

## COMPUTER SIMULATION TESTING OF A DOUBLE TRAFFIC LANE-CHANGE MANOEUVRE

**Tomasz Lech Stańczyk**

*Politechnika Świętokrzyska, Katedra Pojazdów i Sprzętu Mechanicznego  
Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce*

**Dariusz Więckowski**

*Automotive Industry Institute  
ul. Jagiellońska 55, 03-301 Warszawa, Poland  
tel.: +48 22 8111421, fax: +48 22 8116028  
email: blt@pimot.org.pl*

### **Abstract**

*This work presents problems of model of lateral dynamics of vehicle. This work presents problems of analysis of correct execution of manoeuvres for example a double lane change manoeuvre. It presents the use of objective function which enables to evaluate correct execution of manoeuvres. Results of the computer simulation are presented.*

*The article concerns two situations: sudden the appearance of the roadblock and passing of expected roadblock, and includes criteria choice of manoeuvre correctness, the double change of the traffic lane, enforce on the steering wheel for manoeuvre, movement trajectory, cross acceleration, cross body inclination. Computer simulation test results let on statement that the system should recognize the manoeuvre as a whole, what means that one should tend to elimination of applying of frequent movements enforce of steering wheel and to go toward of the functional enforce course.*

*Proposed character of the target function can be used for correctness estimation of manoeuvres execution.*

*Relatively slight changes of the amplitude and the frequency force on the steering wheel can influence notable on the executed manoeuvre quality. Even slight changes of the value of the target function can contain in themselves decided differences in values of executed manoeuvre parameters.*

**Key words:** *objective function, correct execution of maneuver, simulation of maneuvers, curvature of trajectory, tapering coefficients*

## SYMULACYJNE BADANIA MANEWRU PODWÓJNEJ ZMIANY PASA RUCHU

### **Streszczenie**

*Artykuł dotyczy modelowania dynamiki poprzecznej ruchu samochodu. Omówiono zagadnienia związane z analizą poprawności wykonywania manewru na przykładzie podwójnej zmiany pasa ruchu. Zaprezentowano wykorzystanie funkcji celu służącą do oceny poprawności wykonywania manewru. Przedstawiono wyniki przykładowych symulacji komputerowych.*

*Artykuł dotyczy dwu sytuacji: nagłego pojawienia się przeszkody i ominięcia przeszkody bez zaskoczenia, oraz obejmuje wybór kryteriów poprawności manewru, podwójną zmianę pasa ruchu, wymuszenie na kierownicy dla manewru, trajektorię ruchu, przyspieszenie poprzeczne, przechył poprzecznego nadwozia.*

*Wyniki badań symulacyjnych pozwalają na stwierdzenie, że system powinien rozpoznawać manewr jako całość, co oznacza, że należy dążyć do eliminacji stosowania wymuszenia częstych ruchów kierownicą, a iść w kierunku funkcyjnego przebiegu wymuszenia.*

*Zaproponowana postać funkcji celu może być wykorzystywana do oceny poprawności wykonywania manewrów.*

*Stosunkowo niewielkie zmiany amplitudy i częstotliwości wymuszenia na kierownicy mogą wpływać zdecydowanie na jakość wykonywanego manewru. Nawet niewielkie zmiany wartości funkcji celu mogą kryć w sobie zdecydowane różnice w wartościach parametrów wykonywanego manewru.*

*Słowa kluczowe: funkcja celu, poprawność manewru, symulacja manewrów, ruch krzywoliniowy, współczynniki wagowe*

## 1. Wprowadzenie

Opracowywane przez lata i doskonalone w różnych ośrodkach metody badań kierowalności ukierunkowane są na ocenę własności układu kierowniczego, a szczególnie całego samochodu jako układu dynamicznego (ocena konstrukcji, ewentualnie wskazanie nieprawidłowości).

Nowa faza, w którą wkracza w swej historii samochód – czyli faza rozwijania różnorodnych układów wspomagania pracy kierowcy – wymaga nieco innego spojrzenia na problemy kierowalności. Rozwój badań symulacyjnych stworzył nowe możliwości badawcze pozwalających na poznanie różnych procesów i zjawisk wpływających na zachowanie się pojazdu w różnych warunkach drogowych, nawet skrajnie niekorzystnych oraz uwzględniających działanie kierowcy. W badaniach symulacyjnych można uwzględnić wpływ poszczególnych czynników systemu człowiek-pojazd-otoczenie (CPO). Dąży się do wyposażenia samochodu w takie systemy pomocnicze [7], aby kompensować wady i ułomności kierowcy.

