole kierownicy w funkcji czasu.



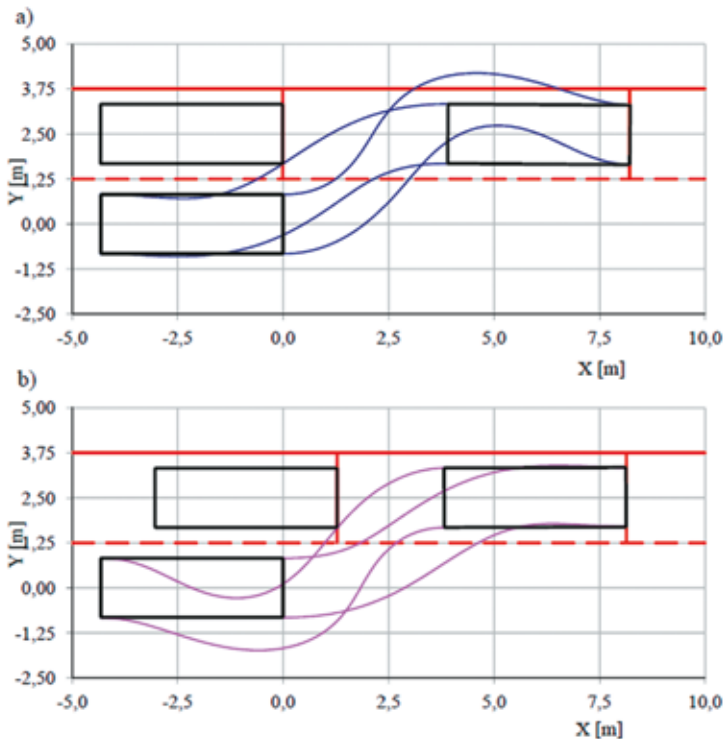
Rys. 15. Manewr 3. Przebieg wymuszenia na kole kierownicy



Rys. 16. Tor ruchu środka masy pojazdu (a), obrysu pojazdu (b) oraz przebieg momentu na kole kierownicy (c)

Aby wyniki były bardziej czytelne, na następnych rysunkach przedstawiono dodatkowo zarys samochodu „stojącego” przed pojazdem, którego ruch jest symulowany. Na rysunku 17 ten sąsiadujący samochód „ustawiono” tak, aby wykonanie manewru było możliwe.

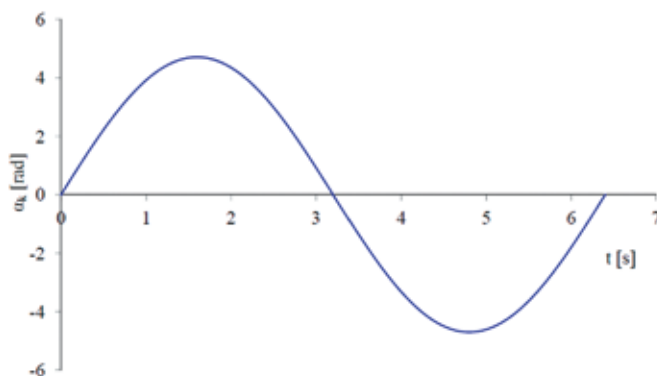
Na podstawie położenia obu samochodów zaznaczono linie, które wyznaczają najmniejszą długość stanowiska postojowego, konieczną do zakończenia manewru sukcesem. Szerokość stanowiska postojowego, równą 2,5 m, oznaczono na podstawie obowiązujących przepisów [17]. Na pierwszy rzut oka widać, że najmniejsza długość stanowiska postojowego jest większa w przypadku ruchu „do przodu”. Jeżeli zostanie uwzględniona górna czerwona linia, która może oznaczać krawężnik, to okaże się, że przy takim położeniu początkowym pojazdu i wymuszeniu na kole kierownicy, nie można uznać tego manewru za zakończony sukcesem dla przypadku ruchu „do przodu” (chyba że dopuszczona zostanie możliwość przekroczenia linii oznaczającej krawężnik). Aby umożliwić zakończenie tego manewru sukcesem, w przypadku ruchu „do przodu”, należałoby zmienić początkowe położenie poprzeczne pojazdu, oddalając go od krawędzi jezdni/stanowiska postojowego, ale w wyniku takiego przesunięcia zmieniłoby się również położenie końcowe pojazdu i znajdowałby się on przy krawędzi jezdni.