Wiele ośrodków podejmuje prace studialne, których celem jest opracowanie systemu automatycznego kierowania samochodem (np. tzw. inteligentny pilot). Ze względu na złożoność problemu cel ten jest jednak dosyć odległy. W ostatnim okresie badania skupione są na tworzeniu i rozwijaniu działań wspomagających kierowcę oraz rozwój tzw. systemów asystujących [5]. Ich działanie polega na tym, że manewry inicjuje kierowca (chęć przyspieszenia, hamowania, skrętu), natomiast układ wspomagający („asystent”), wykorzystując modele dynamiczne pozwalające przewidzieć skutki zaplanowanego manewru, dopuszcza do jego wykonania lub koryguje jego przebieg.

Wprowadzenie nowych układów wspomagania kierowcy wiąże się z rozwiązywaniem problemów dynamiki. W zakresie sterowania tzw. dynamiką wzdłużną samochodu są już dosyć dobrze dopracowane i upowszechnione np.: ABS, ASR, ICC i in. Dużą trudność sprawia opracowanie systemów sterowania ruchem krzywoliniowym. Istnieje wiele propozycji rozwiązań, jednak są one dalekie od poziomu, który umożliwiałby ich praktyczne wdrożenie. Wśród prób rozwiązania tego problemu można wyróżnić dwa kierunki. Pierwszy to doskonalenie elementów klasycznego systemu polegającego na sterowaniu uchybem. Przykładem drugiego kierunku (wychodzącego poza tę konwencję) może być oryginalny model kierowcy zaproponowany w pracach K.Yoshimoto [10], [11], wykorzystujący tzw. metodę „strumienia optycznego”.

Podczas jazdy kierowca dostosowuje tor ruchu pojazdu do przebiegu drogi, porównuje położenie samochodu i jego ruch z ustalonym (subiektywnie) przez siebie stanem idealnym. Natomiast w krytycznych sytuacjach może działać w panice, reagować błędnie, zbyt gwałtownie. W takich (krytycznych) sytuacjach samochód powinien wspomagać-korygować działanie kierowcy, ale jego działanie powinno być przewidywalne dla kierowcy, zapewniać zdolność samochodu do dokładnego utrzymywania (lub powrotu) założonego toru ruchu.

Artykuł ten jest fragmentem większej pracy, poświęconej koncepcji wspomagania realizacji ruchu krzywoliniowego zakładającej, że system sterujący powinien „rozpoznawać” („widzieć”) manewr jako całość.

## 2. Wybór kryteriów poprawności manewru

Poprawność wykonywania manewru powinna zapewniać poczucie komfortu jazdy i bezpieczeństwo. Nie powinna również powodować przeciążeń w układzie kierowania pojazdem. Poczucie komfortu utożsamiane jest często z płynnością jazdy. Problem zapewnienia bezpieczeństwa jest bardziej złożony. Z pewnością zagrożeniem bezpieczeństwa było by wtargnięcie na sąsiedni pas ruchu pojazdu nieumiejętnie wykonującego manewr.

Negatywnie na bezpieczeństwo wpływałoby również nieumiejętna technika jazdy polegająca na gwałtownych ruchach kierownicą, stwarzając, np.: ryzyko chwilowej utraty przyczepności, także „nierówne” prowadzenie samochodu.. Nagłe szarpnięcia kierownicą były by też z pewnością przyczyną chwilowych przeciążeń elementów układu kierowniczego. Zatem, jako kryteria oceny poprawności manewru można przyjąć:

- a) **dokładność realizacji toru ruchu** – utrzymanie się w określonym pasie,
- b) **spokojne kierowanie** – unikanie gwałtownych, częstych ruchów kierownicą,
- c) **poczucie komfortu jazdy pasażerów**.

Jest to sformułowanie werbalne kryteriów. Żeby przejść do ocen ilościowych kryteriów trzeba przyjąć wielkości fizyczne, jako ich miary. Przyjęto następujące wielkości [8].

1) Do oceny dokładności realizacji toru ruchu pojazdu przyjęto minimalną odległość bryły samochodu od krawędzi pasa ruchu uzyskaną podczas wykonywania manewru, uwzględniając utrzymanie się pojazdu w założonym torze ruchu.

2) Aby ocenić spokojne kierowanie wykorzystano prędkość kątową obrotu kierownicy. W tym przypadku nie zdecydowano się na jedną wartość (np. maksymalną) prędkości kątowej, lecz na przebieg w całym zakresie manewru. Spowodowane jest to tym, że przyjęcie tylko jednej wartości, na przykład maksymalnej, nie uwzględniałoby wielokrotnie wykonywanych ruchów kierownicą (szarpnięć), o wartościach dużo mniejszych niż maksymalne.

3) Do oceny komfortu pasażerów przyjęto wielkość maksymalnego przyspieszenia poprzecznego  $a_{y\max}$  występującego podczas wykonywania manewru. Przyjęcie w tym przypadku kąta przechyłu nadwozia (jego prędkości lub przyspieszenia) nie byłoby miarodajne, ponieważ przy małych kątach przechyłu nadwozia można uzyskiwać duże przyspieszenia poprzeczne. Jako miarę poprawności wykonywania manewru, przyjęto funkcję celu w następującej postaci [8].

$$J_W = w_1 \cdot \frac{1}{T} \int_0^T \dot{\delta}_H^2 dt + w_2 \cdot \kappa_{\max}^2 + w_3 \cdot a_{y\max}^2, \quad (1)$$

gdzie:

- $\dot{\delta}_H$  - pochodna względem czasu kąta obrotu kierownicy,
- $T$  - czas próby,
- $\kappa = \frac{1}{\varepsilon}$  - odwrotność odległości od krawędzi pasa ruchu jako miara, dokładności realizacji toru ruchu,
- $a_{y\max}$  - maksymalne przyspieszenie poprzeczne,
- $w_1, w_2, w_3$  - współczynniki wagowe.

Składniki tworzące funkcję celu występują w zależności (1) w drugiej potęgze, dzięki czemu uzyskano wzmocnienie kryterium oraz uniezależniono się od wartości znaku danego parametru. Przyjęte wartości współczynników wagowych w funkcji prędkości jazdy podano w tabeli 1 [8].

Tab. 1. Wartości współczynników  $w_1$ ,  $w_2$  i  $w_3$  w funkcji prędkości jazdy  
Tab. 1. Values of factors  $w_1$ ,  $w_2$  i  $w_3$  as function of velocity

Prędkość samochodu [Km/h] ([m/s])	Współczynnik $w_1$ [s <sup>2</sup> /rad <sup>2</sup> ]	Współczynnik $w_2$ [1/m <sup>2</sup> ]	Współczynnik $w_3$ [s <sup>4</sup> /m <sup>2</sup> ]
40 (11,11)	0,80	1,0	0,30
60 (16,67)	0,80	1,0	0,40
80 (22,22)	0,80	1,0	0,50
100 (27,78)	0,80	1,0	0,75
120 (33,33)	0,80	1,0	1,00

Przyjęto ograniczenia dotyczące wartości przyspieszenia poprzecznego  $a_y$ . Jego wartość podczas wykonywania manewrów nie powinna przekraczać  $4 \text{ m/s}^2$ , a w wyjątkowych przypadkach dopuszcza się osiągnięcie wartości  $7 \text{ m/s}^2$  (umowny warunek oderwania kół do nawierzchni drogi). Wykorzystano tu doświadczenia autora zdobyte podczas badań eksperymentalnych w PIMOT, a jednocześnie jest to zbieżne z testami ISO np. [3]. Jako minimalną odległość od krawędzi pasa ruchu przyjęto wartość  $0,1 \text{ m}$ .

Wykorzystując zbudowany dla tej koncepcji model pojazdu [9] przeprowadzono analizę przebiegów manewrów w ruchu samochodu. Zagadnienie oceny prawidłowości wykonania manewru, przy założonej (badanej) postaci funkcyjnej wymuszenia działającego na kierownicę można potraktować jako zadanie optymalizacji obejmujące: znalezienie minimum funkcji celu – zależność (1); spełnienie warunków ograniczających: utrzymanie się samochodu w założonym torze ruchu, utrzymanie wartości przyspieszenia poprzecznego w zakresie dopuszczalnym.

### 3. Sformułowanie zadania badawczego

Zaprezentowano poniżej wyniki dwóch przykładowych symulacji manewru podwójnej zmiany pasa ruchu podczas jazdy z prędkością  $40 \text{ km/h}$  ( $11,11 \text{ m/s}$ ): „nagle pojawienie się przeszkody” i „ominięcie przeszkody bez zaskoczenia”

Wstępne symulacje wykazały, że dla tych manewrów najkorzystniejszą postacią funkcyjną wymuszenia jest sinusoidalny przebieg kąta obrotu kierownicy [8]. Symulację przeprowadzono wykorzystując taki właśnie przebieg wymuszenia na kierownicy, przy czym parametry wymuszenia początkowej fazy manewru (pierwsza sinusoida) oznaczono indeksem „1”, a dla końcowej fazy manewru (druga sinusoida) oznaczono indeksem „2”. Dla manewru „nagle pojawienie się przeszkody” prędkość wymuszenia na kierownicy powinna być stosunkowo duża, tzn. w granicach  $2,5 \div 3,0 \text{ rad/s}$ . Natomiast dla manewru „ominięcie przeszkody bez zaskoczenia” prędkość wymuszenia na kierownicy nie musi być duża, jest ona w granicach  $1,30 \div 1,60 \text{ rad/s}$ . Potwierdzają to badania eksperymentalne realizowane w PIMOT.