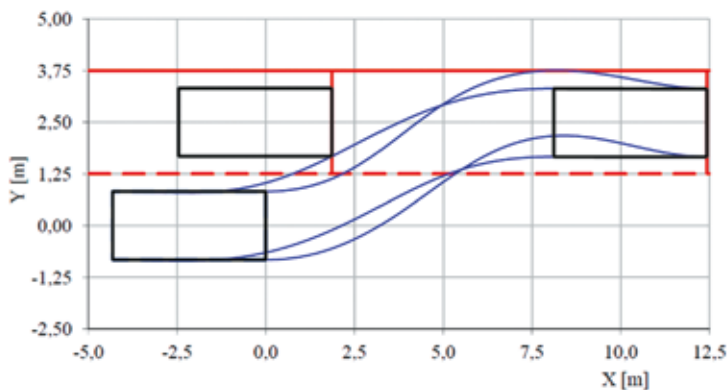
Rys. 17. Tor ruchu obrysu pojazdu: a) „do przodu”; b) „do tyłu”

Aby umożliwić zakończenie manewru sukcesem, w przypadku ruchu „do przodu”, przy jednoczesnym uniknięciu przekraczania linii oznaczającej krawężnik oraz zmiany początkowego i końcowego położenia poprzecznego pojazdu, należy zmienić wymuszenie na kole kierownicy. Spowoduje to jednak wydłużenie najmniejszej wymaganej długości stanowiska postojowego. Udało się to osiągnąć (metodą iteracyjną) dla wymuszenia przedstawionego na rysunku 18 (dłuższy okres i mniejsza amplituda kąta obrotu kierownicy). Rysunek 19 przedstawia pozytywny rezultat manewru, choć charakteryzuje się on znacznie większą wymaganą długością stanowiska postojowego. Najmniejsza długość stanowiska postojowego jest wyznaczona przez linię przodu obrysu pojazdu po zaparkowaniu oraz czerwoną linię pionową widoczną na rysunku 17 i 19. Należy traktować tę wartość jako najmniejszą odległość między dwoma samochodami, która pozwala na bezkolizyjny wjazd na stanowisko postojowe, przy zadanym wymuszeniu na kole kierownicy i prędkości samochodu. Rysunek 20 przedstawia wartości tej wielkości dla opisanych wyżej symulacji. W warunkach rzeczywistych odległości te mogłyby być inne ze względu na rodzaj wymuszenia na kole kierownicy. Kierowca podczas tego manewru nie musiałby stosować na kole kierownicy wymuszenia w postaci jednego okresu sinusoidy lecz zastosowałby wymuszenie zoptymalizowane pod kątem zminimalizowania analizowanej wielkości (odstępu między pojazdami). Optymalizacja taka mogłaby polegać przede wszystkim na zmianie kąta obrotu koła kierownicy przy zerowej lub bardzo niskiej prędkości ruchu pojazdu.

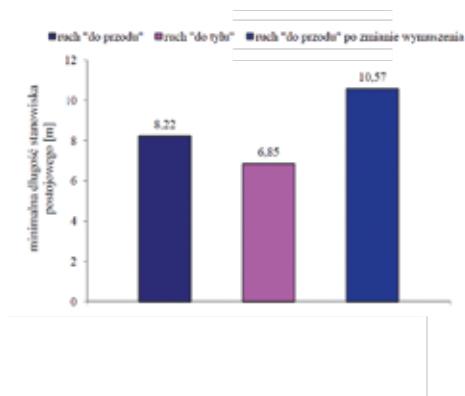
Rysunek 21 przedstawia średni i maksymalny moment na kole kierownicy w trakcie manewru parkowania.