Celem analizy było poszukiwanie optymalnych wartości parametrów wymuszenia (w tym przypadku amplitudy  $A$  i częstości wymuszenia  $f$ ) dla danych parametrów wykonania manewru, czyli: szerokości pasa ruchu i prędkości jazdy. Obliczenia zrealizowano metodą systematycznego przeszukiwania [6], określono:

- zbiór dopuszczalny (obszar zmienności)  $A$  i  $f$ :  $A = 0,10 \div 4,00 \text{ rad}$ ,  $f = 0,10 \div 5,00 \text{ rad/s}$
- prędkość ruchu pojazdu  $v = 40 \text{ km/h}$  ( $11,11 \text{ m/s}$ ) i szerokość pasa ruchu  $s_p = 3 \text{ m}$  [1];

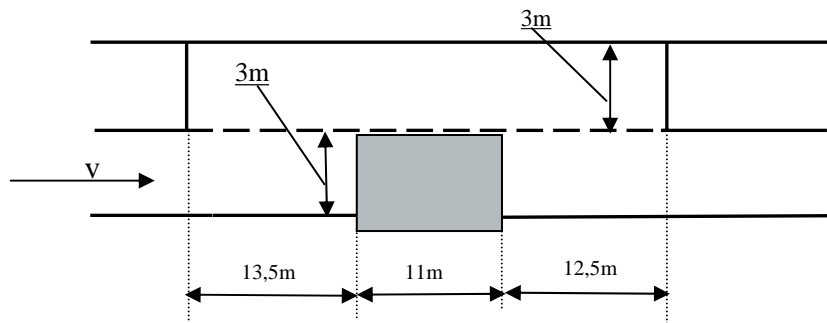
Do opisu rezultatów w/w symulacji komputerowej wprowadzono następujące oznaczenia:

$$a_{y\max} - \text{„}a_{y\max}\text{”}, \quad a_{y\max}^2 - \text{„}a_{y\max}^2\text{”},$$

$$\frac{1}{T} \int_0^T \dot{\delta}_H^2 dt - \text{„}1/T\text{całka}\text{”}, \quad \kappa - \text{„}kappa\text{”}, \quad \kappa_{\max}^2 - \text{„}kappa^2\text{”}.$$

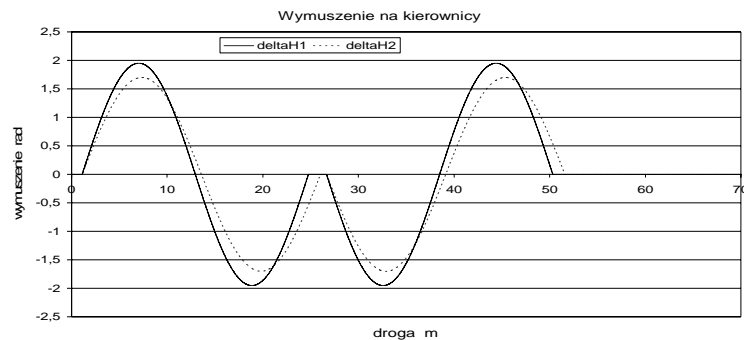
### 4. Podwójna zmiana pasa ruchu – „nagle pojawienie się przeszkody”

Zaprezentowano wyniki dwóch przykładowych symulacji manewru według schematu przedstawionego na rys. 1. Charakter „korytarza” na rys. 1 jest zbieżny z normą [4]. W przypadku tego manewru założono, że kierowca może być zaskoczony zaistniałą sytuacją na drodze. Zadanie polegało na takim doborze wartości parametrów wymuszenia (amplitudy  $A$  i częstości wymuszenia,  $f$ ), aby nie tylko poprawnie wykonać manewr, ale również dążyć do minimalizacji funkcji celu  $J_w$ .

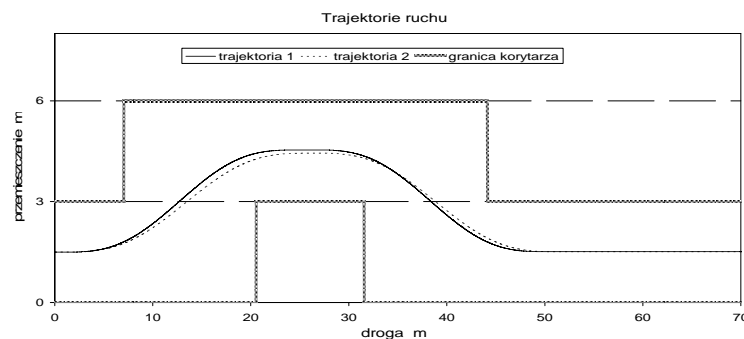


Rys. 1. Schemat dla manewru „nagle pojawienie się przeszkody”  
Fig. 1. Diagram for manoeuvre „sudden appear of roadblock”

Po wykonaniu wstępnych symulacji do zrealizowania manewru (według rys. 1) przyjęto następujący, zawężony obszar zmienności wartości parametrów wymuszenia:  $A_1$  i  $A_2 = 1,50-2,20\text{rad}$  z krokiem  $0,05\text{rad}$ ,  $f_1$  i  $f_2 = 2,50-3,00\text{rad/s}$  z krokiem  $0,05\text{rad/s}$ . Dla tak określonego obszaru zmienności, dla danego manewru znaleziono minimalną wartość funkcji celu  $J_W = 17,73$  dla wartości parametrów:  $A_1 = A_2 = 1,70\text{rad}$ ;  $f_1 = f_2 = 2,80\text{rad/s}$ . Dla porównania, przedstawiono wyniki symulacji dla  $J_W = 22,73$  ( $A_1=A_2=1,95\text{rad}$ ;  $f_1=f_2=2,95\text{rad/s}$ ). Przyjęto następujące oznaczenia wyników symulacji: „1” - dla  $J_W = 17,73$ , „2” - dla  $J_W = 22,73$ .



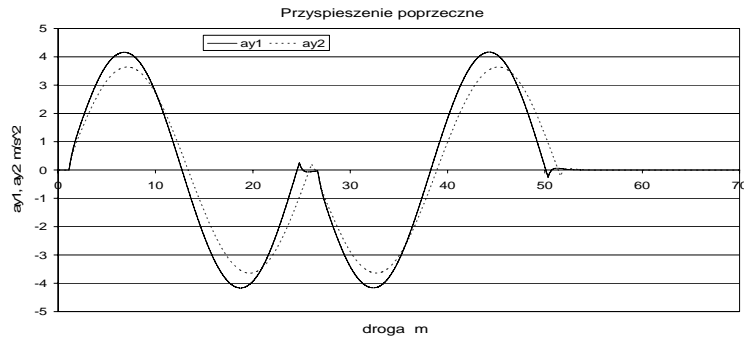
Rys. 2. Wymuszenie na kierownicy dla manewru „nagle pojawienie się przeszkody”  
Fig. 2. Steering-wheel angle for manoeuvre „suddenly appear of roadblock”



Rys. 3. Trajektoria ruchu dla manewru „nagle pojawienie się przeszkody”  
Fig. 3. Manoeuvre trajectory for „suddenly appear of roadblock”

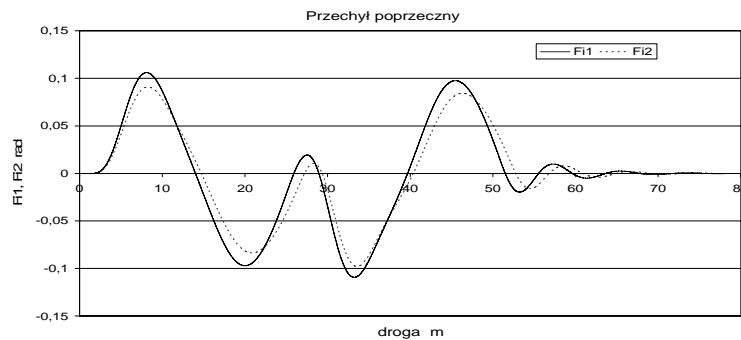
Na rys. 2 przedstawiono wymuszenie na kierownicy dla obu manewrów (deltaH), a na rys. 3 zrealizowaną trajektorię ruchu samochodu. Przy takim zrealizowaniu przebiegu manewru, na

rys. 4 przedstawiono przebieg przyspieszenia poprzecznego ( $a_y$ ), a na rys. 5 zmiany przechyłu poprzecznego nadwozia ( $F_i$ ). Dla omówionych wyżej manewrów wartości wyrazów będących składnikami funkcji celu  $J_W$  zaprezentowano w tabeli 2.



Rys. 4. Przyspieszenie poprzeczne dla manewru „nagle pojawienie się przeszkody”  
 Fig. 4. Manoeuvre lateral acceleration for „suddenly appear of roadblock”

Porównując oba manewry można stwierdzić, że manewr uznany za „lepszy” („2”) charakteryzuje się mniejszą wartością „ $1/Tcałka$ ” (spokojność kierowania) i zdecydowanie mniejszą (o około 13%) wartością przyspieszenia poprzecznego „ $ay_{max}$ ” (rys. 5, tabela 2), przy nieco zwiększonej wartości „ $kappa$ ” (mniejsza dokładność wykonania manewru).