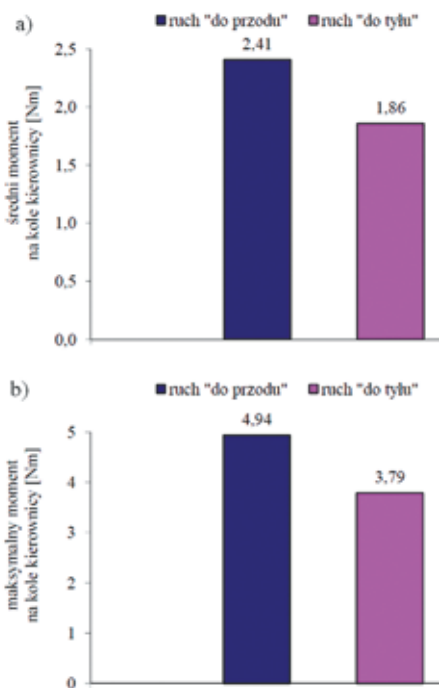
Rys. 18. Manewr 3. Przebieg wymuszenia na kole kierownicy podczas ruchu „do przodu”, po zmianie jego parametrów (okresu i amplitudy)



Rys. 19. Tor ruchu obrysu pojazdu w trakcie ruchu „do przodu”, po zmianie wymuszenia na kole kierownicy



Rys. 20. Najmniejsza długość stanowiska postojowego



Rys. 21. Średni (a) i maksymalny (b) moment na kole kierownicy w trakcie manewru parkowania

We wszystkich symulowanych przypadkach wymagana długość stanowiska postojowego była większa od najmniejszej wartości, jaką dopuszczają obowiązujące przepisy [17], a która jest równa 6 m. Chodzi tu oczywiście o określoną przez cytowane rozporządzenie [17] najmniejszą długość stanowisk postojowych, którą należy brać pod uwagę podczas ich wyznaczania, a nie o wymagania dotyczące pojazdów. Możliwe byłoby uzyskanie mniejszych wartości, jednak wymagałoby to zastosowania bardziej złożonego wymuszenia, takiego jakie stosowane jest w warunkach rzeczywistych, gdzie prędkość pojazdu ani prędkość obrotu koła kierownicy nie jest stała. Tego rodzaju manewr nie należy już jednak do „manewrów otwartych” [15, 16], a więc bez sprzężenia zwrotnego kierowca-pojazd-otoczenie.

Wyniki symulacji potwierdzają to, że manewr wjazdu na stanowisko postojowe usytuowane równoległe do krawędzi jezdni podczas ruchu „do tyłu” jest możliwy przy długościach tego stanowiska, przy których podczas ruchu „do przodu” byłoby to niewykonalne.

Przyglądając się kształtom torów ruchu pojazdu podczas jazdy „do przodu” i „do tyłu”, można wnioskować, że jeżeli wjazd na określone stanowisko postojowe jest możliwy tylko podczas jazdy „do tyłu”, to wyjazd z niego jest możliwy tylko „do przodu”.

7. Podsumowanie

Uzyskane wyniki wskazują jednoznacznie na lepszą zwrotność samochodu w przypadku, gdy porusza się on „do tyłu”.

Kąty wyprzedzenia i pochylenia osi zataczania (przede wszystkim kąt wyprzedzenia) są dobierane tak, aby spełniały swoje zadanie podczas ruchu "do przodu". Podczas ruchu "do tyłu" kąt wyprzedzenia ma wpływ destabilizujący, zmniejszając wartość momentu stabilizującego i momentu na kole kierownicy. Dla większych prędkości główną rolę odgrywa moment stabilizujący opony, a nie kąty ustawienia kół. Wartości momentu na kole kierownicy są tu bardziej zbliżone dla ruchu "do przodu" i "do tyłu".