Rys. 5. Przechył poprzeczny nadwozia dla manewru „nagle pojawienie się przeszkody”  
 Fig. 5. Body tilt for manoeuvre „ suddenly appear of roadblock”

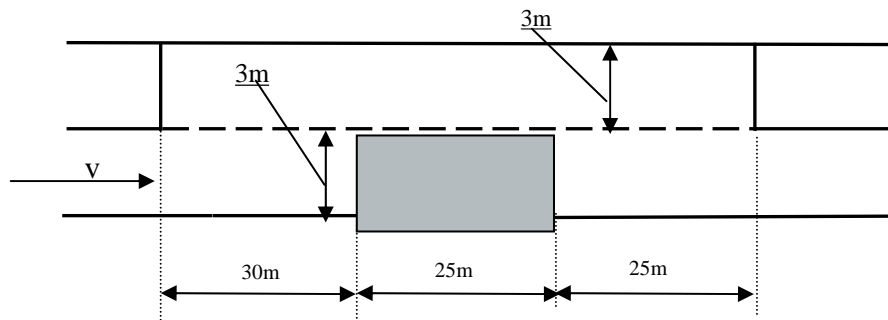
Zwiększenie dokładności wykonania manewru (mniejsze „ $kappa$ ”) zdecydowanie zwiększa wartość przyspieszenia poprzecznego  $a_y$ , a przez to powoduje zwiększenie wartości  $J_W$  (tabela 2). Jednocześnie wzrost wartości  $a_y$  wyraźnie skutkuje efektem przechyłu poprzecznego nadwozia rys. 5. Podsumowując „1” i „2” można stwierdzić, że w awaryjnej sytuacji (nagle pojawienie się przeszkody) manewr został wykonany precyzyjnie (małe  $kappa = 2,17m^{-1}$ ), przy maksymalnej wartości przyspieszenia poprzecznego („ $ay_{max}$ ” =  $3,64m/s^2$ ). Ten sam manewr może być wykonany jeszcze bardziej dokładnie („ $kappa$ ” =  $2,07m^{-1}$ ) lecz powoduje to zdecydowany wzrost przyspieszenia poprzecznego o ponad 12% rys. 4.

Tab. 2 Wartości: funkcji celu  $J_W$  i jej składników  
 Tab. 2 Values: objective function  $J_W$  and its summand

Nr przebiegu	$J_W$	„ $1/Tcałka$ ”	„ $1/Tcałka$ ” * $w_1$	„ $kappa$ ”	„ $kappa^2$ ” * $w_2$	„ $ay_{max}$ ”	„ $ay_{max}^2$ ” * $w_3$
1	22,73	16,54	13,23	2,07	4,28	4,17	5,22
2	17,73	11,33	9,06	2,17	4,71	3,64	3,97

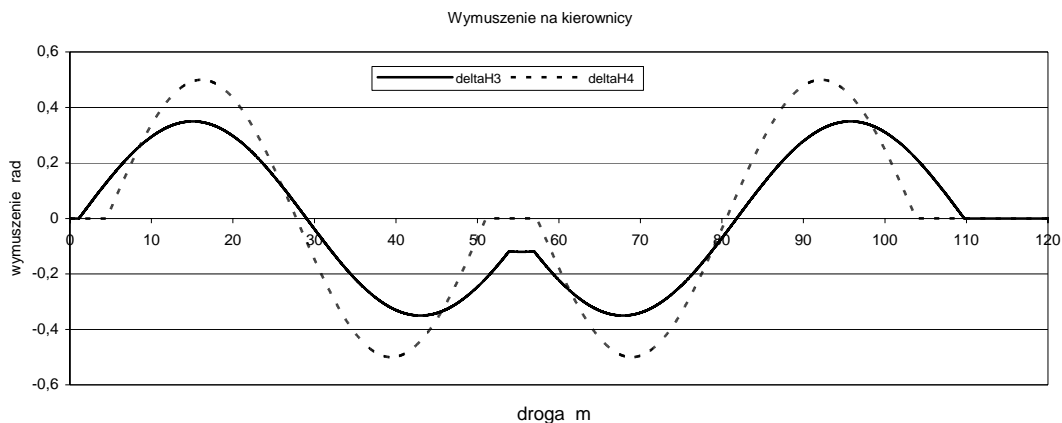
## 5. Podwójna zmiana pasa ruchu – „ominięcie przeszkody bez zaskoczenia”