Manewry typu wjazd na stanowisko postojowe, usytuowane równoległe do krawędzi jezdni, jest także korzystniej wykonywać jadąc „do tyłu”. Jest to dobrze znane każdemu doświadczonemu kierowcy, co raczej tylko potwierdza przydatność zastosowanej metody symulacyjnej.

Literatura

- [1] ARCZYŃSKI S., *Mechanika ruchu samochodu*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1993.
- [2] E/ECE/324, E/ECE/TRANS/505. UNECE Regulation No. 79. Revision 2. Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to steering equipment. 21 April 2005.
- [3] Komenda Główna Policji. Biuro Ruchu Drogowego. Zespół Profilaktyki i Analiz, *Wypadki drogowe w Polsce w 2012 roku*. Warszawa, 2013 r. (Oprac.: Elżbieta Symon).

- [4] Komenda Główna Policji. Biuro Ruchu Drogowego. Zespół Profilaktyki i Analiz, *Wypadki drogowe w Polsce w 2011 roku*. Warszawa, 2012 r. (Oprac.: Elżbieta Symon).
- [5] http://moto.wp.pl/kat,1035925,title,Oddzial-5-Wymijanie-omijanie-i-cofanie,wid,15290037,kodeks_drogowy_rozdzial.html?ticaid=111f4c (dostęp: 03.01.2014 r.).
- [6] <http://kodeks-drogowy.org/ruch-drogowy/ruch-pojazdow/wymijanie-omijanie-i-cofanie> (dostęp: 03.01.2014 r.).
- [7] <http://www.ciop.pl/26905>. Centralny Instytut Ochrony Pracy. *E-Facts. Zapobieganie wypadkom z udziałem pojazdów w budownictwie* (dostęp: 03.01.2014 r.).
- [8] <http://hw.osha.europa.eu> – zalecenia Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy.
- [9] <http://www.roadingnz.org.nz>. *Guideline for Controlling Reversing Vehicles*. Roading New Zealand, ISBN 978-0-9582827-1-0, December 2009 (dostęp: 03.01.2014 r.).
- [10] <http://patentynamanewry.blogspot.com/2012/08/jazda-pasem-ruchu-do-przodu-i-do-tyu-i.html> (dostęp: 03.01.2014 r.).
- [11] <http://www.ckprawko.pl/poradnik-kursanta/egzamin-jazda-po-luku/> (dostęp: 03.01.2014 r.).
- [12] http://www.linkedin.com/company/networp/vehicle-reversing-safety-systems-136679/product?trk=biz_product (dostęp: 03.01.2014 r.).
- [13] <http://www.cvdcc.eng.cam.ac.uk/photo-and-video-gallery/active-steering-of-european-combination-vehicles/unsteered-roundabout-manoevre> (dostęp: 03.01.2014 r.).
- [14] <http://www.cvdcc.eng.cam.ac.uk/photo-and-video-gallery/actively-steered-b-double-lorry/teardrop-reversing-manoevre> (dostęp: 03.01.2014 r.).
- [15] LOZIA Z., *Symulacja testów otwartych układu kierowca-pojazd-otoczenie*. Teza Komisji Naukowo-Problemovej Motoryzacji PAN, Oddz. w Krakowie. Zeszyt 26-27, Kraków, 2003, s. 229-234.
- [16] LOZIA Z., *Analiza ruchu samochodu dwuosobowego na tle modelowania jego dynamiki*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 1998.
- [17] 17. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Dz.U.99.43.430.
- [18] *Symulacyjna ocena porównawcza kierowności samochodu osobowego w ruchu „do przodu” i „do tyłu”*. Archiwum Motoryzacji / The Archives of Automotive Engineering, Vol. 63, Nr 1, 2014. s. 157-176.