Podobnie zaprezentowano wyniki dwóch przykładowych symulacji manewru według schematu przedstawionego na rys. 6. Charakter „korytarza” na rys. 6 jest zbliżony z normą [2]. W przypadku tego manewru założono, że kierowca nie jest zaskoczony zaistniałą sytuacją na drodze, ma czas na „spokojne” wykonanie manewru. Zadanie polegało na takim dobrze wartości parametrów wymuszenia (amplitudy  $A$  i częstości wymuszenia  $f$ ), aby poprawnie wykonać manewr i jednocześnie dążyć do minimalizacji funkcji celu  $J_W$ . Po wykonaniu wstępnych symulacji do zrealizowania manewru (według rys. 6) przyjęto następujący, zawężony obszar zmienności wartości parametrów wymuszenia:  $A_1$  i  $A_2 = 0,30 \div 0,60 \text{ rad}$  z krokiem  $0,05 \text{ rad}$ ,  $f_1$  i  $f_2 = 1,30 \div 1,60 \text{ rad/s}$  z krokiem  $0,05 \text{ rad/s}$ . Dla tak określonego obszaru zmienności, dla danego manewru znaleziono minimalną wartość funkcji celu  $J_W = 4.67$  dla wartości parametrów:  $A_1 = A_2 = 0,35 \text{ rad}$ ;  $f_1 = f_2 = 1,25 \text{ rad/s}$ . Dla porównania, przedstawiono wyniki symulacji dla  $J_W = 4.71$  ( $A_1 = A_2 = 0,50 \text{ rad}$ ;  $f_1 = f_2 = 1,50 \text{ rad/s}$ ). Przyjęto następujące oznaczenia wyników symulacji: „3” - dla  $J_W = 4.67$ , „4” - dla  $J_W = 4.71$ . Wyniki symulacji zaprezentowano na rysunkach 7 do 10.

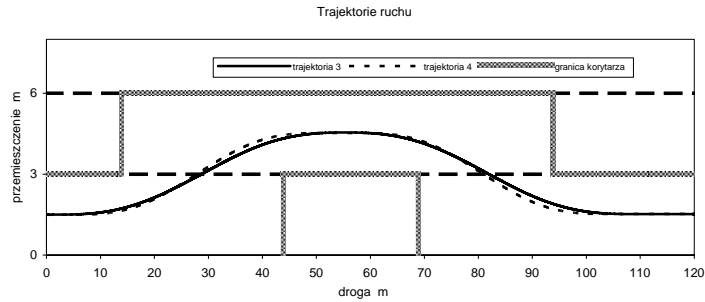


Rys. 6. Korytarz dla manewru „ominięcie przeszkody bez zaskoczenia”  
Fig. 6. Manoeuvre path for „passing of expected roadblock”

Na rys. 7 przedstawiono wymuszenie na kierownicy ( $\Delta H$ ) dla obu manewrów, a na rys. 8 zrealizowaną trajektorię ruchu.

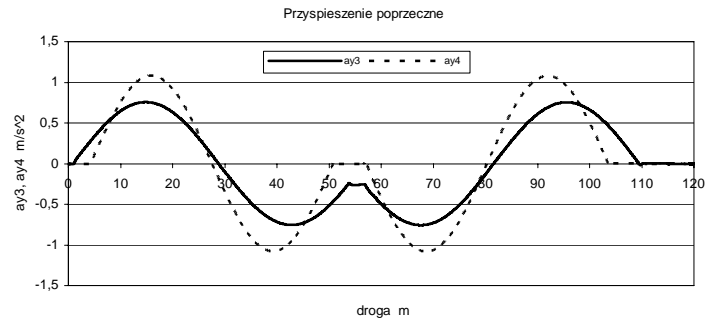


Rys. 7. Wymuszenie na kierownicy dla manewru „ominięcie przeszkody bez zaskoczenia”  
Fig. 7. Steering-wheel angle for manoeuvre „passing of expected roadblock”

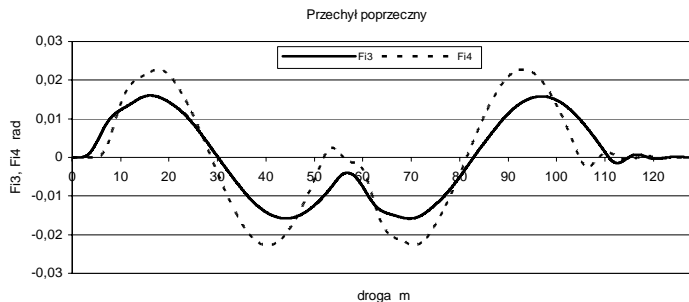


Rys. 8. Trajektoria ruchu dla manewru „ominięcie przeszkody bez zaskoczenia”  
 Fig. 8. Manoeuvre trajectory for „passing of expected roadblock”

Przy takim zrealizowaniu przebiegu manewru na rys. 9 przedstawiono przebieg przyspieszenia poprzecznego ( $a_y$ ), a na rys. 10 przechyłu poprzeczny nadwozia ( $F_i$ ). Dla omówionych wyżej manewrów wartości wyrazów będących składnikami funkcji celu  $J_w$  zaprezentowano w tabeli 3. W przypadku tego manewru („ominięcie przeszkody bez zaskoczenia”) można stwierdzić, że z pozoru nie mające praktycznego znaczenia zwiększenie dokładności wykonania manewru (rys. 7) może skutkować zdecydowanym wzrostem przyspieszenia poprzecznego (rys. 9).



Rys. 9. Przyspieszenie poprzeczne dla manewru „ominięcie przeszkody bez zaskoczenia”  
 Fig. 9. Manoeuvre lateral acceleration for „passing of expected roadblock”



Rys. 10. Przechyl poprzeczny nadwozia dla manewru „ominięcie przeszkody bez zaskoczenia”  
 Fig. 10. Body tilt for manoeuvre „passing of expected roadblock”

Tab. 3. Wartości: funkcji celu  $J_w$  i jej składników  
 Tab. 3. Values: objective function  $J_w$  and its summand

Nr przebiegu	$J_w$	„1/Tcałka”	„1/Tcałka” * $w_1$	„kappa”	„kappa <sup>2</sup> ” * $w_2$	„aymax”	„aymax <sup>2</sup> ” * $w_3$
3	4,67	0,086	0,069	2,106	4,43	0,76	0,17
4	4,71	0,281	0,225	2,032	4,13	1,08	0,35



Porównując oba manewry ze względu na wartość funkcji celu  $J_w$  (4,67 i 4,71) można sądzić, że oba manewry są bardzo podobne. Potwierdzeniem tego są trajektorie ruchu (rys. 6) obu przebiegów – nieznaczna różnica wartości między „kappa3” =  $2,10\text{m}^{-1}$ , a kappa4” =  $2,03\text{m}^{-1}$ . Jednak zdecydowana różnica w postaci wymuszenia kąta obrotu kierownicy (rys. 7) spowodowała 3-krotną różnicę w wartości składnika „1/Tcałka” (spokojność kierowania) – tabela 3. Jednocześnie w przypadku manewru „4” występuje zdecydowany wzrost przyspieszenia poprzecznego „aymax” o ponad 40% (tabela 3). Konsekwencją tego jest zwiększenie maksymalnych kątów przechylenia nadwozia – rys. 9.

## 6. Podsumowanie

Przedstawione wyniki badań symulacyjnych stanowią tylko fragment zrealizowanych zadań. Pozwalają one na sformułowanie następujące wniosków:

1. Wyniki badań symulacyjnych potwierdzają, że system powinien „rozpoznawać” („widzieć”) manewr jako całość [8]. Oznacza to, że należy dążyć do eliminacji stosowania wymuszenia w postaci częstych ruchów kierownicą (szarpnięć), a iść w kierunku funkcyjnego przebiegu wymuszenia.
2. Zaproponowana, stosunkowo prosta postać funkcji celu może być wykorzystywana do szybkiej i dobrej oceny poprawności wykonywania manewrów.
3. Stosunkowo niewielkie zmiany amplitudy i częstotliwość wymuszenia na kierownicy mogą wpływać na jakość wykonywanego manewru. Nawet niewielkie zmiany wartości funkcji celu mogą kryć w sobie zdecydowane różnice w wartościach parametrów wykonywanego manewru.

## Literatura

- [1] Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych. *Wytyczne Projektowania Dróg WPD-2. Załącznik Nr 2 do zarządzenia nr 5/95 Generalnego Dyrektora Dróg Publicznych z dnia 31.03.1995.*
- [2] ISO 3888-1 *Passenger cars - Test track for a lane-change manoeuvre. Part 1: Double lane-change*, 1999.
- [3] ISO 7401 *Road Vehicles - Lateral Transient Response Test Methods*, 1998.
- [4] ISO/DIS 3888-2 *Passenger cars - Test track for a lane-change manoeuvre. Part 2: Obstacle avoidance*, 2000.
- [5] Jürgensohn T., Timpe, K. P., *Kraftfahrzeugführung*, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg New York, 2001.
- [6] Osiński, Z., Wróbel, J., *Teoria konstrukcji maszyn*, PWN, Warszawa 1982.
- [7] Stańczyk, T. L., *Systemy wspomaganie pracy kierowcy*, Zeszyty Instytutu Pojazdów, nr 3(29), Politechnika Warszawska SiMR, Warszawa 1998,
- [8] Stańczyk, T. L., Więckowski, D., *Ocena poprawności wykonania typowych manewrów w ruchu samochodu*, Zeszyty naukowe Politechniki Świętokrzyskiej. Seria Mechanika nr 84, 293-304, Kielce 7 i 8 lutego 2006.
- [9] Więckowski, D., *Model samochodu dla symulacyjnego badania wybranych (typowych) manewrów*. Teka Komisji Motoryzacji PAN Oddz. w Krakowie, nr 29-30. 2005.
- [10] Yoshimoto, K., Obawa, H., Kubota, H., *Course tracking control algorithm using visual information*, Vehicle System Dynamics 28(1997).
- [11] Yoshimoto, K., Iwatani, K., Kokubo, T., *Automatic driving using image informations*, Technical Notes/JSAE Review 18(1997).

